สมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว

มณินทร รักษ์บำรุงและถาวรินทร รักษ์บำรุง







โดยความร่วมมือทางวิชาการ
ระหว่างคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตปัตตานี

หนังสือ: **สมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว**
โดยความร่วมมือทางวิชาการ: ระหว่างคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ผู้ประพันธ์หลัก	มณินทร รักษ์บำรุง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
	ถาวิรนทร รักษ์บำรุง	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
ผู้ช่วยการประพันธ์	สิทธิวิทย์ อิ่มปัญญา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
	อดิศร ธุระยศ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
	วัชรพงษ์ สุทธวงศ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
	กิตติภัทร ชุมพู	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
	นิสมาน มะสีละ	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
	ธีระดนัยษ์ สาระภี	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
	ทนงศักดิ์ วงษาโสม	อีโวลูชั่นเวลล์เนสส์ (ประเทศไทย) ฟิตเนสเฟิร์ส

ข้อมูลบรรณานุกรม

มณินทร รักษ์บำรุงและถาวรินทร รักษ์บำรุง. (2568). สมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยาและคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

คำนำ

หนังสือ “สมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว” เล่มนี้ เป็นหนังสือที่รวบรวมศาสตร์และการประยุกต์หลักการพื้นฐานของสมรรถภาพทางกาย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับมนุษย์ที่จะใช้ชีวิตได้อย่างมีคุณภาพชีวิตที่ดี ผู้เขียนจึงมิได้มุ่งเน้นเพียงแค่การนำเสนอหลักทฤษฎีพื้นฐานของสมรรถภาพทางกายเท่านั้น แต่ยังได้นำเสนอการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์การกีฬา และแนวคิดใหม่ ๆ ซึ่งในบางหัวข้อยังไม่เคยมีการนำเสนอในหนังสือหรือตำราภาษาไทยมาก่อน

ผู้เขียนได้เรียบเรียงและลำดับเนื้อหา โดยครอบคลุมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว ทั้งทางด้านกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับสมรรถภาพทางกาย และการประยุกต์ใช้ในการเคลื่อนไหว ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจการทำงานของร่างกายในเชิงกลไกที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกาย รวมถึงระบบการใช้พลังงานของร่างกาย ไปจนถึงการทำงานของหัวใจและค่าต่าง ๆ ที่นำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกาย

หนังสือนำเสนอประเด็นใหม่ ๆ ทางวิชาการที่ไม่เคยปรากฏในตำราหรือหนังสือภาษาไทยมาก่อนเช่น หัวข้อ คะแนนพื้นฐานสมรรถภาพทางกาย การเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน รูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐาน 7 รูปแบบ จลนศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน ($\dot{V}O_2$ kinetic) จุดคงที่ของการใช้ออกซิเจน ($\dot{V}O_2$ plateau) เกณฑ์การตัดสินค่า ($\dot{V}O_2$ max) จากการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate variability/ HRV) เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate monitor) ประเภทต่าง ๆ และค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนลมหายใจ เป็นต้น ซึ่งเป็นแนวคิดและความรู้ที่สำคัญสำหรับนักวิชาการ นิสิต นักศึกษา และผู้ที่ประกอบวิชาชีพทางพลศึกษา วิทยาศาสตร์การกีฬา และการส่งเสริมสุขภาพ

ผู้เขียนได้นำเสนอการประยุกต์ใช้หลักการและพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายโดยแทรกไว้ในเนื้อหาทุกบท พร้อมการอ้างอิงจากรายงานการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งรายงานการวิจัยของผู้เขียนเองที่เผยแพร่ทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ ดังนั้น จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือสมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว จะเป็นแหล่งความรู้ที่สำคัญและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ต้องการทำความเข้าใจและประยุกต์ใช้ในเรื่องสมรรถภาพทางกาย เพื่อพัฒนาศักยภาพของตนเองและผู้อื่นต่อไป

มณินทร รักษ์บำรุงและถาวรินทร รักษ์บำรุง
ผู้ประพันธ์

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 วิวัฒนาการของสมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว	1
1. Mitochondrial Eve และ Y-chromosomal Adam	
1.1 Mitochondrial Eve	2
1.2 Y-chromosomal Adam	3
2. บรรพชีวินของมนุษย์	4
2.1 Australopithecus aphaeresis	4
2.2 ชิมมแพนซีญาติสนิทของเรา	4
3. การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์	5
4. วิวัฒนาการของสมรรถภาพทางกาย	7
4.1 เราต้องวิ่งเพื่อดำรงชีวิต	7
4.2 เมื่อเราเริ่มวิ่งเพื่อแข่งขัน	8
5. วิวัฒนาการของการออกกำลังกาย	9
5.1 กรีกและโรมัน	10
5.2 เอเชียโบราณ	11
6. การออกกำลังกายสมัยใหม่	12
6.1 ศูนย์ฝึกออกกำลังกาย (fitness center)	12
6.2 การออกกำลังกายแบบแอโรบิค (aerobic exercise)	12
6.3 การปฏิวัติการออกกำลังกายในสหรัฐอเมริกา	13
6.4 คณะกรรมการนานาชาติเพื่อวิจัยความสมบูรณ์ทางกาย	14
7. พลศึกษาและวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา	16
7.1 พลศึกษาในประเทศไทย	16
7.2 วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา	17
8. การเคลื่อนไหวและกิจกรรมทางกาย	18
9. ความแตกต่างระหว่างกิจกรรมทางกาย การออกกำลังกาย และการเล่นกีฬา	18
กิจกรรมทางกาย	19
การออกกำลังกาย	19
กีฬา	19

หน้า

11. บทบาทของการออกกำลังกายและกีฬาในสังคมและการเมือง 19

11.1 การออกกำลังกายเพื่อจุดประสงค์เชิงผลประโยชน์ 19

11.2 กีฬากับการเมือง 20

สรุป 21

บรรณานุกรม 22

บทที่ 2 สมรรถภาพทางกาย 26

1. ประเภทของสมรรถภาพทางกาย 27

1.1 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ หรือสุขขะสมรรถนะ 27

1.2 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา 29

1.3 การแบ่งประเภทสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว 31

2. สมรรถภาพทางกาย 33

2.1 ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ 33

2.2 ความอดทนของกล้ามเนื้อ 35

2.3 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ 37

2.3.1 ความแข็งแรงสูงสุด หรือ ความแข็งแรง สมบูรณ์ 39

2.3.2 ความแข็งแรงสัมพัทธ์ (relative-strength) 40

2.3.3 ความแข็งแรงแบบพลังระเบิดหรือยืดหยุ่น 42

2.3.4 ความแข็งแรงแบบอดทน 42

2.4 องค์ประกอบของร่างกาย 44

2.4.1 ส่วนสูงและน้ำหนักตัว 46

2.5 ความอ่อนตัวของร่างกาย 49

2.5.1 ความสามารถในการเคลื่อนไหว: Mobility 49

5.2.2 องค์ประกอบทางสรีรวิทยาที่สำคัญของ Flexibility และ Mobility 50

2.5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อของ Flexibility และ Mobility 51

2.6 ความเร็ว 53

2.6.1 ความเร็วเชิงแข็งแรง 54

2.6.2 ความเร็วเชิงอดทน 55

2.7 พลังของกล้ามเนื้อ 56

2.8 ความคล่องแคล่วว่องไว 59
2.9 สมดุลการทรงตัว 60
2.10 เวลาปฏิกิริยา 61
2.11 การทำงานประสานกันของร่างกาย 63
3. คะแนนประสิทธิภาพสมรรถภาพทางกาย 63
สรุป 64
บรรณานุกรม 65

บทที่ 3 กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับการเคลื่อนไหว 78
1. หน่วยพื้นฐานของร่างกาย 79
1.1 อายุขัยของเซลล์ 79
1.2 ไมโทคอนเดรีย 80
2. ลักษณะรูปร่างมนุษย์ 80
2.1. เอนโดมอร์ฟ (endomorph) 81
2.2. เอกโตมอร์ฟ (ectomorph) 81
2.3 เมโซมอร์ฟ (mesomorph) 82
3. ระบบทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว 82
4. คำศัพท์พื้นฐานทางกายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา 84
5. ท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ 85
6. ระนาบทางกายวิภาคศาสตร์ 86
6.1 ระนาบหน้า – หลัง 86
6.1.1 สควอช (squat) 87
6.1.2 ไบเซปเคิร์ล (bicep curl) 88
6.1.3 การออกกำลังกายอื่น ๆ ที่อยู่ในระนาบหน้าหลัง 88
6.2 ระนาบด้านข้าง 89
6.2.1 การกางแขนหรือขาออกด้านข้าง (lateral arm or leg raises) 89
6.2.2 การออกกำลังกายอื่น ๆ ที่อยู่ในระนาบด้านข้าง 91
6.3 ระนาบขอบฟ้า 91
7. กระดูก 93
7.1 กระดูกที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการฝึกออกกำลังกายและการเล่นกีฬา 93
7.1.1 กระดูกแกนกลางของร่างกาย 93

7.1.1.1 กระดูกสันหลัง 95
7.1.2 กระดูกรยางค์ 96
8. ข้อต่อ 98
8.1 การแบ่งประเภทข้อต่อตามลักษณะโครงสร้าง 98
8.1.1 ข้อต่อแบบเส้นใย 98
8.1.2 ข้อต่อแบบกระดูกอ่อน 99
8.1.3 ข้อต่อแบบซินโนเวียล 100
8.2 การแบ่งประเภทข้อต่อตามการเคลื่อนไหว 100
8.2.1 ข้อต่อแบบที่เคลื่อนไหวไม่ได้(100
8.2.2 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย 100
8.2.3 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก 100
8.3 ทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อ 101
8.3.1 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้1 ระนาบ 101
8.3.2 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้2 ระนาบ 101
8.3.3 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้3 ระนาบ 102
9. กล้ามเนื้อ 103
9.1 กลุ่มกล้ามเนื้อหัวไหล่ 103
9.2 กลุ่มกล้ามเนื้อแขนท่อนบน 105
9.3 กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าอก 107
9.4 กลุ่มกล้ามเนื้อหลัง 109
9.5 กลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว 111
9.6 กลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก 114
9.7 กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกและกางสะโพก 120
9.8 กลุ่มกล้ามเนื้อน่อง 122
10. พังผืด 124
11. กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อพังผืด 125
12. การวัดขนาดของร่างกายด้วยมิติเส้นรอบวง 127
สรุป 131
บรรณานุกรม 132
บทที่ 4 การเคลื่อนไหวและการประยุกต์ใช้ 136
1. การเคลื่อนไหวพื้นฐานและการประยุกต์ใช้ 137

1.1 รูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐาน 7 รูปแบบ 137
1. การย่อตัว 139
2. การพับสะโพกหรือลำตัว 142
3. ก้าวไป–กลับ 143
4. การก้าว–เดิน หรือการวิ่ง 144
5. การผลักหรือการดัน 145
6. การดึง 146
7. การหมุน 147
2. การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหว 148
3. โครงร่างและการเคลื่อนไหวของร่างกาย 150
3.1 กระดูกแบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญ 150
3.2 กระดูกแบ่งเป็น 5 ประเภทตามลักษณะรูปร่างชนิด 151
3.3 กระดูกส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย 152
4. ข้อต่อและการเคลื่อนไหว 157
1. ข้อต่อแบบที่เคลื่อนไหวไม่ได้ 157
2. ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย 157
3. ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก 157
5. รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อ 160
6. กล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว 172
6.1 ประเภทของกล้ามเนื้อในร่างกาย 172
6.2 ประเภทของกล้ามเนื้อโครงร่าง 172
7. การหดตัวของกล้ามเนื้อ 175
7.1 การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวของกล้ามเนื้อไม่มีการเปลี่ยนแปลง 175
7.2 การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวมีการเปลี่ยนแปลง 176
7.3 การหดตัวของกล้ามเนื้อการหดตัวที่ใช้ความเร็วคงที่ 177
7.4 การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบการรักษาความเฉื่อย หรือแรงต้าน
ให้คงที่ตลอดการเคลื่อนไหวโดยการใช้อุปกรณ์การฝึกกล้ามเนื้อ 179
8. หน้าที่ของกล้ามเนื้อ 180
9. ความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อ 181
สรุป 184
บรรณานุกรม 185

บทที่ 5 พลังงานในการเคลื่อนไหวและการประยุกต์ใช้ 190

1. หน่วยของพลังงานในร่างกาย 190

1.1 แคลอรี่ทางวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์การกีฬา 190

2. ระบบพลังงานของร่างกาย 191

2.1 ระบบพลังงานแบบที่ 1: ระบบแอนแอโรบิก–ฟอสฟาเจน 193

(anaerobic I/ phosphagen system / ATP – PC system / anaerobic alactic system

2.2 ระบบพลังงานแบบที่ 2: ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส 195

(anaerobic II/ anaerobic glycolysis/ anaerobic lactic acid system)

2.3 ระบบพลังงานแบบที่ 3: ระบบแอโรบิก (aerobic system/ oxidative system) 197

3. บทบาทของออกซิเจนต่อระบบพลังงาน 203

3.1 จลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน (VO_2Kinetics) 203

3.3.1 ระยะที่ 1 หรือระยะแรกสุด 205

(Phase I: cardio–dynamic component/ early component)

3.3.2 ระยะที่ 2 หรือ ระยะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว 206

ของปริมาณการใช้ออกซิเจน

(Phase II: fast component / rapid component)

3.3.3 ระยะที่ 3 (phase III) 208

– การออกกำลังกายที่มีความหนักของงานระดับปานกลาง 208

ระยะคงที่ (phase III – steady state)

– การออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมาก ระยะที่มีการ 208

เพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนอย่างช้า ๆ

(Phase III – slow component)

3.2 ออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2 deficit) และ หนี้ออกซิเจน (O_2 debt) 209

4. ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาที 211

(Maximal oxygen uptake/ Maximal Oxygen Consumption / VO_2 max)

4.1 ปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน (VO2plateau/ VO2 pl) 213

4.2 เกณฑ์การตัดสินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด 214

5. การใช้ออกซิเจนของร่างกาย 215

5.1 การใช้ออกซิเจนของร่างกายในขณะพัก (VO_2 at Rest/ Resting VO_2) 215

5.2 การใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย 216

5.3 ผลของความสูงที่มีต่อการใช้ออกซิเจนของร่างกาย 215

5.3.1 5.3.1 ภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำ (hypoxemia) 218

5.4 ค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกายค่าการเผาผลาญภาย 218
หลังการออกกำลังกาย (excess post–exercise oxygen; EPOC)/ afterburn effect)
6. กรดแลคติก (lactic acid) และแลคเตท (lactate) 220
7. ขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก (aerobic threshold/ AeT) 222
8. ระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิกหรือจุดเริ่มล้า (anaerobic threshold/ AT) 225
8.1 ความสำคัญของระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิก 226
9. อัตราการเผาผลาญพลังงาน (metabolic equivalent task / METs) 230
10. ค่าเศษส่วนลมหายใจ และค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ 232
10.1 ค่าเศษส่วนลมหายใจ (the respiratory quotient, RQ) 232
10.2 ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ (respiratory exchange ratio, RER) 233
11. การวัดค่าการใช้พลังงานในร่างกาย 234
11.1. การวัดทางตรง 234
11.2 การวัดทางอ้อม 234
12. แหล่งที่มาของพลังงานในร่างกาย 236
13. ความสัมพันธ์ของระบบการใช้พลังงานและสมรรถภาพทางกาย 233
สรุป 237
บรรณานุกรม 238

บทที่ 6 อัตราการเต้นของหัวใจและการประยุกต์สำหรับสมรรถภาพทางกาย 246
1. สรีรวิทยาเบื้องต้นของหัวใจ 247
2. อัตราการเต้นของหัวใจและชีพจร 247
3. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (resting heart rate / RHR) 248
4. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate, MHR; HRmax) 249
4.1 การคำนวณร้อยอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้สูตร
(the percentage of maximum heart rate) 249
4.1.1 วิธีการของฟ็อกซ์ (Fox–formula) 250
4.1.2 วิธีการของทานากะ (Tanaka–formula) 251
4.1.3 วิธีการอื่น ๆ 251
4.2 การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยวิธีออกกำลังกาย 252
(exercise testing for individual maximum heart rate)
5. อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (target heart rate/ THR) 252

6. โซนอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate zone) 252
7. อัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (heart rate reserve / HRR) 253
8. ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง 254
(% of heart rate reserve / %HRR) / Karvonen–formula)
9. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ใช้พลังงานแบบแอโรบิก 256
(maximum aerobic heart rate/ MAHR)
10. ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate variability/ HRV) 258
11. เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate monitor) 260
12. การจับชีพจร 265
13. ความดันโลหิต (blood pressure) 266
14. ปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output/ CO, Q) 268
15. แนวทางการนำาค่าอัตราการเต้นของหัวใจไปใช้ในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย 271
สรุป 274
บรรณานุกรม 275

ดัชนี 281
Index 289

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1

ภาพที่ 1-1 แสดงสมมุติฐานสายตระกูลของของไมโทคอนเดรีย อีฟ 2

ภาพที่ 1-2 แสดงสมมุติฐานสายตระกูลของวายโครโมโซม อดัม 3

ภาพที่ 1-3 แสดงภาพมนุษย์ยุคใหม่, ออสตราโลพิเทคัส และชิมแพนซี 5

ภาพที่ 1-4 แสดงภาพการระเบิดของดวงดาวเมื่อสิ้นอายุขัยหรือ 6

ภาพที่ 1-5 แสดงภาพการฝึกยกวัวของไมโล 11

บทที่ 2

ภาพที่ 2-1 แสดงการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึก 38

ภาพที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนักและความเร็วของการฝึก
ความแข็งแรง ประเภทต่าง ๆ 40

ภาพที่ 2-3 แสดงเกณฑ์มาตรฐานความสามารถในการยกน้ำหนักในท่าต่าง ๆ 41

ภาพที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนักและความเร็วของการฝึก
ความแข็งแรงประเภทต่าง ๆ 42

ภาพที่ 2-5 แสดงความหนักของการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อเทียบจากร้อยละของค่า 1 RM
เพื่อพัฒนาความแข็งแรงในแบบต่าง ๆ 43

ภาพที่ 2-6 แสดงองค์ประกอบของร่างกายเมื่อแยกจากองค์ประกอบต่าง ๆ 44

ภาพที่ 2-7 แสดงองค์ประกอบของร่างกายเมื่อแยกจากองค์ประกอบต่าง ๆ 45

ภาพที่ 2-8 แสดงค่ามาตรฐานน้ำหนักและส่วนสูงสำหรับคนไทยในช่วงวัยต่าง ๆ 46

ภาพที่ 2-9 แสดงค่าเฉลี่ยส่วนสูงของประชากรในทวีปเอเชียทั้งเพศชาย 47

ภาพที่ 2-10 แสดงค่าเฉลี่ยส่วนสูงของประชากรในทวีปเอเชียทั้งเพศหญิง 48

ภาพที่ 2-11 แสดงความแตกต่างระหว่าง Flexibility กับ Mobility 50

ภาพที่ 2-12 แสดงความแตกต่างระหว่าง Flexibility กับ Mobility 51

ภาพที่ 2-13 แสดงความแตกต่างระหว่าง Flexibility กับ Mobility 52

ภาพที่ 2-14 แสดงวิธีการฝึกความเร็วประเภทต่าง ๆ 54

ภาพที่ 2-15 แสดงรูปแบบการฝึกความเร็วแบบต่าง ๆ 55

ภาพที่ 2-16 แสดงรูปแบบการฝึกความเร็วแบบต่าง ๆ 57

ภาพที่ 2-17 แสดงประเภทต่าง ๆ ของสมรรถภาพทางกายด้านพลังของกล้ามเนื้อ 58

หน้า

บทที่ 2 (ต่อ)

ภาพที่ 2-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reaction time, Movement time และ Response Time 62
ภาพที่ 2-18 แสดงตัวอย่างสถานีฝึก T-Drill ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึก SAQ 59

บทที่ 3

ภาพที่ 3-1 แสดงการแบ่งรูปร่างมนุษย์ตามหลักการของ William Sheldon 81
ภาพที่ 3-2 แสดงระบบต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาของมนุษย์ 83
ภาพที่ 3-3 แสดงท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ 85
ภาพที่ 3-4 แสดงระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane) 86
ภาพที่ 3-5 แสดงท่า Squat 87
ภาพที่ 3-6 แสดงท่า Bicep curl 88
ภาพที่ 3-7 แสดงระนาบด้านข้าง (frontal/ lateral plane) 89
ภาพที่ 3-8 แสดงท่า Lateral arm raises 90
ภาพที่ 3-9 แสดงท่า Lateral leg raises 90
ภาพที่ 3-10 แสดงระนาบขอบฟ้า 91
ภาพที่ 3-11 แสดงการออกกำลังกายในระนาบขอบฟ้า 92
ภาพที่ 3-12 แสดงกระดูกแกนกลางของร่างกาย 94
ภาพที่ 3-13 แสดงภาพกระดูกสันหลัง 95
ภาพที่ 3-14 แสดงกระดูกรยางค์ 96
ภาพที่ 3-15 แสดงกระดูกส่วนสำคัญๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย 97
ภาพที่ 3-16 แสดงข้อต่อแบบเส้นใย (fibrous joints) 98
ภาพที่ 3-17 ข้อต่อแบบกระดูกอ่อน 99
ภาพที่ 3-18 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Deltoids 103
ภาพที่ 3-19 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Deltoids 104
ภาพที่ 3-20 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Biceps brachii 105
ภาพที่ 3-21 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Triceps brachii 106
ภาพที่ 3-22 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Pectoralis major 107
ภาพที่ 3-23 แสดงกล้ามเนื้อ Serratus Anterior 109
ภาพที่ 3-24 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อหลัง 110
ภาพที่ 3-25 กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าท้อง 112
ภาพที่ 3-26 แสดงกล้ามเนื้ออุ้งเชิงกราน 112

หน้า

บทที่ 3 (ต่อ)

ภาพที่ 3–27 แสดงกล้ามเนื้อ Multifidus 113
ภาพที่ 3–28 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก 114
ภาพที่ 3–29 แสดงลักษณะการทำงานของร่างกาย 115
ภาพที่ 3–30 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps 116
ภาพที่ 3–31 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Quadriceps โดยใช้เทคนิคภาพตัดขวาง 117]
ภาพที่ 3–32 แสดงกล้ามเนื้อ Sartorius 118
ภาพที่ 3–33 แสดงกล้ามเนื้อ TFL และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน IT Band 119
ภาพที่ 3–34 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Gluteus 120
ภาพที่ 3–35 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring 121
ภาพที่ 3–36 แสดงสาเหตุการเกิดอาการ Hamstring Strain 122
ภาพที่ 3–37 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Triceps Surae 123
ภาพที่ 3–38 แสดงแนวพังผืดที่ปกคลุมอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย 125
ภาพที่ 3–39 แสดงตำแหน่งของร่างกายที่มักเกิดอาการ MPS Trigger Points 126
ภาพที่ 3–40 แสดงการวัดขนาดแขนส่วนบน 128
ภาพที่ 3–41 แสดงการวัดขนาดแขนส่วนบน 128
ภาพที่ 3–42 แสดงการวัดเส้นรอบอก 129
ภาพที่ 3–43 แสดงการวัดเส้นรอบเอว 129
ภาพที่ 3–44 แสดงการวัดเส้นเส้นรอบสะโพก 130
ภาพที่ 3–45 แสดงการวัดเส้นรอบวงขาส่วนบน 130
ภาพที่ 3–46 แสดงการวัดเส้นรอบน่อง 131

บทที่ 4

ภาพที่ 4–1 รูปแบบการเคลื่อนไหว 7 รูปแบบ 138
ภาพที่4–2 รูปแบบการเคลื่อนไหวแบบ Squat 139
ภาพที่ 4–3 รูปแบบการเคลื่อนไหวแบบ Squat 140
ภาพที่ 4–4 รูปแบบการเคลื่อนไหวแบบ Squat 141
ภาพที่ 4–5 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบ Hip Hinge 142
ภาพที่ 4–6 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบ Lunge 143
ภาพที่ 4–7 รูปแบบวงจรการเดิน 144
ภาพที่ 4–8 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบ push 145

หน้า

บทที่ 4 (ต่อ)

ภาพที่ 4–9 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบ pull 146
ภาพที่ 4–10 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบ Rotation & Twist 147
ภาพที่ 4–11 แสดงกระดูกแกนกลางและกระดูกรยางค์ของร่างกาย 150
ภาพที่4–12 แสดงกระดูกประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะรูปร่าง 151
ภาพที่ 4–13 แสดงกระดูกแขนและไหล่ 152
ภาพที่ 4–14 แสดงกระดูกแขนและไหล่(153
ภาพที่ 4–15 กระดูกสันหลังและทรวงอก 154
ภาพที่ 4–16 กระดูกเชิงกรานและต้นขา 155
ภาพที่ 4–17 แสดงกระดูกหัวเข่า, ขาและเท้า 156
ภาพที่ 4–18 แสดงข้อต่อประเภทต่าง ๆ ทั่วร่างกาย 158
ภาพที่ 4–19 แสดงข้อต่อประเภทต่าง ๆ ทั่วร่างกายขณะเล่นกีฬา 159
ภาพที่4–20 แสดงการเคลื่อนไหวของคอ 161
ภาพที่4–21 แสดงการเคลื่อนไหวของหน้าอก 162
ภาพที่ 4–22 แสดงการเคลื่อนไหวของสะบัก 163
ภาพที่ 4–23 แสดงการเคลื่อนไหวของไหล่ 164
ภาพที่ 4–24 แสดงการเคลื่อนไหวของข้อศอกและแขนท่อนล่าง 165
ภาพที่ 4–25 แสดงการเคลื่อนไหวของข้อมือ 166
ภาพที่ 4–26 แสดงการเคลื่อนไหวของสันหลัง 167
ภาพที่ 4–27 แสดงการเคลื่อนไหวของเชิงกราน 168
ภาพที่ 4–28 แสดงการเคลื่อนไหวของสะโพก 169
ภาพที่ 4–29 แสดงการเคลื่อนไหวของเข่า 170
ภาพที่ 4–30 แสดงการเคลื่อนไหวของเท้า, ข้อเท้าและนิ้วเท้า 171
ภาพที่ 4–31 ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อแสดงกลุ่มเนื้อชนิดหดตัวช้า 174
ภาพที่ 4–32 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Isometric contraction 175
ภาพที่ 4–33 แสดงการหดตัวแบบ Eccentric และ Concentric 177
ภาพที่4–34 แสดงเครื่อง Isokinetic machine 178
ภาพที่4.–35 แสดงการเปรียบเทียบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Isotonic และ Isokinetic 178
ภาพที่ 4–36 แสดงอุปกรณ์การฝึกเพื่อให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบ Isoinertial 179
ภาพที่ 4–37 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Upper crossed syndrome 182

หน้า

บทที่ 4 (ต่อ)

ภาพที่ 4–38 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Upper crossed syndrome 183
ภาพที่ 4–39 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Lower crossed syndrome 183
ภาพที่ 4–40 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Lower crossed syndrome 184

บทที่ 5

ภาพที่ 5–1 แสดงปริมาณของสารอาหารที่ร่างกายเก็บไว้เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน 191
ภาพที่ 5–2 แสดงการโครงสร้างของ ATP/ Adenosine Tri–Phosphate 192
ภาพที่ 5–3 แสดงวัฏจักร ATP–ADP 193
ภาพที่ 5–4 แสดงการกระบวนการส้ราง ATP ใหม่จากการสลายของ PCr 194
ภาพที่ 5–5 แสดงกระบวนการผลิต ATP จากกลูโคสในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic glycolysis) และในสภาวะใช้ออกซิเจน 196
ภาพที่ 5–6 สัดส่วนของแหล่งพลังงานในการทำกิจกรรมที่ความหนักระดับต่าง ๆ 197
ภาพที่ 5–7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบพลังงานต่าง ๆ ในกีฬากรีฑาลู่และลานบางประเภท 199
ภาพที่ 5–8 แสดงกิจกรรมการออกกำลังกายและการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ 199
ภาพที่ 5–9 แสดงการแบ่งระบบพลังงานประเภทต่าง ๆ ในร่างกาย 200
ภาพที่ 5–10 แสดงประสิทธิภาพของระบบพลังงานตามระยะเวลาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ 201
ภาพที่ 5–11 แสดงจลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนเมื่อออกกำลังกาย 204
ภาพที่ 5–12 แสดงการเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) และการใช้นี้ออกซิเจน (O_2deb) จากการทดสอบออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (Ramp test) และการทดสอบแบบความหนักคงที่ (Constant work rate test) ตั้งแต่ในขณะพักจนถึงภายหลังการออกกำลังกาย 205
ภาพที่ 5–13 แสดงค่าคงที่เวลา (time constant/ τVO_2) ในคนสุขภาพดี (health) และผู้ที่มีภาวะผิดปกติของระบบไหลเวียนโลหิต (IFVO) 207
ภาพที่ 5–14 แสดงจลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกาย ในกรณีของการออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดของความสามารถที่ทำได้ (maximal exercise) 209
ภาพที่ 5–15 แสดงการเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) และการใช้นี้ออกซิเจน (O_2deb) ในการออกกำลังกายด้วยความหนักคงที่ 208

หน้า

ภาพที่ 5-16 รายงานการวิจัยเรื่องแรกของโลกที่พูดถึงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดย Hill และ Lupton ในปี ค.ศ. 1923 212
ภาพที่ 5-17 แสดงปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจนขณะทำการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย 213
ภาพที่ 5-18 แสดงเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ยอมรับค่า VO2 max จากการทดสอบ 214
ภาพที่ 5-19 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ลดลงตามช่วงอายุในเพศชายและหญิง 216
ภาพที่ 5-20 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนขณะพักและออกกำลังกายของคนทั่วไป ผู้สูงอายุ และนักกีฬาในเพศชายและหญิง 217
ภาพที่ 5-21 ค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย (EPOC) 218
ภาพที่ 5-22 แสดงการเกิดแลคเตทในภาวะปกติของร่างกาย 220
ภาพที่ 5-23 แสดงปริมาณแลคเตทในเลือดตาม Zone อัตราการเต้นของหัวใจ 223
ภาพที่ 5-24 แสดงค่าที่ใช้กำหนดจุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ (first ventilatory threshold/ VT1) 224
ภาพที่ 5-25 แสดงค่าที่เกี่ยวข้องกับขีดจำกัดการระบายอากาศ 226
ภาพที่ 5-26 แสดงการเกิดปรากฏการณ์และค่าต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดเกณฑ์การเกิด LT1 และ LT2 228
ภาพที่ 5-27 แสดงชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปของค่า Aerobic Threshold (AeT) และ Anaerobic Threshold (AT) 229
ภาพที่ 5-28 แสดงการหาค่าการใช้พลังงานของร่างกายจากค่า VO2max และ METs 231
ภาพที่ 5-29 แสดงค่าเศษส่วนลมหายใจและพลังงานที่ร่างกายได้รับจากการสลายสารอาหารประเภทต่าง ๆ 233
ภาพที่ 5-30 แสดงตัวอย่างใบวิเคราะห์การทดสอบการใช้พลังงานและวิเคราะห์ลมหายใจที่แสดงค่าการใช้พลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตและ RER 234
ภาพที่ 5-31 แสดงการวัดค่าการใช้พลังงานของร่างกายโดยตรง 235
ภาพที่ 5-32 แสดงการทดสอบการใช้พลังงานของร่างกายด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ 235
ภาพที่ 5-33 แสดงที่แหล่งพลังงานภายในร่างกาย 236
ภาพที่ 5-34 แสดงที่แหล่งพลังงานภายในร่างกาย 236

บทที่ 6

ภาพที่ 6-1 แสดงภาพทางกายภาพของหัวใจมนุษย์ 241
ภาพที่ 6-2 แสดงความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและชีพจร 242
ภาพที่ 6-3 แสดงการเทียบเคียงค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (%HRR) และค่าร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR) 250

ภาพที่ 6-4 แสดงช่วงการออกกำลังกาย Maximum Aerobic Function (MAF) โซนสีเขียวซึ่งสัมพันธ์กับค่า Aerobic Threshold 251
ภาพที่ 6-5 แสดงการเปรียบเทียบความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่าง ๆ 252
ภาพที่ 6-6 แสดงความผันแปรของอัตราหัวใจเต้นจากสัญญาณ ECG 253
ภาพที่ 6-7 จังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation) ในนักกีฬาที่ได้เหรียญจากการแข่งขันโอลิมปิก ใน 1 นาที 254
ภาพที่ 6-8 จังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation) ในผู้ที่มีความเครียดสูงใน 1 นาที 255
ภาพที่ 6-9 แสดงกายวิภาคของหัวใจและเซลล์ที่ให้กำเนิดสัญญาณ ECG 256
ภาพที่ 6-10 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 256
ภาพที่ 6-11 แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบติดหน้าอก 257
ภาพที่ 6-12 แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบคล้องแขน 258
ภาพที่ 6-13 แสดงการเปรียบเทียบการวัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีการวัดจากสัญญาณ ECGและ PPG 259
ภาพที่ 6-14 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณของคลื่น ECG และ PPG 259
ภาพที่ 6-15 แสดงเส้นเลือดแดงที่นิยมใช้จับชีพจร 260
ภาพที่ 6-16 แสดงสัดส่วนการส่งเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายในขณะพักและเมื่อมีการออกกำลังกาย 263
ภาพที่ 6-17 แสดงการค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (CO) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (HR) ในขณะออกกำลังกาย และการปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกาย(VO2) ขณะพักและออกกำลังกาย ในเพศชายและเพศหญิง 264
ภาพที่ 6-18 แสดงการค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (CO) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (HR) ในขณะออกกำลังกาย 265

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 4

ตารางที่ 4–1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ 174

บทที่ 5

ตารางที่ 5–1 แสดงความสัมพันธ์ของความหนักระยะเวลาในการออกกำลังกาย
และที่มาของพลังงาน 198
ตารางที่ 5–2 แสดงคำอธิบายระบบพลังงานของร่างกาย 201

บทที่ 6

ตารางที่ 6–1 แสดงค่าอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (rating heart rate/ RHR)
แยกตามอายุในเพศชาย 243
ตารางที่6–2 แสดงค่าอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (rating heart rate/ RHR)
แยกตามอายุในเพศหญิง 244
ตารางที่ 6–3 แสดงโซนการออกกำลังกายจากระดับชีพจรเป้าหมาย (THR)
ที่คำนวณจากร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR) 248
ตารางที่ 6–4 แสดงการจำแนกภาวะความดันโลหิตสูงของสมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา
(American Heart Association) 261

บทที่ 1

วิวัฒนาการของสมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหว

มนุษย์เป็นเพียงสิ่งมีชีวิตหนึ่งในบรรดาสายพันธุ์นับแสนล้านที่ถือกำเนิดขึ้นบนโลกใบนี้ แต่ด้วยความสามารถในการดำรงชีวิตรอดและวิวัฒนาการที่เหนือกว่าเผ่าพันธุ์อื่น ๆ ทำให้มนุษย์สามารถยืนอยู่บนจุดสูงสุดของห่วงโซ่อาหารได้อย่างง่ายดาย

ในอดีต การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์อาจทำให้เราเข้าใจผิดว่ามนุษย์มีวิวัฒนาการมาจากลิง แต่ความจริงแล้ว มนุษย์และลิงต่างมีวิวัฒนาการควบคู่กันมานับแสนนับล้านปี ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์หลายกลุ่มเชื่อว่ามนุษย์และลิงมีบรรพบุรุษร่วมกัน (Gibbons, 2012) โดยมีหลักฐานชี้ว่ามนุษย์สมัยใหม่และลิงชิมแปนซี (Pan troglodytes) เป็นสายพันธุ์ที่ใกล้ชิดกันที่สุด ซึ่งสืบเชื้อสายมาจากบรรพบุรุษเดียวกัน หากย้อนเวลากลับไปเป็นร้อยหรือพันล้านปี แทบจะกล่าวได้ว่ามนุษย์และสัตว์ทุกชนิดบนโลกใบนี้ต่างมีบรรพบุรุษร่วมกันเกือบทุกสายพันธุ์ (Tyson, 2008) แต่วิวัฒนาการทำให้มนุษย์มีการพัฒนาทางด้านสมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหวอย่างที่เห็นในปัจจุบัน ดังนั้นในบทที่ 1 นี้ผู้แต่งจึงขอกล่าวถึงวิวัฒนาการของมนุษย์รุ่นใหม่ รวมไปถึงประวัติและธรรมชาติวิทยาของการออกกำลังกาย เพื่อสื่อให้เห็นความเป็นมาและความสำคัญของการออกกำลังกายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

1. ไมโทคอนเดรีย อีฟ และ วายโครโมโซม อดัม (Mitochondrial Eve และ Y-chromosomal Adam)

นักวิทยาศาสตร์บางกลุ่มเชื่อว่ามนุษย์ทุกคนบนโลกนี้สืบเชื้อสายมาจากบรรพบุรุษร่วมกันในลักษณะเครือญาติ (inbreeding) โดยประมาณการว่าบรรพบุรุษสายตรงของมนุษย์ถือกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 200,000 ปีก่อน และมีการสืบทอดทางพันธุกรรมผ่านประมาณ 7,000 – 8,000 รุ่นมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดช่วงเวลาเกือบ 200,000 ปีของการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม มีการสันนิษฐานว่ามีเพียงผู้หญิงคนเดียวที่อาศัยอยู่ในทวีปแอฟริกาเป็นจุดเริ่มต้นของพันธุกรรมมนุษย์ทุกคนบนโลกนี้ นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้เรียกเธอว่า ไมโทคอนเดรียล อีฟ (mitochondrial Eve) ในขณะที่การสืบทอดทางพันธุกรรมจากมนุษย์คนอื่น ๆ ที่มีชีวิตอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันนั้นไม่สามารถตกทอดมาถึงปัจจุบันได้ (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ, 2560)

แนวคิด Mitochondrial Eve และ Y-chromosomal Adam จึงเป็นทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ที่เสนอว่าผู้หญิงคนหนึ่งและผู้ชายคนหนึ่งเป็นบรรพบุรุษร่วมกันของมนุษย์ทุกคนบนโลกใบนี้ โดยที่ทั้งสองคนอาจไม่ได้มีชีวิตอยู่ในยุคเดียวกัน พูดง่าย ๆ คือ ไมโทคอนเดรียลอีฟ คือแม่ของคนทั้งโลก และ Y-chromosomal Adam คือพ่อของคนทั้งโลกนั่นเอง

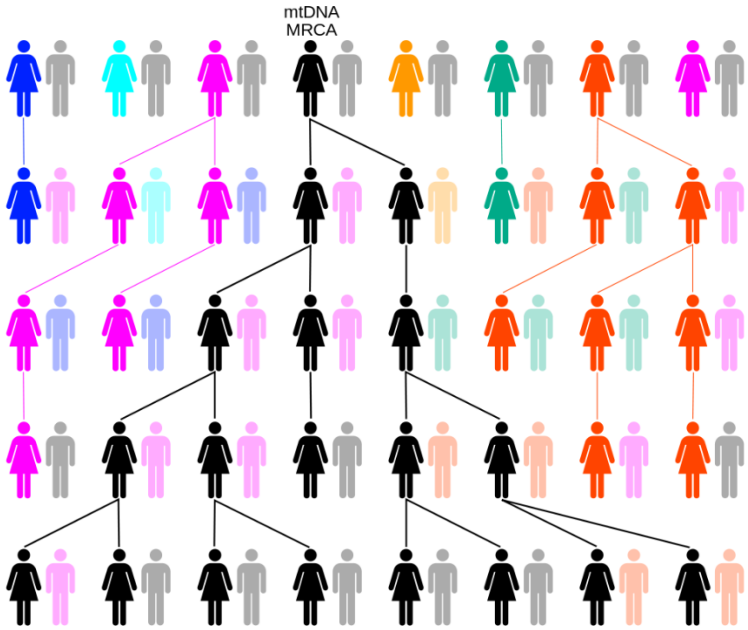
1.1 ไมโทคอนเดรียอีฟ (Mitochondrial Eve)

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร Nature ในปี 1987 โดย Rebecca Cann, Mark Stoneking และ Allan Wilson ซึ่งศึกษา ไมโทคอนเดรียลดีเอ็นเอ (mtDNA) ของผู้หญิง 145 คนตั้งแต่ปี 1985 ได้ค้นพบความสัมพันธ์ที่บ่งชี้ว่า มนุษย์ทุกคนบนโลกนี้อาจสืบเชื้อสายมาจากผู้หญิงเพียงคนเดียวที่อาศัยอยู่ในทวีปแอฟริกาเมื่อ 140,000 – 200,000 ปีที่ผ่านมา (Cann, Stoneking & Wilson, 1987)

อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจคือ งานวิจัยชิ้นนี้ ไม่ได้หมายความว่า Mitochondrial Eve คือผู้หญิงคนแรกของโลก ในช่วงเวลาที่ Mitochondrial Eve มีชีวิตอยู่ อาจมีผู้หญิงคนอื่น ๆ อีกมากมายอาศัยอยู่บนโลก และก่อนยุคของเธอ ก็อาจมีประชากรมนุษย์จำนวนมากที่มีไมโทคอนเดรียจากหลายตระกูลสืบทอดกันมา แต่เมื่อเวลาผ่านไป ตระกูลที่ไม่มีลูกผู้หญิงก็จะทำให้สายไมโทคอนเดรียของตระกูลนั้น ๆ สูญหายไป เหลือจำนวนตระกูลของไมโทคอนเดรียลดน้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์จึงพบว่าเหลือเพียงไมโทคอนเดรียของ ไมโทคอนเดรียอีฟ เท่านั้นที่สืบทอดมาถึงมนุษย์ทุกคนบนโลกใบนี้

ภาพที่ 1–1 แสดงสมมุติฐานสายตระกูลของไมโทคอนเดรีย อีฟ

แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Mitochondrial_Eve#/media/File:MtDNA-MRCA-generations-Evolution.svg



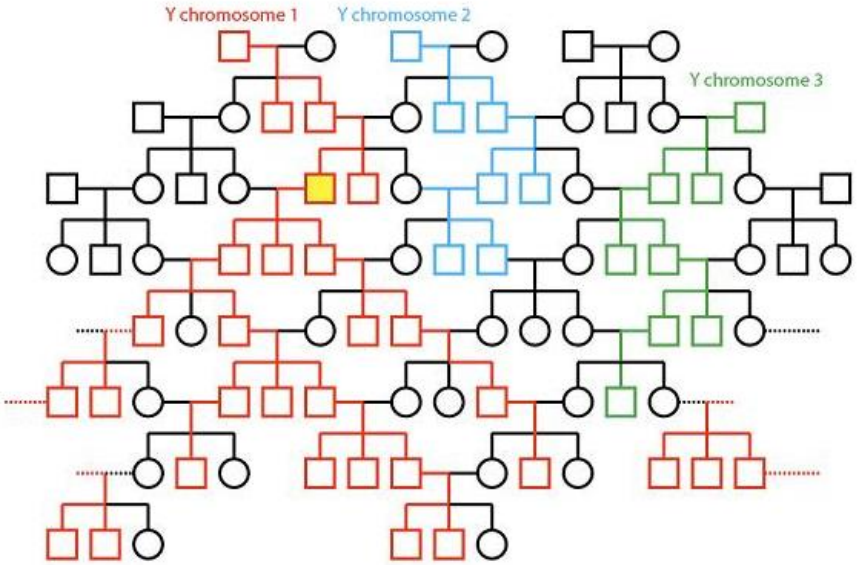
1.2 วายโครโมโซมอดัม (Y-chromosomal Adam)

หากมนุษย์ทุกคนบนโลกใบนี้มีบรรพบุรุษร่วมเป็นผู้หญิงคนเดียวกันคือ ไมโทคอนเดรียอีฟ ก็ย่อมนำมาซึ่งคำอธิบายสำหรับทฤษฎี วายโครโมโซมอดัม ที่ระบุว่ามนุษย์ทุกคนบนโลกนี้น่าจะมีบรรพบุรุษร่วมมาจากผู้ชายคนเดียวกันด้วยเช่นกัน

มีการประเมินว่า วายโครโมโซมอดัม น่าจะมีชีวิตอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 200,000 – 300,000 ปีก่อน (Karmin et al., 2015) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับการมีชีวิตอยู่ของ ไมโทคอนเดรียอีฟ นั่นเอง

ภาพที่ 1-2 แสดงสมมติฐานสายตระกูลของวายโครโมโซมอดัม

แหล่งที่มา https://biologos.org/articles/mitochondrial-eve-y-chromosome-adam-and-reasons-to-believ



2. บรรพชีวินของมนุษย์

หากทฤษฎี ไมโทคอนเดรียล อีฟ ได้รับการยืนยันและพิสูจน์ว่าเป็นจริง เธอก็จะเป็นทายาทของสิ่งมีชีวิตที่เป็นบรรพบุรุษสายตรงของมนุษย์ ซึ่งมีชีวิตอยู่เมื่อประมาณ 4 ล้านปีก่อน สิ่งมีชีวิตนี้ได้รับการพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์แล้วในชื่อ ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส (Australopithecus afarensis)

ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส ได้รับการยืนยันว่ามีลักษณะทางกายที่สามารถยืนและเดินด้วยขาหลังสองข้างได้ ซึ่งนับเป็นจุดเปลี่ยนครั้งสำคัญในประวัติศาสตร์ นี่คือจุดเริ่มต้นที่มนุษย์เริ่มมี กิจกรรมทางกายที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย โดยการทำกิจกรรมที่มีลักษณะคล้ายกับการเดินและวิ่ง เฉกเช่นมนุษย์ในยุคปัจจุบัน (ถาวรินทร รักษ์บำรุงและมณินทร รักษ์บำรุง, 2562)

2.1 ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส (Australopithecus aphaeresis)

ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส ถือเป็นบรรพบุรุษสายตรงกลุ่มแรก ๆ ของมนุษย์ที่ได้รับการยืนยันว่าเริ่มยืนและเดินด้วยขาหลังสองข้าง นี่เป็นจุดเปลี่ยนสำคัญในประวัติศาสตร์ที่มนุษย์เริ่มมีกิจกรรมทางกายเช่น การเดินและวิ่ง คล้ายกับมนุษย์ในยุคปัจจุบัน

เมื่อเกิดจุดเปลี่ยนสำคัญในการวิวัฒนาการนี้ โดยมนุษย์สามารถเดินด้วยขาหลังได้ ขาหน้าซึ่งต่อมาพัฒนาเป็นมือ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการหยิบจับสิ่งของและสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ตามที่สมองคิดค้น สิ่งนี้เองที่นำไปสู่การพัฒนาของมนุษย์มาจนถึงปัจจุบัน (มณินทร รักษ์บำรุง, 2556)

2.2 ชิมแปนซีญาติสนิทของเรา

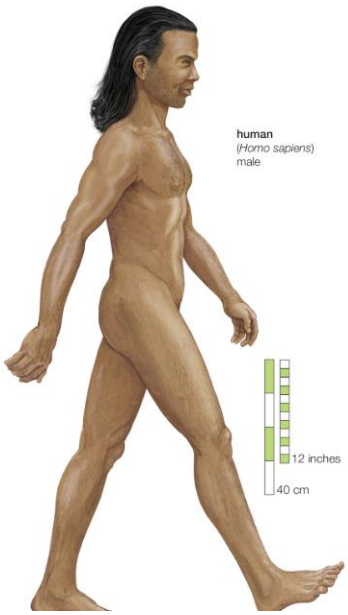
ลิงชิมแปนซีซึ่งเป็นญาติสนิทของมนุษย์ยุคใหม่ มีความคล้ายคลึงทางพันธุกรรมกับเราถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ทั้งสองเผ่าพันธุ์เริ่มแยกสายวิวัฒนาการออกจากกันเมื่อประมาณ 6.5 – 4 ล้านปีก่อน ในช่วงที่บรรพบุรุษของมนุษย์ยุคใหม่ยังคงอาศัยอยู่ในพื้นที่ทางตะวันออกของแอฟริกาซึ่งเริ่มแห้งแล้งลง ความต้องการและสัญชาตญาณในการดำรงชีวิตได้นำไปสู่การพัฒนาทางสรีรวิทยาอย่างหนึ่ง คือบรรพบุรุษของมนุษย์บางกลุ่มเริ่มยืนขึ้นและเดินด้วยสองขาหลัง เพื่อเอื้อมเก็บอาหารจากต้นไม้เตี้ย ๆ ขณะที่บรรพบุรุษของลิงยังคงเดินด้วยสี่ขาโดยใช้มือเหมือนเท้า

เมื่อวิวัฒนาการมาเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถเดินสองขาได้ มนุษย์จึงมี มือ ซึ่งเป็นอวัยวะสำคัญแห่งการพัฒนา ทำให้เราสามารถหยิบจับสิ่งต่าง ๆ มาเป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน ช่วงเวลาที่เราใช้ในการวิวัฒนาการขั้นตอนหลังจากที่เดินสองขาได้นั้นอยู่ในช่วง 5 – 3 ล้านปีก่อน การที่เราสามารถเดินด้วยสองขาหลังนั้นช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ก็จริง แต่ก็ส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ลดลง (เรากับลิงชิมป์ต่างกันแค่ไหน, 2554) จากการศึกษาวิจัยพบว่า หากเปรียบเทียบน้ำหนักตัวแบบปอนด์ต่อปอนด์ ชิมแปนซีจะมีความแข็งแรงมากกว่ามนุษย์ถึง 3–5 เท่า ซึ่งเป็น

ผลมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อที่มากกว่า การเรียงตัวของกล้ามเนื้อที่แตกต่างจากมนุษย์ รวมถึงจุดเชื่อมระหว่างข้อต่อและกล้ามเนื้อที่มีความแข็งแรงมากกว่า (Bauman, 1926)

ภาพที่ 1–3 แสดงภาพมนุษย์ยุคใหม่, ออสตราโลพิเทคัส และชิมแปนซี

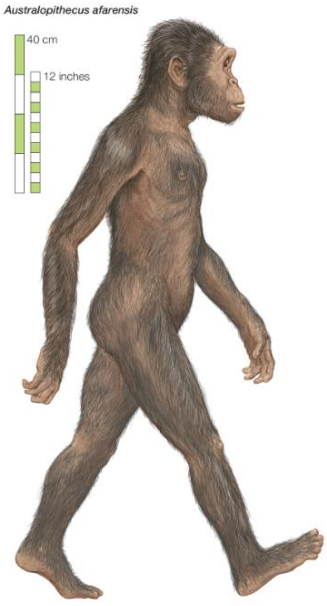
Homo–sapiens



แหล่งที่มา

https://www.britannica.com/topic/Homo–sapiens

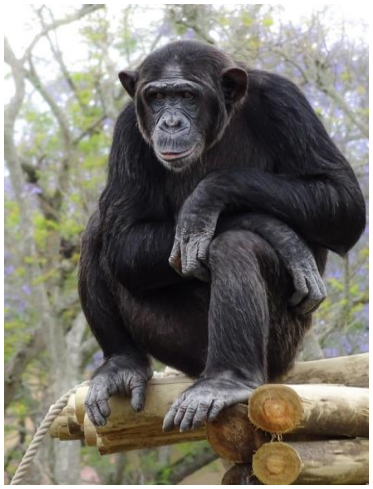
Australopithecus



แหล่งที่มา

https://www.britannica.com/topic/Australopithecus

Chimpanzee



แหล่งที่มา

https://www.flickr.com/photos/jean–marc_astesana/23954743718

3. การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการเคลื่อนไหวร่างกายมนุษย์

การยืนด้วยสองขาทำให้มนุษย์เป็นอย่างที่เราเป็นอยู่ในปัจจุบัน กิจกรรมทางกายและการออกกำลังกายที่เราทำล้วนส่งเสริมสมรรถภาพทางกายที่สอดรับกับการวิวัฒนาการของการยืนสองขา

อย่างที่กล่าวไปแล้วว่า ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส มีลักษณะทางกายที่เริ่มยืนและเดินด้วยขาหลังสองข้าง แม้จะยังไม่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ยืนยันชัดเจนว่า ออสตราโลพิเทคัส อะฟาเรนซิส เป็นบรรพบุรุษกลุ่มแรกของมนุษย์ที่ยืนสองขา หรือว่าการใช้ชีวิตของพวกเขามีกิจกรรมการเดินหรือวิ่งด้วยสองขาเป็นหลักหรือไม่ แต่นักวิทยาศาสตร์ก็ยังคงพยายามหาเหตุผลมาอ้างอิงว่า อะไรคือปัจจัยที่ผลักดันให้

บรรพบุรุษของมนุษย์ ซึ่งเดิมยังคงคลานสี่ขาและห้อยโหนอยู่บนต้นไม้ วิวัฒนาการมาเป็นสัตว์สองขาอย่างเช่นในปัจจุบัน

ทฤษฎีรังสีคอสมิกกับการยืนสองขา เป็นหนึ่งในเหตุผลที่น่าสนใจและได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร The Journal of Geology ระบุว่า สาเหตุของการยืนสองขาไม่ได้เกิดขึ้นจากภายในโลก แต่มาจากปัจจัยที่ยิ่งใหญ่กว่านั้น โดย Melott และ Thomas นักฟิสิกส์ดาราศาสตร์จากมหาวิทยาลัยแคนซัส พบว่าสาเหตุที่ผลักดันให้บรรพบุรุษของมนุษย์ต้องยืนด้วยสองขา มาจาก รังสีคอสมิก ที่มีพลังงานและความเร็วสูง ซึ่งเกิดจากการ ระเบิดของดวงดาว (supernova) ที่ส่งผลกระทบต่อโลกเมื่อหลายล้านปีก่อน

ภาพที่ 1-4 แสดงภาพการระเบิดของดวงดาวเมื่อสิ้นอายุขัยหรือ Supernova

แหล่งที่มา https://ktla.com/news/nationworld/astronomers-discover-brightest-supernova-ever-seen/



การระเบิดของดวงดาว ที่ Melott และ Thomas ค้นพบ มาจากดาวฤกษ์ที่อยู่ไกลจากโลกไป 164 ปีแสง ซึ่งอาจระเบิดขึ้นในช่วง 7 – 2.6 ล้านปีที่ผ่านมา การระเบิดในครั้งนั้นส่งผลให้รังสีคอสมิกพลังรุนแรงทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมาจนถึงพื้นโลก การที่รังสีคอสมิกพลังสูงแผ่ทะลุชั้นบรรยากาศ ทำให้อิเล็กตรอนของธาตุต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศหลุดออกจากอะตอมของธาตุเหล่านั้น เหตุการดังกล่าวเป็นการเพิ่มประจุไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศโลกให้สูง และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟ้าผ่าอย่างรุนแรงมากกว่าเดิมกว่า 50 เท่า ในช่วงเวลานั้นคาดว่าบรรพบุรุษของมนุษย์ยังคงอาศัยอยู่ในทวีปแอฟริกา เมื่อไฟป่าที่เกิดจาก

ฟ้าผ่ามีจำนวนมากขึ้น บรรพบุรุษของมนุษย์จึงถูกผลักดันให้ต้องเริ่มยืนด้วย 2 ขา เพื่อสร้างความได้เปรียบในการดำรงชีวิต เป็นการเพิ่มความสามารถในการระวังภัย ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้คล่องตัวและไกลมากขึ้น หาอาหารได้เพิ่มมากขึ้น (Melott& Thomas, 2019; บีบีซีไทย, 2562: ออนไลน์) มนุษย์ปัจจุบันจึงมีวิวัฒนาการมาจากสายทางของบรรพบุรุษที่เดินด้วย 2 ขา ซึ่งได้เปรียบในการปรับตัวให้รอดพ้นจากวิกฤตการณ์ต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมมาได้

4. วิวัฒนาการของสมรรถภาพทางกาย

นับแต่บรรพบุรุษของเราเริ่มยืน 2 ขาเมื่อหลายล้านปีก่อน และวิวัฒนาการตัวเองเรื่อยมาจนมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับมนุษย์ในยุคปัจจุบันเมื่อไม่กี่แสนปีมานี้ มนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางกายในลักษณะของการเป็นสัตว์ 2 ขา ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพทางกายที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิต

4.1 มนุษย์ยุคโบราณวิ่งเพื่อให้มีชีวิตรอด

ไม่ว่าจะเป็นสัตว์ 4 ขาเหมือนบรรพบุรุษยุคดึกดำบรรพ์ หรือเป็นสัตว์ 2 ขาเหมือนในปัจจุบัน ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางกายและสมรรถภาพทางกายของมนุษย์ในสมัยโบราณ คือ การหาอาหารและการหลบภัย มนุษย์อยู่ในจุดสูงสุดของห่วงโซ่อาหาร ชีวิตประจำของมนุษย์ในยุคโบราณจึงเกี่ยวข้องกับการล่าสัตว์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหาร (Anderson, 1985) ความเร็วในการเคลื่อนไหวจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการหาอาหาร โดยเฉพาะหาต้องการล่าสัตว์ที่มีความเร็ว นอกจากจะเป็นผู้ล่าแล้ว ยังจำเป็นจะต้องค่อยหลบหลีกภัยจากการถูกล่า ไม่ว่าจะจากมนุษย์ด้วยกันหรือจากสัตว์ที่เป็นอันตรายต่าง ๆ และเนื่องจากไม่มีเทคโนโลยีใด ๆ มนุษย์จึงต้องประกอบกิจวัตรประจำวันด้วยการเดินและวิ่งเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการหาแหล่งอาหารหรือถิ่นที่อยู่อาศัย การเดินทางไปหาญาติพี่น้อง การเดินทางไปหาแหล่งน้ำเป็นต้น (Eaton et al., 1988) ดังนั้นมนุษย์ในยุคโบราณจึงจำเป็นจะต้องมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงเพื่อที่จะได้มีความเร็วทำกิจกรรมต่าง ๆ และต้องมีความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต ระบบหายใจ และกล้ามเนื้อที่ดี

เมื่อมนุษย์เริ่มอยู่รวมกันเป็นสังคมใหญ่ ความเร็วของร่างกายอาจจะไม่จำเป็นมากนักเหมือนในอดีต เนื่องจากเริ่มรู้จักทำการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ แต่ยังจำเป็นต้องมีความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อเพื่อใช้ในการทำการเกษตรและการป้องกันตนเอง สำหรับในปัจจุบันผู้ที่ไม่ใช่นักกีฬาอาจจะไม่จำเป็นต้องมีความเร็วหรือพลังของกล้ามเนื้อที่มากมายนัก เพราะมีเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ช่วยในการผ่อนแรง แต่มนุษย์ยังจำเป็นต้องดูแลสมรรถภาพกทางกายเพื่อให้สุขภาพร่างกายของตนแข็งแรง

ด้วยวัตถุประสงค์ในการดำเนินชีวิตที่แตกต่างกันตามยุคสมัยอย่างที่กล่าวไปแล้ว จึงเป็น

แรงผลักดันให้มนุษย์แต่ละช่วงเวลามีสมรรถภาพทางกายโดยรวมที่แตกต่างกันออกไป ตามกิจกรรมทางกายในชีวิตประจำวันของช่วงเวลานั้น และไม่ว่าช่วงเวลาเหล่านั้นจะแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด จะมีอยู่แค่เพียงสิ่งเดียวที่สามารถทำให้สมรรถภาพทางกายดีขึ้นได้นั่นก็คือการออกกำลังกาย ซึ่งจะเป็นวิธีการเดียวที่ช่วยให้สุขภาพร่างกายของมนุษย์ดีขึ้น การมีร่างกายที่ดีขึ้นจะส่งผลให้มีจิตใจและสติปัญญาที่ดีตามไปด้วย อย่างที่ John Locke กล่าวไว้ว่า จิตใจที่แจ่มใสอยู่ในร่างกายที่สมบูรณ์(A SOUND MIND IN A SOUND BODY) แสดงให้เห็นความสำคัญทางกายที่เกี่ยวข้องกับจิตใจอย่างไม่อาจแยกจากกัน

4.2 มนุษย์ยุคใหม่วิ่งเพื่อแข่งขัน

ในอดีตมนุษย์ต้องมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรง เพื่อให้มีความเร็วในการไล่ล่าหาอาหารหรือหลบหลีกภัยอันตรายต่าง ๆ ให้มีชีวิตอยู่รอด แต่ปัจจุบันนี้มนุษย์ต้องการความเร็วจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพื่อแข่งขันกันเป็นลำดับที่ 1

9.58 คือเวลาที่มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งมนุษย์สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็วสูงสุดในระยะทาง 100 เมตร Usain Bolt เป็นเจ้าของสถิตินี้ (สถิต ณ.เวลาที่เรียบเรียงหนังสือเล่มนี้) หากเทียบกับการเดินที่มนุษย์มีความเร็วโดยเฉลี่ยทั่วไปอยู่ที่ 4–6 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแตกต่างกันไปตามเพศ อายุ และลักษณะทางกายภาพ นักวิ่งชาวจาไมก้าผู้นี้วิ่งด้วยความเร็ว 37.58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเป็นความเร็วที่มากกว่า Luther Cary นักวิ่งชาวอเมริกันเคยทำไว้ในปี 1891 ที่เวลา 10.8 วินาที เมื่อร้อยกว่าปีมาแล้ว แม้ในความเป็นจริงแล้ว Usain Bolt จะไม่สามารถทำความเร็วขนาด 37.58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้นานมากกว่า 1–2 นาทีก็ตาม แต่จากสถิติในการวิ่ง 100 เมตรก็พิสูจน์ให้เห็นได้ว่ามนุษย์คนหนึ่งสามารถพัฒนาและอาจมีการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมมาได้มากกว่าบรรพบุรุษหรือผู้คนที่อาศัยอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน (ถาวรินทร รักษ์บำรุงและมณินทร รักษ์บำรุง, 2562)

ถ้าการวิ่ง 100 เมตรคือบทพิสูจน์ศักยภาพทางกายที่เราเรียกว่าความเร็ว ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวทำงานด้วยความสามารถสูงสุดควบคู่กับความสามารถในการนำพลังงานมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่าที่ขีดจำกัดของร่างกายมนุษย์จะทำได้ การวิ่งมาราธอนจะเป็นตัวแทนของความสามารถของร่างกายที่กล้ามเนื้อหดตัวต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ โดยการนำออกซิเจนจากอากาศภายนอกมาเป็นเชื้อเพลิงในการสร้างพลังงาน ซึ่งเรียกกันว่าความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ Johnny Hayes นักวิ่งชาวอเมริกัน เคยวิ่งมาราธอนระยะทาง 42.195 กิโลเมตร ด้วยเวลา 2 ชั่วโมง 55 นาที 18.4 วินาที เมื่อปี ค.ศ. 1908 และเราใช้เวลาแค่เพียง 1 ศตวรรษ ในการหาวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างสมรรถภาพทางกายของมนุษย์ให้ทำลายสถิตินั้นลง

นักวิ่งชาวเคนยา เอเลียด คิปโชเก (Eliud Kipchoge) เป็นมนุษย์คนแรกที่วิ่งมาราธอนด้วยเวลาต่ำกว่า 2 ชั่วโมง เขาวิ่งเข้าเส้นชัยด้วยสถิติ 1 ชั่วโมง 59 นาที 40.2 วินาที (สถิต ณ.เวลาที่เรียบเรียง

หนังสือเล่มนี้) แต่กรีฑาโลก (WA) ไม่ได้ให้การรับรองสถิตินี้เนื่องจากในรายการการแข่งขันครั้งนี้ มีการจัดเตรียมพื้นผิวและสภาพแวดล้อมของสถานที่วิ่งที่สนับสนุนต่อการวิ่ง เช่นการเลือกวันเวลาที่สภาพอากาศเหมาะต่อการวิ่ง มีผู้ช่วยกระตุ้นการวิ่งสลับทำหน้าที่วิ่งไปพร้อมกับคิปโชเกตลอดระยะทาง และมีลำแสงเลเซอร์ชี้นำจุดที่ควรจะวิ่งถึงตลอดทาง เพื่อให้วิ่งได้ทันตามระยะเวลาที่กำหนด

ทั้งนี้ WA ให้เหตุผลว่าการวิ่งครั้งนี้ไม่ใช่การแข่งขันมาราธอนทั่วไป แม้ระยะทางในการวิ่งจะถูกต้องตามระยะมาราธอนสากลก็ตาม) อย่างไรก็ตามสามารถนับว่าคิปโชเกเป็นมนุษย์คนแรกที่สามารถวิ่งในระยะมาราธอนได้เร็วที่สุดในโลกและทำลายสถิติของ Johnny Hayes ที่ทำไว้เมื่อร้อยกว่าปีก่อนลงอย่างราบคาบ ทั้ง ๆ ที่คิปโชเกนั้นมิได้ต้องการมีความอดทนของระบบกล้ามเนื้อ ระบบหายใจ และระบบไหลเวียนโลหิตไว้เพื่อการดำรงชีวิตขั้นพื้นฐานเหมือนมนุษย์ในอดีต แต่นักวิ่งมาราธอนชาวเคนยาผู้นี้ต้องการมีความเป็นเลิศของสมรรถภาพทางกายไว้แข่งขันเพื่อขึ้นเป็นที่ 1 ในหมู่มวลมนุษย์

5. วิวัฒนาการของการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มาอย่างยาวนาน ตั้งแต่ในอดีตที่การเคลื่อนไหวร่างกายมีจุดประสงค์หลักเพื่อการดำรงชีวิตขั้นพื้นฐาน เช่น การหาอาหาร หรือการเดินทาง เมื่อสังคมมนุษย์มีการพัฒนาและรวมตัวกันเป็นชุมชน สร้างอารยธรรม ความต้องการในการใช้ชีวิตก็มีมากขึ้น การออกกำลังกายจึงเริ่มมีเป้าหมายที่ชัดเจนในการสร้างเสริมสมรรถภาพทางกาย เพื่อให้ร่างกายแข็งแรงและตอบสนองความต้องการในชีวิตประจำวันที่ซับซ้อนขึ้นได้ดีขึ้น ด้วยเหตุนี้ การออกกำลังกายจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในสังคมและอารยธรรมต่าง ๆ ด้วยจุดประสงค์ที่หลากหลายมากขึ้น

5.1 กรีกและโรมัน

ย้อนกลับไปเมื่อ 400 ปีก่อนคริสตกาล ฮิปโปเครติส (Hippocrates) นักปราชญ์ นักวิทยาศาสตร์ และแพทย์ชาวกรีก ได้กล่าวไว้ว่า “การรับประทานอาหารและออกกำลังกายในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่มากหรือน้อยเกินไป คือหนทางที่ปลอดภัยที่สุดในการทำให้สุขภาพดี (if we could give every individual the right amount of nourishment and exercise, not too little and not too much, we would have found the safest way to health)” (Ministry of Health Planning, 2003) ฮิปโปเครติสยังได้เขียนหนังสือสองเล่ม โดยเน้นย้ำในงานเขียนของเขาว่า การรับประทานอาหารเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการมีสุขภาพที่ดี มนุษย์จำเป็นต้องออกกำลังกายควบคู่กันไป หากทำได้เช่นนั้น ร่างกายก็จะแข็งแรงมากยิ่งขึ้น (Jones, 1953) คำกล่าวของฮิปโปเครติสนี้ ได้เปลี่ยนแนวคิดเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และกลายเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญที่ทำให้มนุษย์หันมาใส่ใจสุขภาพของตนเองด้วยการออกกำลังกายมากขึ้น นอกจากนี้ เขายังเป็นคน

แรกที่แนะนำให้ผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักเดินเร็วในระยะทางที่มาก และแนะนำให้ผู้เริ่มต้นออกกำลังกายทำอย่างค่อยเป็นค่อยไปด้วยความระมัดระวัง

จากอิทธิพลทางความคิดของฮิปโปเครติส (Hippocrates) กาเลนแห่งเปอร์กามอน (Galen of Pergamon) นักปราชญ์ชาวกรีกรุ่นต่อมา ได้พัฒนาทฤษฎีทางการแพทย์ที่เน้นความสำคัญของสุขภาพมนุษย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 6 ประการ ได้แก่ 1) อากาศ 2) อาหารและเครื่องดื่ม 3) การนอนหลับและการตื่น 4) การเคลื่อนไหว (ออกกำลังกาย) และการพักผ่อน 5) การขับถ่าย และ 6) ความพึงพอใจ (Berryman, 2010)

ชาวกรีกโบราณได้สร้าง วิหารแห่งสุขภาพ ขึ้น ซึ่งมีนักบวชทำหน้าที่รักษาอาการเจ็บป่วยต่าง ๆ โดยภายในวิหารจะมีห้องสำหรับออกกำลังกายรวมอยู่ด้วย พวกเขายังมีตำนานวีรบุรุษนามว่า ไมโล (Milo) ซึ่งเชื่อกันว่ามีชีวิตอยู่ในช่วง 532–516 ปีก่อนคริสตกาล ไมโลได้รับการยกย่องว่าเป็นคนแรกที่นำวิธีการฝึกออกกำลังกายแบบเป็นระบบมาใช้ โดยวิธีของเขาเป็นที่รู้จักกันในหลักการฝึกออกกำลังกายสมัยใหม่ว่า การฝึกกล้ามเนื้อโดยใช้แรงต้าน (weight / resistance training) ไมโลจะแบกลูกวัวตั้งแต่แรกเกิดทุกวัน จนกระทั่งลูกวัวอายุได้ 4 ปี ซึ่งหลักการนี้อาศัยการเพิ่มขึ้นของแรงต้าน (progressive resistance) เนื่องจากน้ำหนักของลูกวัวที่ไมโลยกนั้นเพิ่มขึ้นทุกวัน การฝึกเช่นนี้ส่งผลให้ไมโลเป็นแชมป์โอลิมปิกจากการแข่งขันมวยปล้ำในยุคโบราณติดต่อกันถึง 5 ครั้ง

ภาพที่ 1-5 แสดงภาพการฝึกยกวัวของ Milo of Croton ตามหลักการฝึก Progressive resistance

แหล่งที่มา https://medium.com/the-innovation/how-to-study-for-long-hours-a-lesson-from-a-greek-wrestler-b7beacff938f



ในสังคมกรีกโบราณ การฝึกออกกำลังกายถือเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง ผู้ชายชาวกรีกนิยมออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายให้แข็งแรง มีสุขภาพดี และมีรูปร่างสมส่วน (Grant, 1964)

มีคำกล่าวที่สะท้อนแนวคิดนี้ได้อย่างชัดเจนว่า "ชาวกรีกออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ และเล่นดนตรีเพื่อจิตวิญญาณ" (exercise for the body and music for the soul) (Wuest & Bucher 1995) พวกเขานิยมการฝึกเพาะกายและยิมนาสติกอย่างมาก และด้วยความนิยมในการออกกำลังกายและเล่นกีฬานี้เอง จึงเป็นจุดกำเนิดของ กีฬาโอลิมปิกในยุคโบราณ

ส่วนในสังคมโรมัน ซึ่งได้รับอิทธิพลทางวัฒนธรรมจากกรีกโบราณอย่างมาก ความเชื่อและวิถีชีวิตหลายอย่างจึงมีความเชื่อมโยงกัน ชาวโรมันเชื่อว่าการมีประชากรที่มีสุขภาพ รูปร่าง และสมรรถภาพร่างกายที่ดีจำนวนมาก จะสะท้อนถึงความแข็งแกร่งและความรุ่งโรจน์ของอาณาจักร พวกเขานิยมฝึกออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและความสวยงามของร่างกาย นอกจากนี้ ชาวโรมันยังใช้การออกกำลังกายเพื่อฝึกร่างกายของผู้ชายให้แข็งแรงสำหรับการทหาร เนื่องจากชายชาวโรมันทุกคนที่มีอายุ 17–60 ปี จำเป็นต้องเป็นทหารเมื่อถูกเรียกเพื่อปกป้องอาณาจักร การฝึกออกกำลังกายของชาวโรมันมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การฝึกวิ่ง การฝึกเดินสวนสนาม การฝึกขว้างจักร และการฝึกพุ่งแหลน เป็นต้น (Grant, 1964)

5.2 เอเชียโบราณ

นอกเหนือจากอารยธรรมกรีกและโรมันแล้ว อารยธรรมสำคัญอื่น ๆ ของโลก ไม่ว่าจะเป็นอียิปต์ในแถบลุ่มแม่น้ำไนล์, อินเดียในชมพูทวีป, เปอร์เซียในลุ่มน้ำไทกริส–ยูเฟรติส รวมถึงอารยธรรมจีนโบราณ ล้วนมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์และสังคมโลกมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

กังฟู: การออกกำลังกายของชาวจีน

ย้อนไปเมื่อ 2,000 – 2,500 ปีก่อนคริสตกาล ผู้ที่นับถือศาสนาขงจื๊อในอาณาจักรจีนโบราณ ไม่เพียงต้องเรียนรู้ปรัชญาเท่านั้น แต่ยังต้องฝึกฝนกิจกรรมทางกายชนิดหนึ่ง (Matthews, 1969; Wuest& Bucher 1995) ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาเป็นการออกกำลังกายที่เรารู้จักกันในปัจจุบันว่า กังฟู (Kung Fu) ในช่วงแรก กังฟูถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเสริมสร้างร่างกายให้แข็งแรงและป้องกันอาการเจ็บป่วย ก่อนที่จะถูกนำไปใช้ในกองทัพและในหมู่นักบวชในพุทธศาสนาในเวลาต่อมา

ปัจจุบัน การฝึกกังฟูได้รับการพิสูจน์แล้วว่าช่วยเพิ่มความสามารถทางกายในเชิงแอโรบิก (ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ) (Zehr& Sale, 1993) เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (O'Donovan et al, 2006) เพิ่มความยืดหยุ่น (Douris et al., 2004) และปรับปรุงความสมดุลของร่างกาย (Balance) (Jacobson et al., 1997) นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความมั่นใจในตนเองและส่งเสริมอารมณ์

ที่แจ่มใส (Woodward, 2009) ด้วยประโยชน์เหล่านี้ จึงมีการนำท่าออกกำลังกายแบบกังฟูมาประยุกต์ใช้เป็นทางเลือกใหม่ในการบำบัดอาการทางกายต่าง ๆ ให้ดีขึ้นในผู้ป่วยอีกด้วย (Sharpe et al., 2007)

โยคะ: การฝึกสมาธิควบคู่กับการออกกำลังกายของอินเดีย

ชมพูทวีปหรืออินเดียโบราณ ซึ่งเป็นดินแดนศักดิ์สิทธิ์ที่ให้กำเนิดศาสนาสำคัญของโลกมากมาย เช่น ฮินดู พุทธ และซิกข์ ชาวอินเดียโบราณได้คิดค้นการออกกำลังกายที่เรียกว่า โยคะ (Yoga) ซึ่งมีอายุเก่าแก่กว่า 5,000 ปี โยคะได้รับการพัฒนาขึ้นจากเหตุผลและความเชื่อทางศาสนา โดยถูกนำมาใช้เพื่อฝึกฝนจิตใจและจิตวิญญาณผ่านการควบคุมร่างกายและลมหายใจ (Wuest& Bucher, 1995)

ปัจจุบัน โยคะยังคงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการออกกำลังกายที่เน้นการควบคุมการหายใจและการรวบรวมสมาธิ ซึ่งช่วยให้ผู้ฝึกพัฒนาได้ทั้งร่างกายและจิตใจ การฝึกโยคะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น การทำงานร่วมกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ รวมถึงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Kirkwood et al, 2005) นอกจากนี้ยังช่วยลดความเครียด ลดความดันโลหิต ทำให้อารมณ์แจ่มใส และช่วยให้ระบบเผาผลาญทำงานได้ดีขึ้น (Yang, 2007) โยคะยังเป็นรากฐานของการออกกำลังกายรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า พิลาทิส (Pilates) ซึ่งได้รับความนิยมไม่แพ้กันในปัจจุบัน

การฝึกสมรรถภาพทางกายเพื่อการทหารในอารยธรรมตะวันออกไกล

สำหรับอารยธรรมตะวันออกไกล เช่น บาบิโลเนีย อียิปต์ เปอร์เซีย หรือซีเรีย ล้วนเน้นการฝึกสมรรถภาพทางกายเพื่อเตรียมความพร้อมของผู้ชายสำหรับการเป็นทหารในกองทัพ (Green et al., 1991) ตัวอย่างเช่น อาณาจักรเปอร์เซียจะเริ่มฝึกเด็กผู้ชายตั้งแต่อายุ 6 ขวบ ให้เรียนรู้การล่าสัตว์ การเดินสวนสนาม การปีนเขา และการพุ่งแหลน โดยมุ่งเน้นไปที่ความแข็งแรงทางกายเพื่อเตรียมเด็กชายเหล่านั้นเข้าสู่การเป็นทหารของอาณาจักรต่อไป (Wuest & Bucher 1995)

6. การออกกำลังกายสมัยใหม่

การออกกำลังกายในยุคใหม่ เริ่มต้นขึ้นในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 (Corre, 2014) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่โลกเข้าสู่ การปฏิวัติอุตสาหกรรม ผู้คนจำนวนมากเริ่มอพยพจากภาคเกษตรกรรมเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม ต่อมา เมื่อเข้าสู่สงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ความสำคัญของสมรรถภาพทางกายของทหารที่ถูกเกณฑ์เข้าร่วมสงครามก็เป็นที่ตระหนักมากขึ้น และจากการสำรวจพบว่า ทหารถึง 1 ใน 3 มีสมรรถภาพร่างกายต่ำกว่ามาตรฐานที่ควรจะเป็น

6.1 ศูนย์ฝึกออกกำลังกาย (fitness center)

ในปี พ.ศ. 2342 พระเจ้าเฟรเดอริกที่ 6 แห่งเดนมาร์ก ทรงริเริ่มให้มีการสร้าง สถานออกกำลังกายแห่งแรกขึ้นในประเทศเดนมาร์ก ในช่วงแรกสถานที่แห่งนี้ยังไม่เปิดให้บุคคลทั่วไปใช้บริการ แต่จำกัดเฉพาะบุคคลเท่านั้นเมื่อการออกกำลังกายเริ่มเป็นที่นิยมและแพร่หลายไปยังประเทศสวีเดน โดยใช้รูปแบบจากสถานบริหารกายส่วนบุคคลแห่งแรกในเดนมาร์ก พระเจ้าชาร์ลที่ 13 แห่งสวีเดน ได้ทรงให้การสนับสนุน ทำให้สถานบริหารกายแห่งใหม่นี้มีขั้นตอนการออกกำลังกายที่เป็นระบบและมีแบบแผนตามหลักสรีรวิทยาของการออกกำลังกายเป็นแห่งแรก

6.2 การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise)

แนวคิดเรื่องการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ถือกำเนิดขึ้นจากงานเขียนของ ดร. เคนเน็ธ เอช. คูเปอร์ (Dr. Kenneth H. Cooper) ในหนังสือชื่อ "AEROBICS" คูเปอร์ได้อธิบายว่า การออกกำลังกายประเภทนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันระหว่างระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โดยใช้แก๊สออกซิเจนจากภายนอกร่างกายมาเผาผลาญเพื่อสร้างพลังงาน หลังจากนั้น แนวคิดของคูเปอร์ได้ถูกพัฒนาไปสู่การเต้นที่เรียกว่า แอโรบิกแดนซ์ (Aerobic Dance) ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมาจนถึงปัจจุบัน

ผลการศึกษาในปัจจุบันพบว่า การฝึกเต้นแอโรบิกเป็นเวลา 8 สัปดาห์ สามารถลดน้ำหนักตัว ไขมันในร่างกาย ค่าดัชนีมวลกาย (BMI) อัตราส่วนรอบเอวต่อสะโพก และอัตราการเผาผลาญพลังงานพื้นฐาน (BMR) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 (Arslan, 2011) เป็นที่ยอมรับกันว่า การฝึกเต้นแอโรบิกช่วยพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้ไม่แตกต่างจากการวิ่ง ว่ายน้ำ หรือปั่นจักรยาน แถมยังมีความสนุกสนาน เพราะเป็นการเคลื่อนไหวตามจังหวะเพลง ระดับความหนักในการเต้นจะปรับเปลี่ยนไปตามจังหวะเพลง ซึ่งได้รับการพัฒนาให้มีความหลากหลายมากขึ้นในยุคปัจจุบัน

6.3 การปฏิวัติการออกกำลังกายในสหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกาถือเป็นต้นแบบในการส่งเสริมการออกกำลังกายสำหรับประชาชาน หรือการออกกำลังกายเพื่อมวลชน ย้อนกลับไปในปี ค.ศ. 1953 วารสาร Journal of The American Association for Health, Physical Education, and Recreation ได้ตีพิมพ์รายงานวิจัยเรื่อง "Muscular Fitness and Health" เขียนโดย Hans Kraus และ Bonnie Prudden รายงานชิ้นนี้ได้สร้างความตระหนักอย่างมากให้กับหน่วยงานด้านสุขภาพของสหรัฐฯ เนื่องจากข้อมูลที่นำเสนอชี้ให้เห็นว่าเยาวชนของประเทศในขณะนั้นมีสมรรถภาพทางกายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สามปีต่อมาในสมัยประธานาธิบดี Eisenhower จึงมีการจัดตั้ง President's Council on Youth Fitness ขึ้น ซึ่งภายหลังได้เปลี่ยนเป็น สภาที่ปรึกษาประธานาธิบดี ด้านสมรรถภาพ กีฬา

และโภชนาการ (President's Council on Fitness, Sports, and Nutrition) หน่วยงานนี้อยู่ภายใต้สังกัดของกระทรวงสาธารณสุขและบริการมนุษย์แห่งสหรัฐอเมริกา (United States Department of Health and Human Services) โดยมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้ประชาชนทุกคนใช้เวลาว่างในการออกกำลังกาย นอกจากนี้ ยังมีการมอบรางวัล President's Challenge Youth Physical Fitness Awards Program หรือที่รู้จักกันในชื่อ The President's Challenge ซึ่งเป็นรางวัลสำหรับเยาวชนที่ผ่านการทดสอบสมรรถภาพทางกายในกิจกรรมต่าง ๆ (The President's Challenge, 2013) ดังนี้

1) ลุกนั่ง (Curl – Ups/ Partial curl–ups)
2) วิ่งเก็บของ (Shuttle run)
3) วิ่งทางไกล (Endurance run/ Walk)
4) ดึงข้อราวเดี่ยว / วิดพื้น หรืองอแขนห้อยตัว (Pull–ups/ Right angle push – ups/ Flexed–arm hang)
5) นั่งยืดตัวไปด้านหน้า (V–sit Reach/ Sit and reach)

ก่อนสงครามโลก การใช้คำว่า พลศึกษา (physical education) เริ่มแพร่หลายในวงการแพทย์ของอเมริกา ในช่วงนั้น พลศึกษาหมายถึง เทคนิคการสอน รวมถึง กฎแห่งสุขภาพ (Law of Health) หรือ วิธีการสอนที่ว่าด้วยร่างกายเคลื่อนไหวได้อย่างไร การพัฒนาของพลศึกษาและการออกกำลังกายในอเมริกา และการแพร่หลายไปทั่วโลกในปัจจุบัน ได้รับแรงผลักดันสำคัญจากหนังสือสองเล่ม ได้แก่ "Thoughts on Physical Education" ที่เขียนโดย Charles Caldwell จากโรงเรียนแพทย์ Transylvania ในปี ค.ศ. 1834 และ "Preservation of Health" โดย John Warren จากโรงเรียนแพทย์ Harvard ในปี ค.ศ. 1845 (Berryman, 2010)

6.4 คณะกรรมการนานาชาติเพื่อวิจัยความสมบูรณ์ทางกาย (ICPFR/ International Committee on Physical Fitness Research)

ในปี พ.ศ. 2507 (ค.ศ. 1964) ที่กรุงโตเกียวประเทศญี่ปุ่น ระหว่างที่มีการจัดการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกครั้งที่ 19 มีการรวมกลุ่มผู้แทนนักวิชาการที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมสุขภาพจากประเทศต่าง ๆ จัดตั้งเป็นคณะกรรมการนานาชาติ เพื่อสร้างมาตรฐานในการทดสอบสมรรถภาพทางกายขึ้น ในครั้งนั้นมีตัวแทนของไทยที่เข้าร่วมประชุม คือ ศ.นพ.อวย เกตุสิงห์ คณะกรรมการที่จัดตั้งขึ้นใช้เวลาดำเนินการศึกษาวิจัยเป็นเวลา 8 ปี เพื่อพัฒนาแบบทดสอบสมรรถภาพทางกายที่สามารถใช้ได้กับคนทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2515 ได้เริ่มมีการนำแบบทดสอบออกใช้อย่างเป็นทางการ และได้เปลี่ยนชื่อคณะกรรมการ

เป็น คณะกรรมการนานาชาติ เพื่อวิจัยความสมบูรณ์ทางกาย (ICPFR/ International Committee on Physical Fitness Research) และแบบทดสอบที่คณะกรรมการฯ พัฒนาขึ้นใช้ชื่อว่า แบบทดสอบสมรรถภาพทางกายมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Committee for The Standardization of Physical Fitness/ ICSPFT) สำหรับในประเทศไทยนั้น แบบทดสอบถูกนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2515 ที่โรงเรียนมาร์แตร์เดอีวิทยาลัย และโรงเรียนสวนบัว รวมทั้งทำการทดสอบในนักกีฬาทีมชาติไทย แบบทดสอบมาตรฐานระหว่างประเทศประกอบด้วยรายการทดสอบ 8 รายการ

ในปี พ.ศ. 2507 (ค.ศ. 1964) ณ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่จัดการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกครั้งที่ 19 ได้มีการรวมตัวกันของกลุ่มผู้แทนนักวิชาการด้านการส่งเสริมสุขภาพจากนานาประเทศ เพื่อจัดตั้งคณะกรรมการนานาชาติ ที่มีเป้าหมายเพื่อสร้างมาตรฐานในการทดสอบสมรรถภาพทางกาย ในครั้งนั้น ศ.นพ.อวย เกตุสิงห์ เป็นตัวแทนจากประเทศไทยที่เข้าร่วมประชุมด้วย คณะกรรมการชุดนี้ใช้เวลาศึกษาและวิจัยเป็นเวลา 8 ปี เพื่อพัฒนาแบบทดสอบสมรรถภาพทางกายที่สามารถใช้ได้กับคนทั่วโลก จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2515 แบบทดสอบดังกล่าวได้เริ่มนำออกใช้อย่างเป็นทางการ และคณะกรรมการก็ได้เปลี่ยนชื่อเป็น คณะกรรมการนานาชาติเพื่อวิจัยความสมบูรณ์ทางกาย (International Committee on Physical Fitness Research/ ICPFR) ส่วนแบบทดสอบที่คณะกรรมการฯ พัฒนาขึ้นนั้น ใช้ชื่อว่า แบบทดสอบสมรรถภาพทางกายมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Committee for The Standardization of Physical Fitness/ ICSPFT)

สำหรับประเทศไทย แบบทดสอบนี้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2515 ที่โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัยและโรงเรียนสวนบัว รวมถึงมีการนำไปทดสอบกับนักกีฬาทีมชาติไทยด้วยเช่นกัน โดยแบบทดสอบมาตรฐานระหว่างประเทศนี้ประกอบด้วยรายการทดสอบทั้งหมด 8 รายการ

1) วิ่งเร็ว 50 เมตร (50–meter sprint)
2) ยืนกระโดดไกล (standing board jump)
3) แรงบีบมือ (grip strength)
4) ลุก–นั่ง 30 วินาที
5) ก. ดึงข้อ (pull–up) ชายอายุ 12 ปีขึ้นไป
   ข. งอแขนห้อยตัว (flexed arm hang) ชาย–หญิงอายุต่ำกว่า 12 ปี
   ค. กรมพลศึกษาใช้การดันพื้น (push up)
6) วิ่งเก็บ (meter shuttle run)
7) งอตัวไปข้างหน้า (trunk forward flexion)
8) วิ่งระยะไกล (distance run)

8.1) 1,000 เมตร สำหรับชายอายุ 12 ปีขึ้นไป

8.2) 800 เมตร สำหรับหญิงอายุ 12 ปีขึ้นไป

8.3) 600 เมตร สำหรับชาย–หญิงอายุต่ำกว่า 12 ปี

7. พลศึกษาและวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา

พลศึกษาและวิทยาศาสตร์การกีฬาเป็นสองศาสตร์ที่กำเนิดมาจากรากฐานเดียวกัน โดยทั้งคู่มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวและกิจกรรมทางกาย เพื่อส่งเสริมและพัฒนาสมรรถภาพทั้งทางกายและจิตใจ พลศึกษามีจุดประสงค์หลักเพื่อการเรียนการสอน โดยเน้นกระบวนการและวิธีการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายและจิตใจของผู้เรียนในสถานศึกษาเป็นสำคัญ ซึ่งจะใช้กิจกรรมการเคลื่อนไหวและกิจกรรมทางกายเป็นสื่อในกระบวนการจัดการเรียนการสอน ขณะที่วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬามุ่งเน้นการประยุกต์ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์จากหลากหลายสาขา เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายและจิตใจ ทั้งในคนทั่วไปและนักกีฬา

7.1 พลศึกษาในประเทศไทย (สมาคมสุขศึกษา พลศึกษาและสันทนาการแห่ง ประเทศไทย, 2556)

อารยธรรมไทยโบราณมีประวัติศาสตร์การออกกำลังกายและเล่นกีฬามาอย่างยาวนาน อาทิ กระบี่กระบอง ตะกร้อ และมวยไทย ซึ่งในปัจจุบันได้รับการพัฒนาและยอมรับในระดับสากล อย่างไรก็ตาม การเรียนการสอนพลศึกษาอย่างเป็นระบบในประเทศไทยเริ่มต้นขึ้นในปี พ.ศ. 2456 เมื่อกระทรวงธรรมการได้จัดตั้ง "ห้องพลศึกษากลาง" ขึ้นที่โรงเรียนมัธยมวัดราชบูรณะ (ปัจจุบันคือโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย) โดยเริ่มสอนสองวิชาแรกคือ มวยไทยและการตัดสิน ในปี พ.ศ. 2462 "ห้องพลศึกษากลาง" ได้เปลี่ยนชื่อสถานศึกษาเป็น "โรงเรียนพลศึกษากลาง" และเพิ่มรายวิชาเป็นสี่วิชา ได้แก่ วิชาลูกเสือ ดัดตนส่วนห้อยโหน ยูยิตสู และมวยไทยมวยฝรั่ง ผู้ที่สอบผ่านสองวิชาจะได้รับประกาศนียบัตรครูผู้สอนพลศึกษาชั้นโท (พ.ท.) และหากสอบผ่านทุกวิชาจะได้รับประกาศนียบัตรครูผู้สอนพลศึกษาชั้นเอก (พ.อ.) ในระยะแรก หลักสูตรนี้ไม่มีการกำหนดระยะเวลาเรียนที่ตายตัว ขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละบุคคล

ในปี พ.ศ. 2476 มีการจัดตั้ง กรมพลศึกษาขึ้น และในปี พ.ศ. 2483 ได้โอนโรงเรียนพลศึกษากลางมาสังกัดกรมพลศึกษา พร้อมย้ายที่ตั้งมายังอาคารใหม่ ณ กรีฑาสถานแห่งชาติ หลักสูตรได้รับการปรับปรุง โดยแบ่งออกเป็นสองหมวด:

หมวดวิชาบังคับ: จรรยาครู ลูกเสือ สุขศึกษา ปฐมพยาบาล กายบริหาร กรีฑา และกีฬา

หมวดวิชาไม่บังคับ (สี่วิชา)**:** มวยไทย มวยสากล กระบี่กระบองและฟันดาบ ดัดตนส่วนห้อยโหน และยูยิตสู

ผู้ที่สอบผ่านวิชาบังคับจะได้รับประกาศนียบัตรประโยคครูพลศึกษาตรี (พ.ต.) หากสอบหมวดวิชาไม่บังคับเพิ่มสองชุดจะได้ พ.ท. และหากสอบครบทั้งสี่ชุดจะได้ พ.อ. ปีพ.ศ. 2493 กรมพลศึกษาได้ปรับปรุงหลักสูตรการผลิตครูพลศึกษาให้สอดคล้องกับการผลิตครูสามัญ โดยมีหลักสูตร 5 ปี และเปลี่ยนชื่อโรงเรียนเป็น "โรงเรียนฝึกหัดครูพลศึกษา" รับนักเรียนชายที่จบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เฉพาะผู้ได้รับทุนจังหวัดละ 2 คน ซึ่งปัจจุบันได้พัฒนามาเป็น สถาบันการพลศึกษา และเปลี่ยนมาเป็นมหาวิทยาลัยกีฬาแห่งชาติในปัจจุบัน

7.2 วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา (exercise and sport science)

วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คือศาสตร์ที่มีความสำคัญและถือเป็นหัวใจของการพัฒนาสมรรถภาพทางกายมนุษย์ เป็นศาสตร์ประยุกต์สำคัญในกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ ที่มุ่งเน้นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับผลกระทบของการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาที่มีต่อมนุษย์ในทุกมิติ ไม่ว่าจะเป็นด้าน ร่างกาย จิตใจ หรือสังคม เพื่อนำผลการค้นพบไปใช้เสริมสร้างสมรรถภาพทางกายให้มนุษย์

ด้วยลักษณะที่เป็นสหวิทยาการ วิทยาศาสตร์การกีฬาจึงเป็นศาสตร์ที่เปิดกว้าง โดยอาศัยหลักการและองค์ความรู้จากหลากหลายสาขา ทั้ง สรีรวิทยา จิตวิทยา สังคมวิทยา รวมถึงหลักการตลาดและการบริหารจัดการ จึงทำให้เกิดเนื้อหาสาระสำคัญในกลุ่มรายวิชาที่เกี่ยวข้องหลัก ๆ ดังนี้

1) สรีรวิทยาของสมรรถภาพทางกาย หรือสรีรวิทยาของการออกกำลังกาย
2) โภชนาการสำหรับสมรรถภาพทางกาย หรือโภชนาทางการกีฬา
3) จิตวิทยาสุขภาพ หรือจิตวิทยาการกีฬา
4) เวชศาสตร์การกีฬา
5) วิทยาศาสตร์ของการฝึกและสอนกีฬา
6) การบริหารและจัดการอุตสาหกรรมสุขภาพ นันทนาการ และกีฬา
7) เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการเคลื่อนไหว และการฝึกกีฬา

ปัจจุบัน ศาสตร์นี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เพราะเป็นศาสตร์เดียวที่สามารถตอบสนองการพัฒนาศักยภาพทางกายของมนุษย์ให้สามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้ นอกจากนี้ ยังเป็นศาสตร์ที่มุ่งเน้นการส่งเสริมสุขภาพให้ประชากรของประเทศควบคู่ไปกับการจัดการเรียนการสอนพลศึกษา

และสุขศึกษาในสถานศึกษา เพื่อช่วยลดอัตราการเจ็บป่วยจากโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากการขาดการออกกำลังกายและเล่นกีฬา (มณินทร รักษ์บำรุง, 2556) ช่วยลดภาระงบประมาณทางด้านสาธารณสุขของประเทศ

8. การเคลื่อนไหวและกิจกรรมทางกาย (movement and activities)

กิจกรรมทางกาย (physical activity) เป็นการเคลื่อนไหวของร่างกาย (body movement) เกิดจากการที่ร่างกายมีการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง (muscular contraction) และดึงกระดูกที่กล้ามเนื้อเหล่านั้นยึดเกาะให้มีการเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวทำให้ร่างกายใช้พลังงานเพิ่มมากกว่าในขณะพัก โดยสามารถวัดได้จากการใช้ออกซิเจนและการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ของร่างกาย การจะพิจารณาว่ากิจกรรมใดเป็นกิจกรรมทางกายได้นั้น จะต้องมีองค์ประกอบ 3 อย่าง

1) เป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย
2) ร่างกายมีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นกว่าขณะพัก
3) กิจกรรมนั้นส่งในทางบวกกับสมรรถภาพทางกาย

โดยทั่วไปกิจกรรมทางกายจะหมายถึงการเคลื่อนไหวพื้นฐานในชีวิตประจำวัน เช่น การยืน การเดิน การเคลื่อนย้ายสิ่งของ ซึ่งจัดเป็น กิจกรรมพื้นฐาน (baseline activities) อย่างไรก็ตาม การทำกิจกรรมพื้นฐานเหล่านี้เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีกิจกรรมทางกายอื่น ๆ เพิ่มเติม ไม่เพียงพอต่อการส่งเสริมสุขภาพที่ดี และอาจทำให้บุคคลกลายเป็นผู้ที่ไม่ค่อยเคลื่อนไหว (inactive/ sedentary) (U.S. Department of Health and Human Service, 2008) การมีกิจกรรมทางกายมากขึ้น จะทำให้มีสุขภาพร่างกายที่ดีขึ้นตามไปด้วย (งานวิจัยผู้แต่ง: [1]Rugbumrung et al., 2022; [2]Rugbumrung et al., 2022)

กิจกรรมทางกาย และ สมรรถภาพทางกาย มักถูกเข้าใจผิดว่าเป็นสิ่งเดียวกันและสามารถใช้แทนกันได้ ในความเป็นจริง แม้ทั้งสองคำจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก แต่ก็มีความแตกต่างที่ชัดเจน เนื่องจาก กิจกรรมทางกาย (physical activities) คือ พฤติกรรมทางกาย ที่เราทำในชีวิตประจำวัน ส่วน สมรรถภาพทางกาย (physical fitness) คือ คุณลักษณะทางชีวภาพ หรือลักษณะทางกายที่เรามีอยู่ (Plowman& Meredith, 2013) และหากเรามีคุณลักษณะทางชีวภาพหรือคุณสมบัติทางกายที่ดี เราก็จะสามารถมีพฤติกรรมทางกายที่ดีได้ หรือพูดง่าย ๆ คือ หากเรามีสมรรถภาพทางกายที่ดี ก็จะสามารถดำเนินกิจกรรมทางกายต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

9. ความแตกต่างระหว่างกิจกรรมทางกาย การออกกำลังกาย และการเล่นกีฬา

การเคลื่อนไหวร่างกายที่ส่งผลดีต่อสมรรถภาพทางกายสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักตามวัตถุประสงค์ทางสุขภาพ ได้แก่ กิจกรรมทางกาย (physical activities), การออกกำลังกาย (exercise) และกีฬา (sport) โดยการออกกำลังกายและกีฬาจัดเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมทางกาย และทั้งหมดล้วนเป็นรูปแบบของการเคลื่อนไหวร่างกายในชีวิตประจำวัน แม้จะมีความคล้ายคลึงกัน แต่ก็มีความแตกต่างที่สำคัญดังนี้

กิจกรรมทางกาย หมายถึง การเคลื่อนไหวร่างกายใด ๆ ที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากระดับปกติในขณะพัก (Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2008; มณินทร รักษ์บำรุง, 2556)

การออกกำลังกาย คือ กิจกรรมทางกายที่มีแบบแผน ทำซ้ำ และมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายหรือจิตใจ การออกกำลังกายใช้พลังงานมากกว่ากิจกรรมทางกายทั่วไปมาก จึงส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายอย่างมีนัยสำคัญ (Caspersen et al., 1985; Physical Activity Guidelines Advisory Committee, 2008; มณินทร รักษ์บำรุง, 2556) และอาจจะมีกฎหรือกติกามาเป็นตัวกำหนดร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้

กีฬา เป็นรูปแบบหนึ่งของการออกกำลังกายที่มีกฎกติกาชัดเจน (World Health Organization, 2008; มณินทร รักษ์บำรุง, 2556) มีวัตถุประสงค์เพื่อการแข่งขันทั้งเพื่อความสนุกสนาน (สันทนาการ) หรือเพื่อความเป็นเลิศ

10. บทบาทของการออกกำลังกายและกีฬาในสังคมและการเมือง

ปัจจุบัน การออกกำลังกายมีจุดประสงค์ที่หลากหลายมากขึ้น ไม่เพียงแต่เพื่อเสริมสร้างร่างกายและรูปร่างที่ดีเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือทางสังคมและเศรษฐกิจ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ กลุ่มผู้มีรายได้มั่นคงนิยมเป็นสมาชิก ฟิตเนสเซ็นเตอร์ ซึ่งนอกจากจะใช้เพื่อการออกกำลังกายแล้ว ยังเป็นช่องทางในการพบปะสังสรรค์ พูดคุยธุรกิจ หรือแม้แต่แสดงออกถึงชนชั้นทางสังคม สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลให้ อุตสาหกรรมบริการสุขภาพและการออกกำลังกายเติบโตอย่างต่อเนื่อง และมีมูลค่าสูงขึ้นมาก นอกจากนี้ การออกกำลังกายและกีฬายังมีบทบาทสำคัญในเชิงผลประโยชน์ส่วนบุคคลและการเมืองระหว่างประเทศอีกด้วย

10.1 การออกกำลังกายเพื่อจุดประสงค์เชิงผลประโยชน์

การออกกำลังกายบางรูปแบบไม่ได้มีวัตถุประสงค์เพียงเพื่อสุขภาพกายหรือใจ แต่แฝงด้วยเป้าหมายอื่น ๆ เช่น การสร้างความสัมพันธ์ส่วนบุคคล การติดต่อธุรกิจ หรือการเมือง ฟิตเนสเซ็นเตอร์และ

กอล์ฟ เป็นตัวอย่างที่ชัดเจน โดยหลายครั้งการพบปะพูดคุยหรือเจรจาข้อตกลงสำคัญ ๆ มักเกิดขึ้นในบริบทของการตีกอล์ฟหรือการนัดหมายที่ฟิตเนสเซ็นเตอร์

10.2 กีฬากับการเมือง

กีฬาเป็นเครื่องบ่งชี้สำคัญของมาตรฐานการพัฒนาประเทศ โดยประเทศที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนามักจะคว้าเหรียญรางวัลในกีฬาโอลิมปิกได้มาก นอกจากนั้นกีฬายังถูกใช้เป็นเครื่องมือแสดงแสนยานุภาพและเป็นเครื่องมือทางการเมืองมาโดยตลอด แม้จะมีการเรียกร้องให้แยกกีฬาออกจากการเมือง แต่ในความเป็นจริงแล้วทั้งสองสิ่งเชื่อมโยงกันอย่างลึกซึ้งและแทบจะแยกจากกันไม่ได้ ผู้มีอิทธิพลในวงการกีฬามักจะเป็นผู้มีบทบาทในแวดวงการเมืองทั้งในระดับชาติและนานาชาติ และการแข่งขันกีฬาระดับนานาชาติอย่างโอลิมปิกก็มักจะมีเรื่องราวทางการเมืองเข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ ดังเหตุการณ์สำคัญที่ผ่านมาคือ

- **สงครามโลกกับโอลิมปิก:** โอลิมปิก ครั้งที่ 6, 12, และ 13 ถูกยกเลิกเนื่องจากสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2
- **นาซีเกมส์:** โอลิมปิกที่เบอร์ลินในปี ค.ศ. 1936 ถูกเรียกว่า "นาซีเกมส์" เนื่องจากอดอล์ฟ ฮิตเลอร์ ใช้การแข่งขันเพื่อโฆษณาแนวคิดทางการเมือง รวมถึงการเหยียดเชื้อชาติและผิวสี
- **วิกฤตตัวประกัน (มิวนิก 1972):** โอลิมปิกที่กรุงมิวนิก เยอรมนีตะวันตก ในปี ค.ศ. 1972 นักกีฬาอิสราเอลถูกผู้ก่อการร้ายชาวปาเลสไตน์จับเป็นตัวประกันและสังหารด้วยเหตุผลทางการเมือง
- **การคว่ำบาตรในยุคสงครามเย็น:** โอลิมปิกที่ มอสโก ในปี ค.ศ. 1980 สหรัฐอเมริกาและพันธมิตรคว่ำบาตรเพื่อประท้วงโซเวียตที่ยึดครองอัฟกานิสถาน ส่วนโอลิมปิกที่ลอสแอนเจลิส ในปี ค.ศ. 1984 สหภาพโซเวียตและพันธมิตรตอบโต้ด้วยการคว่ำบาตรการแข่งขันที่สหรัฐฯ ภายหลังการคว่ำบาตรที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ครั้ง เท็ด เทอร์เนอร์ ได้ริเริ่มจัดการแข่งขัน Goodwill Games ขึ้น เพื่อใช้กีฬาในการสร้างสันติภาพ การแข่งขันดังกล่าวจัดขึ้น 5 ครั้ง ระหว่างปี 1986–2005 และได้ยกเลิกไป
- **กรณีของไต้หวัน:** เนื่องจากการไม่ยอมรับในเอกราชของไต้หวันของจีนแผ่นดินใหญ่ ไต้หวันจำเป็นต้องใช้ธงสัญลักษณ์รูปดอกท้อและชื่อเฉพาะในการแข่งขันโอลิมปิก
- **รัสเซีย–เบลารุสในโอลิมปิก 2024:** โอลิมปิก 2024 ที่ปารีส รัสเซียและเบลารุสถูกมองว่าละเมิดเงื่อนไขของ "สัญญาพักรบโอลิมปิก" (Olympic Truce) ซึ่งเป็นธรรมเนียมที่คณะกรรมการโอลิมปิกสากล (IOC) ได้ร่วมมือกับสหประชาชาติรื้อฟื้นขึ้นมาใหม่ในปี ค.ศ. 1992 ข้อกำหนด

ของสัญญาพักรบโอลิมปิกคือ "ห้ามชาติใดทำสงครามกันเป็นอันขาด" ตั้งแต่หนึ่งสัปดาห์ก่อนการแข่งขันโอลิมปิกจะเริ่มขึ้น ไปจนกระทั่งสิ้นสุดการแข่งขันพาราลิมปิก อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการละเมิดเงื่อนไขดังกล่าว ศาลกีฬาโลก (CAS) และ IOC ก็ได้อนุญาตให้นักกีฬาจากทั้งสองประเทศเข้าร่วมการแข่งขันได้ แต่ในฐานะทีม AIN ซึ่งย่อมาจากภาษาฝรั่งเศสว่า 'Athlete Individuel Neutre' หรือ 'Individual Neutral Athletes' ในภาษาอังกฤษ สถานะ AIN หมายถึง นักกีฬาที่มีสถานะเป็นกลาง ซึ่งลงแข่งขันในนามบุคคล ไม่ได้เป็นตัวแทนของประเทศ หรือคณะกรรมการโอลิมปิกแห่งชาติของตนเอง

สรุป

สมรรถภาพทางกายและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ วิวัฒนาการไปตามการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพที่ทำให้รูปร่างและสรีรวิทยาค่อย ๆ พัฒนาขึ้น และเมื่อวิวัฒนาการมาจนเป็นมนุษย์ปัจจุบัน มนุษย์จึงเริ่มมีกิจกรรมทั้งกิจวัตรต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น โดยที่กิจวัตรประจำวันพื้นฐานที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณกลายเป็นส่วยหนึ่งของการออกกำลังกาย ซึ่งถือเป็นสิ่งที่ช่วยเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายและอยู่คู่กับสังคมมนุษย์มาอย่างยาวนาน บรรพบุรุษของเราใช้การออกกำลังกายเพื่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย เช่น การหาอาหาร การเดินทาง การทำสงคราม หรือแม้กระทั่ง เพื่อการรื่นเริงและผ่อนคลาย

เมื่อสังคมพัฒนาขึ้น การออกกำลังกายก็ยิ่งมุ่งเน้นไปที่การสร้างสมรรถภาพทางกาย และกลายเป็นส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิต โดยมีบทบาทสำคัญทั้งทางวัฒนธรรมและสังคม ด้วยจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกันไปอย่างที่เราเห็นในปัจจุบัน

งานวิจัยของผู้แต่ง

ถาวรินทร รักษ์บำรุงและมณินทร รักษ์บำรุง. (2562). Doping: เส้นแบ่งแห่งพัฒนาการทางวิทยาศาสตร์การกีฬาและการละเมิดจริยธรรม. วารสารวิชาการสถาบันการพลศึกษา. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2562

[1]Rugbumrung, M., Impanya, S., Thurayot, A., Rukbumrung, T.& et al. (2022). The effects of moderate intensity continuous and interval training on physical fitness in obesity. International Journal of Health Sciences, 6(S5), 8891–8901. 6(S5), 8891–8901. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS5.11799

[2]Rugbumrung, M., Impanya, S., Thurayot, A., Rukbumrung, T.& et al. (2022). The Quality of Life of the Ageing in Phayao Province. Journal of Positive School Psychology. 6(8): 1474–1480.

บรรณานุกรม

บีบีซีไทย. (2562). ซูเปอร์โนวาอาจช่วยเร่งวิวัฒนาการ ทำให้มนุษย์โบราณเริ่มเดินสองขา. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2563, จาก https://www.bbc.com/thai/international-48447664?xtor=AL-73-[partner]-[khaosod.co.th]-[link]-[thai]-[bizdev]-[isapi]&fbclid=IwAR1ITQ_35g60u6ElM6scFBVLmabp0yaHXDkgVtgEZJiCII07AHMHpVEx_qw

ปิยะนุช รักพาณิชย์, ภัทราวุธ อินทรกำแหง และ วิศาล คันธารัตนกุล. (2544). การทบทวนองค์ความรู้และเทคนิคการเคลื่อนไหวและการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพของหลอดเลือดหัวใจ. กรุงเทพ: นิวธรรมดาการพิมพ์ จำกัด

มณินทร รักษ์บำรุง. (2556). วิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อสุขภาพทางกาย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

ผู้จัดการออนไลน์. (2554). เรากับลิงชิมป์ต่างกันแค่ไหน. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2563, จาก http // www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9540000101551

เยาวรักษ์ ปรปักษ์ขาม และคณะ, (2549). การเคลื่อนไหวร่างกายของคนไทย. สถานการณ์สุขภาพประเทศไทย. สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ

หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ. (2560). จริงหรือที่เขาว่า “มนุษย์ทุกคนล้วนเป็นญาติกัน”? กับ บรรพบุรุษของคนแซ่ลิ้ม. 15 พฤษภาคม 2560

Anderson, J.K. (1985). Hunting in the Ancient World. Berkeley, CA: University of California Press.

Arslan, F. (2011). Effects of step-aerobic dance exercise program on body composition.

International SportMed Journal, 12(4): 160–168.

Bauman, J. E. (1926). Observations on the Strength of the Chimpanzee and its Implications. Journal of Mammalogy, 7(1): 1–9.

Berryman, J.W. (2010). Exercise is Medicine: A Historical Perspective. Sports Med Rep,9(4).

Cann, R.L., Stoneking, M. & Wilson, A.C. (1987), "Mitochondrial DNA and human evolution". Nature, 325 (6099): 31–36.

Corre, E. L. (2014). The History of Physical Fitness. A Manly Guest Contributor September 24, 2014. Available at http: // www. artomanliness.com/2014/09/24/the–history–of–physical–fitness.

Caspersen, C. J., Powell, K. E. and Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise and physical fitness: Definitions and distinctions for health–related research. Public Health Reports, 100, 126–31.

Douris, P., Chinan, A., Gomez, M., Aw. & et al. (2004) Fitness levels of middle aged martial art practitioners. Br J Sports Med 38: 143–147.

Eaton, S.B., Shostak, M. & Konner, M. (1988). “Stone Agers in the Fast Lane: Chronic Degenerative Diseases in Evolutionary Perspective. American Journal of Medicine 84: 739– 749.

Gibbons, A. (2012). "Bonobos Join Chimps as Closest Human Relatives". TimeTree. Retrieved 2018–05–19.

Grant, M. (1964). The Birth of Western Civilization: Greece and Rome. New York: McGraw–Hill.

Green, H. J., Sutton, J. R., Coates, G. & et al. (1991). Response of red cell and plasma volume to prolonged training in humans. Journal of Applied Physiology, 70: 1810–1815.

Jacobson, B.H., Chen, H.C., Cashel, C., Guerrero, L. (1997) The effect of T'ai Chi Chuan training on balance, kinesthetic sense, and strength. Percept Mot Skills 84: 27–33.

Jones, W.H.S. (1953). Hippocrates: With an English Translation by W.H.S. Jones. London: William Heinemann.

Karmin, M& et al. (2015). "A recent bottleneck of Y chromosome diversity coincides with a global change in culture". Genome Research. 25 4): 459–66.

Kirkwood, H., Rampes, V., Tuffrey, J. & et al. (2005). Yoga for anxiety: a systematic review of the research evidence," British Journal of Sports Medicine; 39– 12: 884–891.

Matthews, D.O. (1969). A Historical Study of the Aims, Contents, and Methods of Swedish, Danish, and German Gymnastics. Proceedings National College Physical Education Association for Men.

Melott, A.L.& Thomas, B.C. (2020). From Cosmic Explosions to Terrestrial Fires?: A Reply The Journal of Geology 128(4).

Ministry of Health Planning. (2003). Too much not enough and the wrong staff, Summary of the Results of the BC nutrition survey, British Columbia November 2003.

O'Donovan, O., Cheung J., Catley, M., & et al. (2006). An investigation of leg and trunk strength and reaction times of hard–style martial arts practitioners. Journal of Sports Science and Medicine 5: 2–12.

Physical Activity Guidelines Advisory Committee. (2008). Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report, 2008. Washington (DC); US Department of Health and Human Services.

Plowman, S.A. & Meredith, M.D. (2013). Fitnessgram/Activitygram Reference Guide (4th Edition). Dallas, TX: The Cooper Institute.

Sharpe, P.A., Blanck, H.M., Williams, J.E. & et al. (2007). Use of complementary and alternative medicine for weight control in the United States. J Altern Complement Med 13: 217–222.

The President's Challenge. Physical Fitness Testing. [cited 2021 Jan 20]. Available from: http:// www.presidentschallenge.org/challenge/physical/index.shtml

Thompson, P.D., Buchner, D., Pina, I.L., et al. (2003). Physical Activity. Exercise and physical activity in the prevention and treatment of atherosclerotic cardiovascular disease: a statement from the Council on Clinical Cardiology. Circulation 2003; 107: 3109–3116.

Tyson, P. (2008). "Meet Your Ancestors". NOVA science NOW. PBS; WGBH Educational Foundation.

U.S. Department of Health and Human Service, (2008). 2008 Physical Activity Guidelines for Americans.

Woodward, T.W. (2009). A review of the effects of martial arts practice on health. WMJ 108: 40–43.

World Health Organization. (2008). Pacific physical activity guidelines for adults: framework for accelerating the communication of physical activity guidelines. World Health Organization, Western Pacific Region.

Wuest, D. A.,& Bucher, C. A. (1995). Foundations of Physical Education and Sport. St. Louis, MO: Mosby.

Yang, K. (2007). A review of yoga programs for four leading risk factors of chronic diseases. Evidence–Based Complementary and Alternative Medicine; 487–491.

Zehr, E.P.& Sale, D.G. (1993). Oxygen uptake, heart rate and blood lactate responses to the Chito–Ryu Seisan Kata in skilled karate practitioners. Int J Sports Med 14: 269–274.

บทที่ 2

สมรรถภาพทางกาย

Physical Fitness

เมื่อต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถภาพทางกาย สิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ สมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคลนั้นมีความเป็น “ปัจเจก (individual)” เนื่องจากสมรรถภาพทางกาย เป็นลักษณะทางชีวภาพหรือลักษณะทางกายที่แต่ละคนมี (Plowman& Meredith, 2013) เป็นสภาวะที่แสดงถึงสุขภาพ ความเป็นอยู่และโภชนาการที่ดี (Tremblay et al., 2010) เป็นดัชนีชี้วัดการมีคุณภาพชีวิตที่ดี (Rugbumrung et al., 2022; เจริญ กระบวนรัตน์, 2556) การมีสมรรถภาพทางกายที่ดีจะสะท้อนให้เห็นจากประสิทธิภาพของการประกอบกิจกรรมทางกายในการดำเนินชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแสดงออกได้อย่างเด่นชัดเมื่อออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา แม้จะมีความเป็นเฉพาะของแต่ละบุคคล ก็ยังสามารถเทียบเคียงหรือเปรียบเทียบระหว่างคนได้โดยการใช้เกณฑ์มาตราฐานของสมรรถภาพทางกายในแต่ละด้าน แต่ที่สำคัญคือ “ไม่ควรนำสมรรถภาพทางกายมาเป็นเกณฑ์หรือข้อกำหนดในการตัดสินความสามารถของแต่ละบุคคล” เพราะสมรรถภาพทางกายเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่สะท้อนความมีประสิทธิภาพทางกายเท่านั้น

ตามความหมายของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (The American College of Sports Medicine, ACSM) (2018) สมรรถภาพทางกายหมายถึง “ความสามารถของร่างกายในการทำกิจกรรมประจำวันได้อย่างกระฉับกระเฉง มีความตื่นตัว และไม่เมื่อยล้าเกินไป อีกทั้งยังมีเรี่ยวแรงและพลังงานเหลือในการทำกิจกรรมสันทนาการยามว่างหรือเมื่อพบกับเหตุการณ์ฉุกเฉินต่าง ๆ” สำหรับในทัศนะของผู้แต่ง สมรรถภาพทางกายคือ “ความสามารถของร่างกายในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้อย่างเป็นปกติและมีประสิทธิภาพ และยังมีความสามารถทำกิจกรรมอื่น ๆ นอกเหนือจากกิจวัตรประจำวันปกติได้เป็นอย่างดี”

ดังนั้นการที่เรามีสมรรถภาพทางกายที่ดี แสดงให้เห็นว่าเรามีลักษณะทางชีวภาพหรือมีคุณสมบัติทางกายที่ดี สามารถจะดำเนินกิจกรรมทางกายต่าง ๆ ในชีวิตประจำได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในภาวะปกติและเมื่อพบกับสถานการณ์ฉุกเฉิน

การฝึกสมรรถภาพทางกายเริ่มมีรูปแบบและระบบในทางวิชาครั้งแรก ๆ โดยการริเริ่มของ Dr. William G. Anderson นักวิชาการทางด้านการกีฬาและการออกกำลังกายชาวอเมริกัน ในช่วงปี 1885 หลังจากนั้นศาสตร์ทางด้านการพัฒนาสมรรถภาพทางกายก็เริ่มมีการพัฒนาเรื่อยมา

1. ประเภทของสมรรถภาพทางกาย (physical fitness)

เดิมทีสมรรถภาพทางกายแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวพื้นฐานในชีวิตประจำวัน และการทำกิจกรรมทางกายที่ต้องใช้ความสามารถในระดับสูงขึ้น คือ (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด, 2544; สุพริต สมาหิโตและคณะ, 2555; ACSM, 2018)

1.1 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ

1.2 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการเล่นกีฬา

1.1 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ หรือสุขขะสมรรถนะ (health-related fitness/ HRF)

สมรรถภาพทางกายในด้านนี้ เป็นความสามารถทางกายพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับทุกคน เพื่อที่จะทำกิจกรรมวัตรประจำวันต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นสิ่งสะท้อนความมีสุขภาพดีของคนทั่วไป เป็นสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับระบบทางสรีรวิทยาด้านการเคลื่อนไหวที่สำคัญ ผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายในด้านนี้ดีจะเป็นผู้ที่มีสุขภาพทางกายที่ดีตามไปด้วย ประกอบด้วยด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (Britton et al., 2019; Ortega et al.,2018)

1) ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio- respiratory endurance)

2) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscular endurance)

3) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)

4) ความยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility) และความสามารถในการเคลื่อนไหวข้อต่อ (mobility)

5) องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)

สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพทั้ง 5 ด้านสัมพันธ์กับระบบทางสรีรวิทยาและอวัยวะต่าง ๆ ที่สำคัญคือ หัวใจ ปอด กล้ามเนื้อ และระบบโครงร่างของร่างกาย การมีสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพทั้ง 5 ด้านดี จะทำให้สุขภาพร่างกายแข็งแรง ช่วยป้องกันอาการเจ็บป่วยโดยเฉพาะจากการเป็นโรคไม่ติดต่อร้ายแรง (NCDs) ต่าง ๆ เช่นโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ โรคอ้วน โรคเบาหวาน มะเร็งบางชนิด และยังรวมไปถึงอาการปวดทางจิตใจเช่นโรคซึมเศร้า (Aune et al., 2020; Schuch et al., 2018; McTiernan et al., 2019) การมีสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพดีทำให้สามารถใช้ชีวิตและปฏิบัติกิจวัตรประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี (Rugbumrung et al., 2022) และสามารถสรุปแสดงความสัมพันธ์ได้ตามตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2–1 แสดงความสัมพันธ์ของสมรรถภาพทางกายเพื่อสุขภาพและระบบทางสรีรวิทยาของร่างกาย

สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ	ความสัมพันธ์กับระบบทางสรีรวิทยา	อวัยวะที่สำคัญ
ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio– respiratory endurance)	1. ระบบหัวใจและหลอดเลือด 2. ระบบหายใจ	1. หัวใจและหลอดเลือด 2. ปอด
ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscular endurance)	1. ระบบกล้ามเนื้อ 2. ระบบหัวใจและหลอดเลือด 3. ระบบหายใจ	1. กล้ามเนื้อโครงร่าง 2. หัวใจและหลอดเลือด 3. ปอด
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	1. ระบบกล้ามเนื้อ 2. ระบบโครงร่าง 3. ระบบประสาท	1. กล้ามเนื้อโครงร่าง 2. กระดูก เส้นเอ็น ข้อต่อ 3. หน่วยยนต์ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ
ความยืดหยุ่นหรือความอ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility) และความสามารถในการเคลื่อนไหวข้อต่อ (mobility)	1. ระบบกล้ามเนื้อ 2. ระบบโครงร่าง 3. ระบบประสาทาง	1. กล้ามเนื้อโครงร่าง 2. กระดูก เส้นเอ็น ข้อต่อ 3. หน่วยยนต์ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ
องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)	1. ระบบกล้ามเนื้อ 2. ระบบโครงร่าง 3. ระบบต่อมไร้ท่อและเมตาบอลิซึม	1. กล้ามเนื้อโครงร่าง 2. กระดูก 3. ต่อมไร้ท่อ

1.2 สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา (Skill/ Sport/ Special/ Motor Related Fitness/ SRF)

สมรรถภาพทางกายในด้านนี้ เป็นความสามารถทางกายในการทำกิจกรรมที่มีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นมีความจำเป็นสำหรับผู้ที่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา ซึ่งเป็นการทำกิจกรรมทางกายที่ต้องอาศัยทักษะกลไกการทำงานของร่างกายในระดับสูง ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (Thomas et al, 2000; Jengab et al., 2017)

1) ความเร็ว (speed)
2) พลังของกล้ามเนื้อ (muscle power)
3) ความคล่องตัว (agility)
4) การทรงตัว (balance)
5) การทำงานประสานกันของร่างกาย (coordination)
6) เวลาปฏิกิริยา (reaction time)

สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา เป็นสมรรถภาพทางกายที่จำเป็นต้องมีพื้นฐานของการมีสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพที่ดี และในบางด้านอาจจะต้องมีพื้นฐานสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬาด้าน ๆ อื่น ๆ ที่ดีด้วย โดยผู้แต่งได้สรุปแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวไว้ในตารางที่ 2–2

ตารางที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ของสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับกีฬาและสมรรถภาพทกายเพื่อสุขภาพ

สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา	ความสัมพันธ์กับ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ	ความสัมพันธ์กับ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับ ทักษะกีฬา (ด้านอื่น)
ความเร็ว (speed)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	1. การทำงานประสานกันของร่างกาย (co-ordination)
พลังของกล้ามเนื้อ (muscle power)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	1. ความเร็ว (speed)
ความคล่องตัว (agility)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength) 2. ความยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility) และความสามารถในการเคลื่อนไหวข้อต่อ (mobility)	1. ความเร็ว (speed) 2. การทำงานประสานกันของร่างกาย (co-ordination)
การทรงตัว (balance)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength) 2. ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscular endurance)	1. การทำงานประสานกันของร่างกาย (co-ordination)
การทำงานประสานกันของร่างกาย (coordination)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	1.ความคล่องแคล่วว่องไว (agility) 2.การทรงตัว (balance)
เวลาปฏิกิริยา (reaction time)	1. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	1. ความเร็ว (speed) 2.ความคล่องแคล่วว่องไว (agility)

1.3 การปรับปรุงองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบใหม่ (Behm et al., 2026)

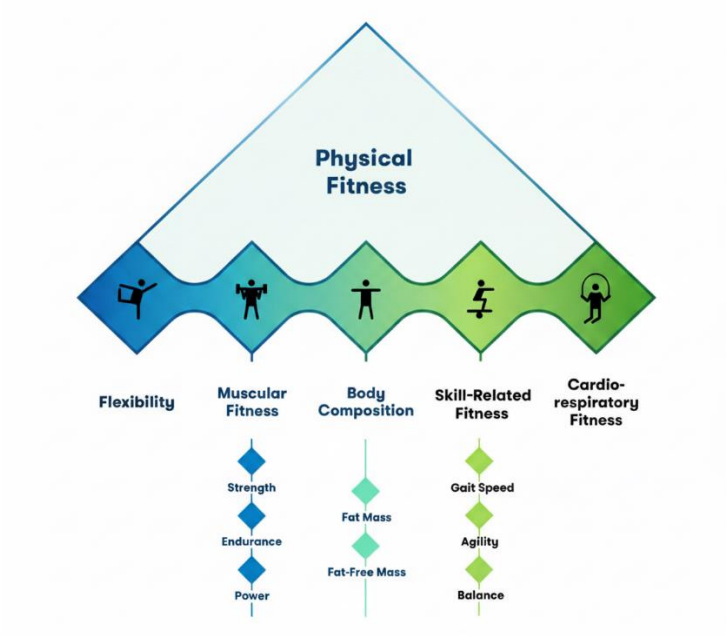
อย่างที่กล่าวมาแล้ว วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา หรือ ACSM ซึ่งใช้มากกว่า 40 ปี กำหนดโครงสร้างองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness: PF) โดยแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน คือ "สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ" (เช่น ความทนทานของหัวใจและปอด, ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ, สัดส่วนร่างกาย) และ "สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา" (เช่น การทรงตัว, ความคล่องแคล่วว่องไว, พลังกล้ามเนื้อ)

ตลอดระยะเวลา 40 ปีที่ผ่านมา การศึกษาและงานวิจัยทางด้านสมรรถภาพทางกายส่วนใหญ่จะสอดรับไปกับทฤษฎีสมรรถภาพทางกายของ ACSM และด้วยความความก้าวหน้าทางวิทยาการที่มากขึ้น ปัจจุบันพบว่าสมรรถภาพทางกายที่เคยเชื่อว่ามีไว้เพื่อทักษะกีฬาเพียงอย่างเดียวหรือ "สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะ คือ ความเร็ว การทรงตัว และความคล่องตัว มีผลต่อสุขภาพและการลดอัตราการเสียชีวิตอย่างมีนัยสำคัญ ACSM ได้ทำการระดมความคิด และทบทวนคำนิยาม และ "ยกเลิกการแบ่งแยกแบบเดิม" พร้อมนำเสนอ "โมเดลสมรรถภาพทางกายฉบับปรับปรุงใหม่" สำหรับผู้ใหญ่ทุกวัย

การปรับปรุงคำนิยามใหม่ของ สมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) มีข้อกำหนดว่าต้องกระชับและชัดเจนยิ่งคือ โดยต้องมีองค์ประกอบ 4 ข้อคือ

1. สามารถปรับเปลี่ยนได้ ด้วยการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ
2. ส่งผลต่อความสามารถ ในการทำกิจกรรมทางกายหรือการออกกำลังกาย
3. มีความสัมพันธ์กับสุขภาพ หรือผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอย่างชัดเจน
4. สามารถประเมินได้จริง ในทางปฏิบัติงานทั่วไปด้วยเครื่องมือที่เข้าถึงได้

ตารางที่ 2-3 แสดงโมเดลสมรรถภาพทางกายซึ่งถูกจัดกลุ่มออกเป็น 5 องค์ประกอบหลัก โดยบางองค์ประกอบจะมีองค์ประกอบย่อย (subcomponents) ดังนี้



สมรรถภาพทางกาย (physical fitness) ใหม่ตามแนวทาง ACSM	
องค์ประกอบหลัก 5 ด้าน (component)	**องค์ประกอบย่อย (sub-component)**
1. สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio-respiratory fitness)	
2. สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (muscular fitness	2.1 ความแข็งแรง (strength) 2.2 ความอดทน (endurance) 2.3 พลัง (power)
3. องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)	3.1 มวลไขมัน (fat mass) 3.2 มวลร่างกายปราศจากไขมัน (fat-free mass)
4. สมรรถภาพของระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหว/ สมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับทักษะ (neuro motor fitness/ skill-related fitness)	4.1 ความเร็วในการเดิน (gait speed) 4.2 ความคล่องตัว (agility) 4.3 การทรงตัว (balance)
5. ความยืดหยุ่นหรือความอ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility)	

2. ความหมายของสมรรถภาพทางกาย

ในหัวข้อนี้ผู้แต่งจะขออธิบายความหมายของสมรรถภาพทางกายในการนิยามแบบเดิมก่อน ส่วนคำนิยามแบบใหม่สามารถอ่านได้ช่วงท้ายของบท

2.1 ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio– respiratory endurance)

หากจะจัดให้สมรรถภาพทางกายด้านใดด้านหนึ่งเป็นสมรรถภาพทางกายด้านที่สำคัญที่สุด นักวิทยาศาสตร์การกีฬาโดยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจมากที่สุด เนื่องจากเป็นสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์โดยตรงกับระบบทางสรีรวิทยาที่สำคัญคือระบบไหลเวียนโลหิต (circulatory system) ระบบหายใจ (respiratory systems) และเกี่ยวข้องกับระบบกล้ามเนื้อ (muscular system) ด้วย สมรรถภาพทางกายด้านนี้คือประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจในการขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนว่ากล้ามเนื้อโครงร่าง (skeleton muscles) สามารถนำออกซิเจนไปเผาผลาญไขมันเพื่อให้เกิดพลังงานได้มากน้อยเพียงใด ในระหว่างที่ร่างกายมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวต่าง ๆ โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพในการทำงานคือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาที (maximal oxygen consumption/ VO_2 max) (Ross at al., 2016; Cheng et al, 2019) ค่านี้เป็นค่ามาตรฐานสูงสุด (gold standard) ของการทดสอบสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจทั้งการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการและการทดสอบนอกห้องปฏิบัติการ (ภาคสนาม)

ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจเป็นตัวชี้วัดสุขภาพทางกายโดยรวมที่บ่งบอกความสามารถในการทำงานของหัวใจ ปอด และสมัพันธ์กับการทำงานของกล้ามเนื้อ ผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายในด้านนี้ดีจะสามารถในทำกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ หรือออกกำลังกายได้อย่างเต็มความสามารถ ทำได้นาน ไม่เหนื่อยง่าย (Aertssen et al., 2018; Melissade et al.,2018; Sanches at al. 2016) กิจกรรมทางกายที่เป็นตัวบ่งชี้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้ดีคือกิจกรรมการเคลื่อนไหวพื้นฐานทางกายไม่ว่าจะเป็น การเดิน การวิ่ง การว่ายน้ำ การขี่จักรยาน ซึ่งเป็นกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ใช้กล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ร่วมกันทำงาน และเป็นกิจกรรมที่กล้ามเนื้อมัดใหญ่ ๆ ของร่างกายทำงานเป็นหลัก (ประทุม ม่วงมี, 2527; Willmore et al, 2008) ซึ่งก็คือการออกกำลังกายแบบแอโรบิกหรือแบบคาร์ดิโอนั่นเอง

นอกจากค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายแล้ว ยังมีค่าอื่น ๆ ในทางสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจอีกเช่น อัตราการเต้นของหัวใจ (HR) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HRmax) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (RHR) ปริมาตรเลือดที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจในการบีบตัว1 ครั้ง (stroke volume/ SV)ปริมาณเลือดที่ส่งออกจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output/ Q) และค่าความดันโลหิต (Deak et al.,2010)

สำหรับการพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจนั้น พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise) เป็นวิธีการที่สามารถพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้อย่างดีที่สุด (Cheng et al, 2019) เนื่องจากการออกกำลังกายแบบ แอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักของกิจกรรมไม่มากนัก ทำให้สามารถออกกำลังกายได้เป็นระยะเวลานาน ๆ การออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างต่อเนื่องจะช่วยพัฒนาของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจโดยการเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (Mendonça et al., 2022; Arslan, 2011; Aguiar et al., 2018) รวมทั้งช่วยพัฒนาระบบเผาผลาญพลังงาน ระบบฮอร์โมน ระบบประสาท นอกจากนั้นยังพบว่าการที่ร่างกายมีกิจกรรมทางกายแบบแอโรบิกที่มากขึ้นจะลดอัตราเสี่ยงของการเป็นโรคเบาหวานและช่วยป้องกันการเกิดของกลุ่มโรคระบบไหลเวียนโลหิต (Wahid& et al., 2016) เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจในคนทุกช่วงวัย ช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตทั้งในคนวัยหนุ่มสาวและวัยสูงอายุ (Rugbumrung et al., 2022; Chodzko-Zajko et al., 2009)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยความหนักที่เพียงพอจะช่วยพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้ดีขึ้น โดยการออกกำลังกายความหนักร้อยละ 50-75% ของอัตราเต้นหัวใจสูงสุดจะช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายให้สูงขึ้น (Park et al., 2003; ACSM., 2018; Gormley et al., 2008) เนื่องจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยเพิ่มปริมาณเลือดที่ส่งออกจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output) เพิ่มปริมาตรเลือดที่ถูกสูบฉีดออกจากหัวใจในการบีบตัว1 ครั้ง (stroke volume) และเพิ่มค่าความต่างของออกซิเจนในเลือดแดงและเลือดดำ (arterio-venous O_2 differences) (Angane& Navre, 2015) นอกจากนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังทำให้หลอดเลือดขยายตัวได้ดี (vasodilation) ร่วมไปถึงเพิ่มกลไกในการเกิดหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) (Hoier& Hellsten, 2014; Pinckard et al, 2019; Olver et al., 2015) ซึ่งทั้งหมดเป็นผลให้เกิดค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาทีเพิ่มขึ้น ทำให้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดี

สถาบันเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College for Sports Medicine: ACSM) และสมาคมโรคหัวใจแห่งอเมริกา (American Heart Association: AHA) ได้แนะนำให้ให้ออกกำลังกายแบบแอโรบิกระดับความเข้มข้นปานกลาง (moderate-intensity) 150 นาที/ สัปดาห์ หรือออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบเข้มข้นมาก (vigorous-intensity) 75 นาที/ สัปดาห์ เพื่อคงสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจให้ดี โดยจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับโรคหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตและช่วยลดอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรด้วย (Riebe et al., 2020) ทั้งนี้การออกกำลังกายแบบแอโรบิกสามารถทำให้ทั้งรูปแบบการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและการออกกำลังกายแบบมีช่วงพักโดยสามารถพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจได้ทั้งในคนปกติและคนอ้วน ([1]Rugbumrung& et al., 2022)

2.2 ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscular endurance)

ความอดทนของกล้ามเนื้อ คือความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อในการหดตัวเพื่อทำกิจกรรมทางกายได้อย่างซ้ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน (Kell et al., 2001, Swain Leutholtz, 2007) โดยไม่เหนื่อยง่าย มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Local Muscle Endurance: LME สมรรถภาพทางกายด้านนี้นอกจากจะแสดงให้เห็นความสามารถในการหดตัวและคลายตัว (dynamic contraction) ของกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ในกิจกรรมที่ไม่หนักมาก ร่วมถึงการทำงานของกล้ามเนื้อแบบ หด/ เกร็ง ค้างไว้ (static contraction) เป็นเวลานานด้วย เช่น การห้อยโหน การปีนเขา ซึ่งแหล่งพลังงานของสมรรถภาพทางกายด้านนี้เป็นการผสมผสานระหว่างแบบแอโรบิก (aerobic system) กับแหล่งพลังงานแบบแอนแอโรบิก (anaerobic system) เนื่องจากแม้ระบบไหลเวียนโลหิตจะสามารถตอบสนองกล้ามเนื้อโดยการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดเข้าไปในเซลล์กล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว แต่ระบบไหลเวียนโลหิตก็ไม่สามารถส่งออกซิเจนเข้าไปในเซลล์กล้ามเนื้อได้ทันกับความต้องการของพลังงานที่ต้องใช้ (McArdle et al, 2006)

นอกจากจะเป็นสมรรถภาพทางกายที่ช่วยในการทำงานของกล้ามเนื้อได้เป็นเวลานานแล้ว ยังพบว่าผู้ที่มีความอดทนของกล้ามเนื้อที่ดีจะลดความเสี่ยงจากอาการบาดเจ็บในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาด้วย จากการศึกษาในนักกีฬาฟุตบอลพบว่านักฟุตบอลที่มีความอดทนของกล้ามเนื้อแกนกลางต่ำ จะพบอาการปวด เคล็ดขัดยอก และตึงบริเวณร่างกายส่วนล่าง (lower body) ได้มาก (Abdallah et al, 2019)

ความอดทนของกล้ามเนื้อเกี่ยวข้องโดยตรงกับกล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย (skeleton muscle) ชนิดหดตัวช้า (slow-twitch fibers) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อโครงร่างชนิดที่ 1 (type-1) เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่ใช้พลังงานแบบแอโรบิกในการหดตัว ทำให้สามารถหดตัวเพื่อเกิดกิจกรรมทางกายต่าง ๆ ได้ซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานาน (Zierath& Hawley, 2004) ดังนั้นผู้ที่มีความอดทนของกล้ามเนื้อดีจะมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 เป็นจำนวนมาก (Wilson et al., 2012)

คนปกติที่ไม่ได้ค่อยได้ออกกำลังกายพบว่ามีอัตราส่วนระหว่างกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 อยู่ระหว่างร้อยละ 50:50 แต่ในนักกีฬาประเภทวิ่งทางไกลหรือผู้ที่ออกกำลังกายประเภทฝึกความอดทนจะพบว่ามีอัตราส่วนของกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60-70 (Costill et al., 1976) ซึ่งอาจจะพบว่านักกีฬาที่ใช้ความอดทนบางประเภทมีอัตราส่วนของกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 สูงมากถึงร้อยละ 90-95 (Bergh et al.,1978) นั้นหมายความว่าการออกกำลังกายแบบฝึกความอดทน (endurance training exercise) จะช่วยกล้ามเนื้อโครงร่างชนิดที่ 1 ให้เกิดการพัฒนา (Flück Hoppeler, 2003; Wilson et al., 2012) เป็นการพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของกล้ามเนื้อ การออกกำลังกายแบบฝึกความอดทนที่จะช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้านนี้ ควรเป็นการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านแบบการฝึกด้วยน้ำหนัก โดยใช้ความหนักของการฝึกต่ำกว่าร้อยละ 40 ของ 1 RM (Naclerio et al.,2009)

นอกจากนี้ยังพบว่าการรับประทานสารประเภทครีเอทีน (creatine), บีเทน (betaine) และเบต้าอะลานีน (beta alanine) อาจจะช่วยเพิ่มความอดทนหรือลดอาการล้าของกล้ามเนื้อ (muscle fatigue) ได้ (Zanella et al, 2017; Harris et al., 2006; Roshan et al., 2013; Hoffman et al.,2009) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นสมรรถภาพทางกายที่เกิดขึ้นจากการใช้สารอาหารเป็นสมรรถภาพทางกายที่เกิดขึ้นเพียงระยะสั้น ต่างจากการสร้างสมรรถภาพทางกายด้วยการฝึกออกกำลังกายซึ่งเป็นสร้างสมรรถภาพทางกายที่ก่อให้เกิดประโยชน์กับสุขภาพได้อย่างยั่งยืนและครอบคลุมกว่า

การฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ จะเป็นการฝึกที่มีลักษณะเดียวกันกับการฝึกเพื่อพัฒนาความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ซึ่งเป็นรูปแบบการฝึกหรือการออกกำลังกายแบบแอโรบิกหรือที่เรียกกันว่าการฝึกความอดทน (Brooks, 2012) การฝึกจะให้เกิดกระบวนการให้กำเนิดไมโทคอนเดรียเพิ่มมากขึ้น (mitochondria biogenesis) เพิ่มความหนาแน่นของเส้นเลือดฝอย, ช่วยเพิ่มการขนส่งออกซิเจนไปสร้างพลังงานซึ่งช่วยให้ร่างกายทำงานได้นานขึ้นโดยไม่เมื่อยล้า (Joyner& Coyle, 2008)

นอกจากการฝึกแบบแอโรบิกโดยตรงแล้ว การฝึกแบบหนักสลับช่วงพัก (interval training) การฝึกแบบหนักสลับช่วงพักความเข้มข้นสูง (high intensity interval training) การฝึกแบบวงจร (circuit training) และการฝึกด้วยน้ำหนักตัว (body-weight training) ก็เป็นรูปแบบการฝึกที่สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความอดทนของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี (Daussin et al., 2008; Jacobs et al., 2013; Marwat et al., 2021; Mola& Bayeta ,2020) เนื่องการฝึกที่กล่าวมามีรูปแบบของการฝึกที่กล้ามเนื้อต้องมีการหดตัวทำงานซ้ำ ๆ ด้วยความเข้มข้นปานกลาง-สูง สร้างสถานการณ์ให้กล้ามเนื้อเกิดความเครียดจากการทำงานซ้ำ ๆ และมีการพักในช่วงเวลาจำกัด ร่างกายมีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก โดยการใช้ไขมันเป็นสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดพลังงานเป็นหลัก ก่อให้เกิดการพัฒนาอดทนของกล้ามเนื้อ (Ratamess et al., 2009)

2.3 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความอดทนของกล้ามเนื้อคือสมรรถภาพทางกายที่แตกต่างกัน ถึงแม้นจะเป็นการทำงานกล้ามเนื้อเหมือนกัน แต่ก็มีระบบการใช้พลังงานที่สนับสนุนการทำงานที่แตกต่างกัน ความแข็งแรง (Strength) จะมีความหมายเหมือนกับคำว่าแรง (force) (Sharkey& Gaskill, 2006) ในทางฟิสิกส์ แรงหมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนที่มวลหรือวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ส่วนแรงในทางสรีรวิทยาก็คือความสามารถสูงสุดของบุคคล ที่เกิดจากหดตัว 1 ครั้งของกล้ามเนื้อ เพื่อก่อให้เกิดแรงสูงสุดในการเคลื่อนน้ำหนักหรือต้านน้ำหนักเพียงครั้งเดียว

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคือความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อสามารถสร้างแรงได้สูงสุดที่ความเร็วเฉพาะ (มีความเร็วแต่ไม่ได้หมายถึงต้องเร็วที่สุด) (Kell et al., 2001) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อคือความสามารถของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนย้ายวัตถุจาก

จุดหนึ่งไปจุดหนึ่งในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปเราต้องการสมรรถภาพทางกายด้านนี้ในกิจกรรมที่มีการยก การผลัก การดัน การดึงหรือการบีบเป็นต้น

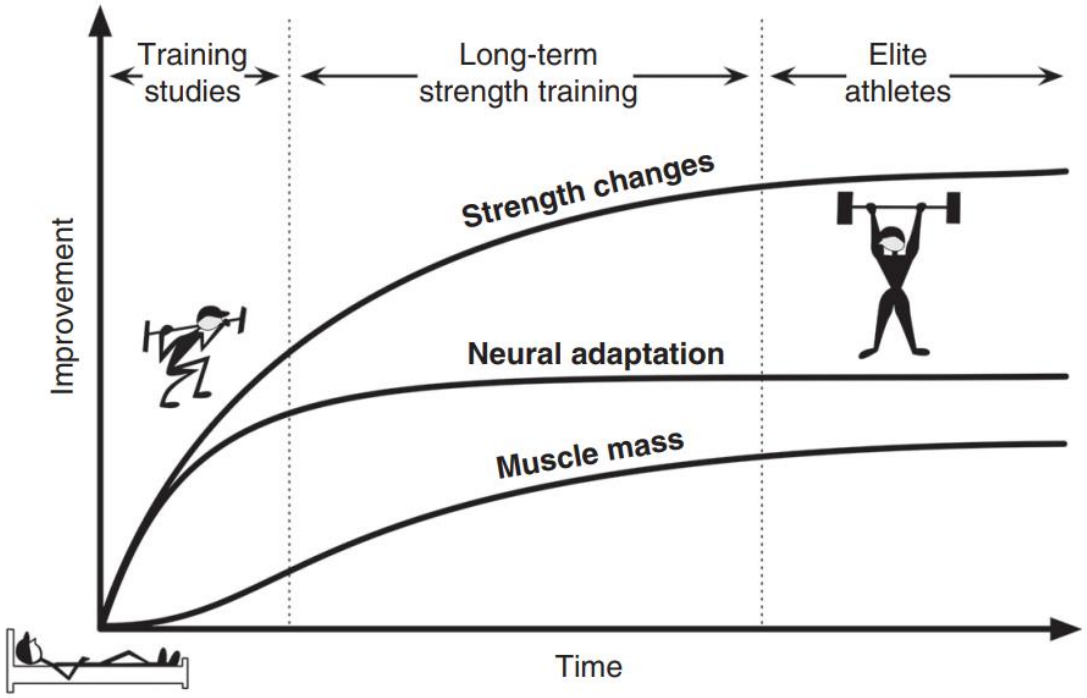
นอกจากจะเป็นสมรรถภาพทางกายที่แสดงถึงการมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงแล้วยังเป็นสมรรถภาพทางกายพื้นฐานให้กับสมรรถภาพทางกายในด้านอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น ความเร็ว (speed) พลังของกล้ามเนื้อ (power) ความคล่องแคล่วว่องไว (agility) การทรงตัว (balance) และการทำงานประสานกันของร่างกาย (co-ordination) (Knuttgen& Kraemer, 1987) สำหรับดัชนีวัดประสิทธิภาพของสมรรถภาพทางกายด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนั้น นิยมใช้ค่าน้ำหนักมากที่สุดที่สามารถยกน้ำหนักได้เพียง 1 ครั้งด้วยท่าทางที่ถูกต้อง (1-repetition maximum/ 1RM) (Braith et al., 1993; Rukbumrung& et al., 2025) ซึ่งถูกใช้เป็นค่ามาตราฐานสูงสุด (gold standard) สำหรับการทดสอบสมรรถภาพทางกายด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยการทดสอบนอกห้องปฏิบัติการ (Levinger& et al., 2009)

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนั้นสามารถพัฒนาด้วยวิธีการฝึกออกกำลังกาย โดยการฝึกด้วยแรงต้านเป็นการฝึกที่นิยมมากที่สุดในการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จากการศึกษาวิจัยของผู้แต่งพบว่าการฝึกด้วยแรงต้านเป็นเวลา 8 สัปดาห์ทำให้ผู้ฝึกมีค่า 1RM เพิ่มขึ้นภายหลังสิ้นสุดการฝึก (Rukbumrung& et al., 2025) โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถสังเกตได้ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ของการฝึก (Wilmore et al., 2007) การฝึกด้วยแรงต้านจะทำให้เกิดการพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาของระบบประสาท, การเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อ (cross-sectional area/ CSA) และการเปลี่ยนแปลงความตึงตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue stiffness) (Knuttgen& Kraemer, 1987)

เมื่อมีการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ในระยะแรกความแข็งแรงที่เกิดขึ้นเกิดจากการพัฒนาของระบบประสาท และเมื่อร่างกายยังคงฝึกนานมากขึ้นจะเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้ออย่างช้า ๆ การค่อย ๆ เพิ่มขึ้นของมวลกล้ามเนื้อจะส่งผลให้กล้ามเนื้อมีความแข็งแรงมากขึ้นภายหลังจากที่มีการพัฒนาของระบบประสาทที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อตามภาพที่ 2-1

ภาพที่ 2–1 แสดงการพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึก

แหล่งที่มา (Hughes et al, 2008)



สำหรับความหนักของการฝึกเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงนั้นมีการศึกษาวิจัยอยู่ค่อนข้างมาก โดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดความหนักอยู่ระหว่าง 1 – 10 RM โดยทำการฝึก 4 – 10 เซต ซึ่งจะเห็นผลของการฝึกได้เมื่อฝึกไป 8 – 12 สัปดาห์ (Fry, 2004; Folland& Williams, 2007) แต่ในบางการศึกษาวิจัยกลับพบว่ามีเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงและพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2–4 ของการฝึกความแข็งแรง โดยความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกเป็นผลมากการปรับตัวของระบบประสาทและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ส่วนขนาดของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นผลมาจากการบวมน้ำซึ่งเป็นภาวะที่มีปริมาณของเหลวเพิ่มมากขึ้นในส่วนของเนื้อเยื่อ (edema) (Sale 1988; Staron, 1994; Seynnes et al, 2007; DeFreitas et al., 2011; Brook et al., 2015; Damas et al., 2016)

อายุเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความแข็งแรงลดลง เมื่อมีอายุมากขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular function) มีการลดลงของมวลกล้ามเนื้อ (muscle mass) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscle strength) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (local muscle endurance) และพละกำลัง (power) ปัจจัยทำให้เกิดข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวและเพิ่มความความเสี่ยงในการเสียชีวิต (Cruz–Jentoft et al., 2019; Franceschi et al., 2018; Hunter et al., 2004; Hunter et al., 2016; Roshanravan et al., 2017) ดังนั้นการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้รับมือกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในผู้สูงอายุ (Izquierdo et al.,

2021; McLeod et al., 2019) หลักฐานจากรายงานการวิจัยมากมายแสดงให้เห็นว่า การฝึกด้วยแรงต้านช่วยเพิ่มมวลของกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และพลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Liu & Latham, 2009) ทั้งนี้ยังสามารถแบ่งประเภทความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้อีกคือ

2.3.1 ความแข็งแรงสูงสุด หรือความแข็งแรงสมบูรณ์ (maximal–strength/ absolute– strength

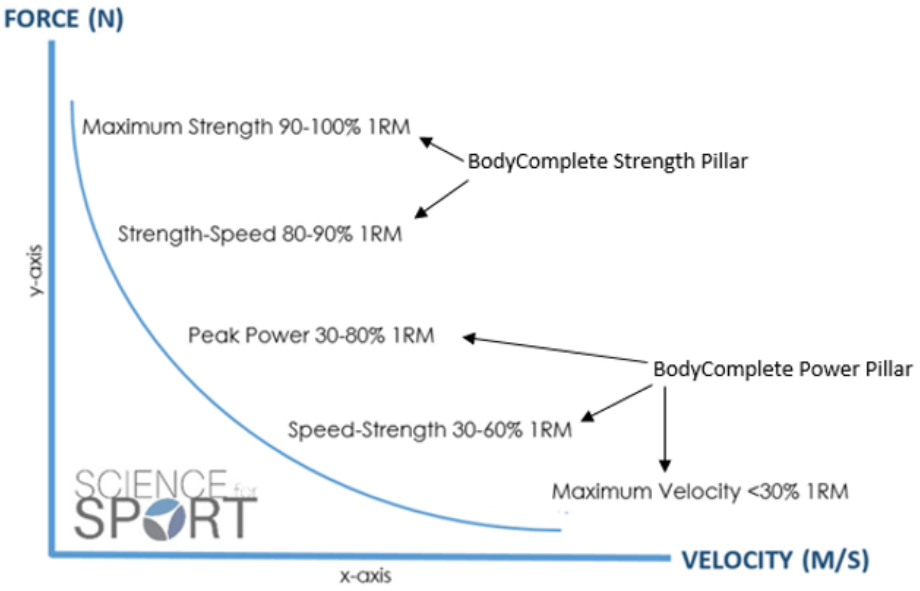
เป็นความสามารถของร่างกายในการหดตัวกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อ เพื่อสร้างแรงสูงที่สุดเท่าที่กลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำงานมัดนั้นจะสามารถทำได้ (de Lira et al., 2019) ในระดับกล้ามเนื้อความสามารถในการเกิดแรงสูงสุดหรือความแข็งแรงสูงสุด จะเกิดขึ้นได้จากวงจรครอสบริดจ์ (cross bridges) ซึ่งเป็นวงจรสะพานเชื่อมระหว่างแอคติน (actin) กับไมโอซิน (myosin) การบิดเกลียวนี้เกิดจากการระดม (recruit) เส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วผ่านหน่วยยนต์ (motor unit) ซึ่งเป็นแขนงของเส้นประสาท 1 เส้น (axon of spinal motor neuron) ที่ไปหล่อเลี้ยงกลุ่มของเส้นใยกล้ามเนื้อหลาย ๆ เส้น เพื่อให้ทุก ๆ กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวนั้น ๆ หดตัวหรือทำงานด้วยแรงสูงสุดโดยพร้อมเพรียงหรือในเวลาเดียวกัน (muscular synchronize) ความสามารถในการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว จะขึ้นอยู่กับวิธีการฝึกซึ่งต้องใช้แรงต้านสูงสุด และการฝึกที่เคลื่อนไหวในลักษณะพลังระเบิดของกล้ามเนื้อ และจะต้องมีการฝึกซ้ำ ๆ จนกล้ามเนื้อเกิดการเรียนรู้ที่จะหดตัวในเวลาสั้นได้อย่างพร้อมเพรียงกัน ความแข็งแรงสูงสุดจะเกิดขึ้นได้เมื่อร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดจากการฝึก คือมีการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (hypertrophy phase) การเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นจากการเพิ่มขนาดหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไมโอซิน (Bompa, 1999)

ความแข็งแรงสูงสุดเป็นค่าความแข็งแรงที่วัดโดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักตัว ทำการทดสอบโดยการยกน้ำหนักให้ได้น้ำหนักมากที่สุดต่อการยกหนึ่งครั้ง ซึ่งก็คือค่า 1 RM ในการยกน้ำหนักนั้นเอง ความแข็งแรงด้านนี้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาสมรรถนะด้านอื่น ๆ เช่น ความแข็งแรงแบบเร็ว (speed–strength) ความแข็งแรงแบบอดทน (strength– endurance) หรือความคล่องตัว (agility) เป็นต้น (Hatfield, 2001) หรือ ดังนั้นผู้ที่มีความแข็งแรงสูงสุด ที่ดีจะส่งผลให้สมรรถภาพทางกายด้านอื่น ๆ ดีตามไปด้วย จากการศึกษาวิจัยพบว่า ค่า 1 RM ในท่า Back–squat มีความสัมพันธ์ในทางสถิติในระดับที่สูงมากกับความสามารถในการวิ่งเร็ว ความเร็วในการเปลี่ยนทิศทาง การยืนกระโดดสูง ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬาฟุตบอลระดับเยาวชน (Hammami et al., 2018) และยังพบค่าความสัมพันธ์กับของความแข็งแรงสูงสุด กับความอดทนเชิงแอโรบิกส่วนในนักกีฬาฟุตบอลระดับสูงด้วย (Styles et al., 2016)

การฝึกความแข็งแรงสูงสุดโดยทั่วไปจะใช้การฝึกด้วยน้ำหนักโดยความหนักที่ใช้จะอยู่ที่ 90 – 100% ของ 1 RM ตามภาพที่ 2–2

ภาพที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนักและความเร็วของการฝึกความแข็งแรงประเภทต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://bodycomplete.co.uk/the-force-velocity-curve/



2.3.2 ความแข็งแรงสัมพัทธ์ (relative-strength)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการยกน้ำหนักและน้ำหนักตัว เป็นค่าความแข็งแรงที่นำน้ำหนักตัวมาร่วมคำนวณด้วย เพื่อใช้สร้างเกณฑ์ในการวัดและเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายของแต่ละคน เนื่องจากร่างกายคนเราสูงและหนักไม่เท่ากัน การจะหาว่าใครแข็งแรงกว่าใคร ไม่อาจนำน้ำหนักที่ทำการยกได้มาเปรียบเทียบได้เลย แต่จำเป็นต้องพิจารณาจากน้ำหนักตัวเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกันก่อน เช่น

ชายคนที่ 1 หนัก 70 kg ยกน้ำหนักในท่า Squat ได้ 100 Kg แสดงว่าชายคนนี้มีค่าความแข็งแรงสัมพัทธ์ = (100 / 70) คือ 1.428 หมายความว่าชายผู้นี้สามารถยกน้ำในท่า Squat ได้เป็น 1.428 เท่าของน้ำหนักตัว

ส่วนชายคนที่ 2 หนัก 65 Kg ยกน้ำหนักในท่า Squat ได้ 95 Kg แสดงว่าชายคนนี้มีค่าความแข็งแรงสัมพัทธ์ = (95 / 65) คือ 1.461 หมายความว่าชายผู้นี้สามารถยกน้ำในท่า Squat ได้เป็น 1.461 เท่าของน้ำหนักตัว

ถ้าพิจารณาเพียงแค่น้ำหนักที่ยกได้ (absolute-strength) ชายคนที่ 1 จะแข็งแรงกว่าชายคนที่ 2 แต่ถ้าพิจารณาโดยเทียบน้ำหนักตัว ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงแบบสัมพัทธ์

(relative-strength) เราจะพบว่าชายคนที่ 2 มีความแข็งแรงกว่าชายคนที่ 1 ดังนั้นค่าความแข็งแรงสัมพัทธ์จึงสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบระหว่างบุคคลที่น้ำหนักตัวไม่เท่ากันได้

ไม่ต่างกับกับความแข็งแรงสูงสุดจากการศึกษาวิจัยพบว่าความแข็งแรงสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ในทางสถิติในระดับที่สูงมากกับความสามารถในการวิ่งเร็ว, ความเร็วในการเปลี่ยนทิศทาง และการยืนกระโดดสูง (Keiner et al., 2014; McBride et al.,2009; Styles et al., 2016)

ค่าความแข็งแรงสัมพัทธ์ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเกณฑ์มาตราฐานวัดความสามารถในการยกน้ำหนักในท่าต่าง ๆ ทั้งในผู้ชายและผู้หญิงตามภาพที่ 2-3 เป็นเกณฑ์ในการวัดความสามารถการยกน้ำหนักในท่าที่สำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวของผู้ยก และการนำหลักความแข็งแรงสัมพัทธ์มาใช้เพื่อการฝึกด้วยน้ำหนักยังเป็นสิ่งสำคัญ ที่จะทำให้ผู้ฝึกสามารถพัฒนาความแข็งแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 2-3 แสดงเกณฑ์มาตรฐานความสามารถในการยกน้ำหนักในท่าต่าง ๆ ของผู้ชาย (ภาพบน) และผู้หญิง (ภาพล่าง)

แหล่งที่มา https://fitnessvolt.com/strength-standards/

	Decent	Good	Great	Excellent
Squat	1.0 x bodyweight	1.25 x bodyweight	1.5 x bodyweight	1.75 x bodyweight
Bench press	0.75 x bodyweight	1.0 x bodyweight	1.25 x bodyweight	1.5 x bodyweight
Deadlift	1.0 x bodyweight	1.5 x bodyweight	1.75 x bodyweight	2.0 x bodyweight
Overhead press	0.5 x bodyweight	0.65 x bodyweight	0.85 x bodyweight	1.0 x bodyweight
Pull-up*	6	10	15	20

** Number of reps with bodyweight only*

	Decent	Good	Great	Excellent
Squat	0.8 x bodyweight	1.0 x bodyweight	1.25 x bodyweight	1.5 x bodyweight
Bench press	0.6 x bodyweight	0.7 x bodyweight	0.85 x bodyweight	1.0 x bodyweight
Deadlift	0.9 x bodyweight	1.2 x bodyweight	1.5 x bodyweight	1.7 x bodyweight
Overhead press	0.35 x bodyweight	0.5 x bodyweight	0.7 x bodyweight	0.8 x bodyweight
Pull-up*	4	8	12	15

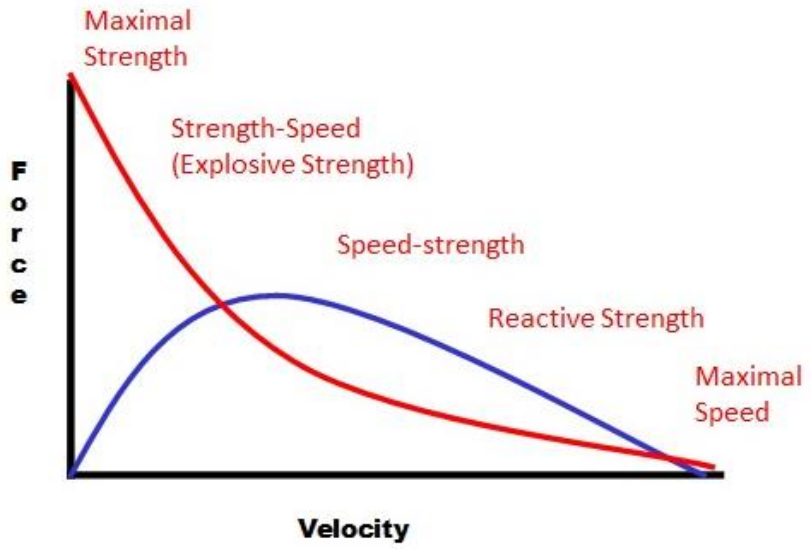
** Number of reps with bodyweight only*

2.3.3 ความแข็งแรงแบบพลังระเบิด หรือความแข็งแรงแบบยืดหยุ่น หรือความแข็งแรงแบบเร็ว (explosive/ elastic-strength, strength-speed

เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวสู้แรงต้านสูงสุดด้วยความเร็วสูงสุด หรือการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วและแรงในระยะเวลาสั้น ๆ เช่นการขว้าง, การทุ่ม หรือการกระโดด ความแข็งแรงแบบพลังระเบิดนี้มีความหมายเดียวกับสมรรถภาพทางกายด้านพลังของกล้ามเนื้อ (power) (Kent, 2006) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการหดตัวออกแรงเพื่อเอาชนะแรงต้าน โดยใช้ความเร็ว อ่านรายละเอียดได้ในสมรรถภาพทางกายด้านพลังของกล้ามเนื้อ

ภาพที่ 2-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนักและความเร็วของการฝึกความแข็งแรงประเภทต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://www.mattspoint.com/blog/apply-sport-science-basics-to-tennis-specific-training



2.3.4 ความแข็งแรงแบบอดทน (strength-endurance)

เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่หดตัวด้วยความตึงตัวสูง สู้กับแรงต้านที่มีระยะเวลานาน ๆ (Stiff, 2000) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในขณะที่ออกแรงสูงมากและคงระยะเวลาไว้ได้นาน สามารถทนต่อความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ โดยที่ประสิทธิภาพของความแข็งแรงยังเหมือนเดิมหรือลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นการงัดข้อ การชักเย่อ การดันการดึง การปั่นจักรยาน พายเรือ ว่ายน้ำ หรือวิ่ง ด้วยความเร็วสูงแม้กล้ามเนื้อจะเกิดความล้า เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วจะเป็นกิจกรรมที่มีความหนักของงานมากกว่าร้อยละ 30 ของ Maximum-strength และต้องทำกิจกรรมนานหลายวินาทีขึ้นไปจะถือเป็น Strength-endurance ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการทำงานจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular) และปัจจัยด้านระบบ

พลังงาน ทั้งนี้ความสามารถของร่างกายในการทำงานแบบนี้ได้มีประสิทธิภาพที่สุดจะอยู่ในช่วง 30 วินาที – 2 นาที (Schmidtbleicher, 1989)

ความแข็งแรงแบบอดทนเป็นสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับระบบกล้ามเนื้อ ที่เป็นหลักในการทำกิจวัตรประจำวันของคนทั่วไปมากที่สุด เนื่องจากในแต่ละวันเราอาจจะไม่ต้องใช้ความแข็งแรงสูงสุดเลยในการทำกิจวัตรประจำวันโดยทั่วไป (ยกเว้นนักกีฬาและผู้ที่ประกอบอาชีพบางประเภทที่ต้องใช้แรงมาก ๆ) แต่เรามีกิจวัตรหลายอย่างที่จำเป็นต้องใช้ความแข็งแรงแบบอดทนของกล้ามเนื้อเช่นอาจจะต้องวิ่งเร็ว ๆ ในระยะเวลาหนึ่งในจังหวะที่ต้องเร่งรีบจากกิจวัตรประจำวัน หรือการถือหรือเคลื่อนย้ายของที่หนักมาก ๆ เป็นระยะไกล ๆ ทั้งการด้วยน้ำหนักตัวเพื่อเสริมสร้างกล้ามเนื้อ (hypertrophy) ถือเป็นการฝึกแข็งแรงแบบอดทนอย่างหนึ่ง เพื่อพัฒนารูปร่างและขนาดของกล้ามเนื้อนั่นเอง (Haff et al., 2016)

ภาพที่ 2-5 แสดงความหนักของการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อเทียบจากร้อยละของค่า 1 RM เพื่อพัฒนาความแข็งแรงในแบบต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://spiderstamina.com/abc.php

Reps	Intensity	Benefit	
1	100	Strength	Functional Hypertrophy
2	95		
3	93		
4	90		
5	87		
6	85	Strength Endurance	
7	83		
8	80		
9	77		Energy Hypertrophy
10	75		
11	70		
12	67		
15	65	Endurance	
20	60		
30	50		
50	40		
100	30		

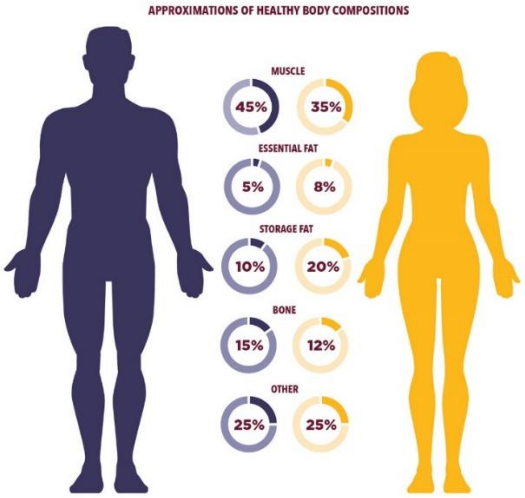
2.4 องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)

องค์ประกอบของร่างกายเป็นสิ่งที่ทำให้รูปร่างของคนเราแตกต่างกันออกไป ถึงแม้ว่าคน 2 คนอาจจะมีเพศ อายุ น้ำหนักตัวและส่วนสูงที่เหมือนและเท่ากัน แต่เนื่องจากส่วนประกอบต่าง ๆ ในร่างกายมีสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป จึงเป็นสมรรถภาพทางกายที่ใช้แบ่งแยกรูปร่างและสัดส่วนทางกายของมนุษย์

โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของร่างกายจะหมายถึงสัดส่วนของกล้ามเนื้อ ไขมัน กระดูกและของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย ที่แสดงในรูปแบบของร้อยละ (%) และน้ำหนัก (กิโลกรัม) เรามักจะคุ้นเคยกับคำว่า น้ำหนักตัว (body weight/ BW) ไขมันในร่างกาย (body fat) และ ดัชนีมวลกาย (body mass index/ BMI) ค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่แสดงถึงสมรรถภาพทางกายในด้านนี้ นอกจากนั้นยังมีค่าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของร่างกายอีกเช่น น้ำหนักตัวปราศจากไขมัน (fat free mass/ FFM) ซึ่งมีความหมายเดียวกับปริมาณน้ำหนักของร่างกายที่ไม่มีไขมัน (lean body mass/ LBM) เป็นต้น (Saltzman& Mogensen, 2013; Lustig& Strauss, 2003)

ภาพที่ 2-6 แสดงองค์ประกอบของร่างกายเมื่อแยกจากองค์ประกอบต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://www.hprc-online.org/physical-fitness/training- performance/optimal-body-fat-and-body-composition-military-fitness

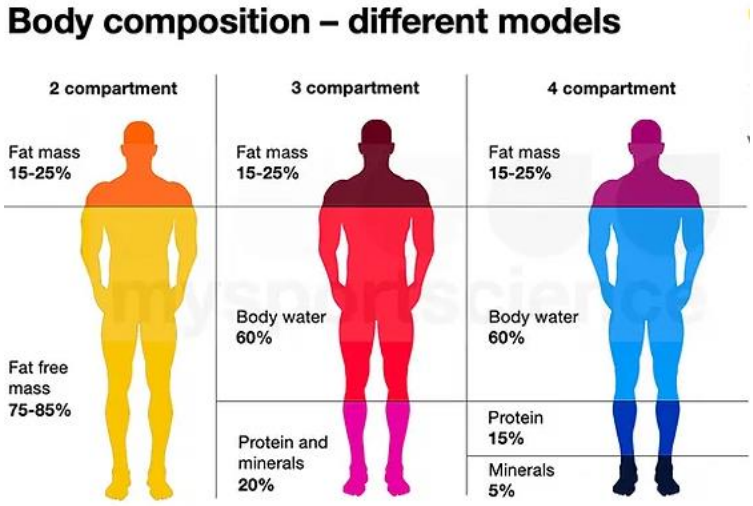


อายุมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของร่างกายโดยตรง เมื่อมีอายุมากขึ้นสัดส่วนขององค์ประกอบในร่างกายจะเปลี่ยนแปลงไป ร่างกายจะเริ่มสูญเสียโปรตีนในกล้ามเนื้อทำให้มวลกล้ามเนื้อลดลง กล้ามเนื้อลีบเล็กลง (muscle atrophy) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงตามไป นอกจากนั้น ร่างกายจะมีการสะสมเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) โดยเฉพาะไขมันหน้าท้อง ร่างกายจะสะสมเนื้อเยื่อไขมันมากขึ้นในช่วงวัยกลางคน ส่งผลให้ร่างกายทำกิจกรรมต่าง ๆ ให้ได้น้อยลง และคุณภาพชีวิตก็ลดลงตามไปด้วย นอกจากอายุแล้ว พันธุกรรมโดยเฉพาะภาวะที่มีการบกพร่องทาง

พันธุกรรม ภาวะโภชนาการ กิจกรรมทางกายและภาวะเจ็บป่วยของร่างกาย ยังเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงกับองค์ประกอบของร่างกาย (Mohammadi et al., 2018; Gómez-Cabello et al., 2012; Zajac et al., 2014)

ภาพที่ 2-7 แสดงองค์ประกอบของร่างกายเมื่อแยกจากองค์ประกอบต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://www.mysportscience.com/post/body-composition- methods- compared



ทั้งการออกกำลังกายเพื่อสร้างความอดทนและสร้างความแข็งแรง (aerobic or strength exercise) นอกจากจะมีผลทำให้ร่างกายแข็งแรงมากขึ้นแล้ว ยังมีส่วนสำคัญในการพัฒนาองค์ประกอบของร่างกาย ด้วยการลดปริมาณไขมันซึ่งทำให้ความอ้วนลดลง ลดความเสี่ยงโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด ร่วมไปถึงลดภาวะกระดูกพรุนและลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็ง (Hayes et al., 2013; Randáková, 2005; Perez-Gomez et al., 2013; Esfahani et al., 2013) โดยการออกกำลังกายแบบแอโรบิก แบบสร้างความแข็งแรง และแบบผสมผสาน สามารถช่วยลดน้ำหนักตัวได้ดี (Donges et al., 2013; Mohammadi et al., 2018)

ผู้แต่งได้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบผลการฝึกแบบต่อเนื่องและการฝึกหนักสลับเบา 12 สัปดาห์ ในกลุ่มตัวอย่างเพศชายและหญิงที่มีไขมันเกิน (รวม 32 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่มทดลองและ 1 กลุ่มควบคุม) โดยทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (VO2max) น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันและไขมันในช่องท้อง พบว่าการฝึกทั้งสองแบบช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ลดน้ำหนักตัวและเปอร์เซ็นต์ไขมัน ได้อย่างมีนัยสำคัญและไม่ต่างกันในทางสถิติ (Rugbumrung et al., 2022) ทั้งนี้แม้การออกกำลังกายทุกประเภทช่วยลดไขมันได้ แต่การฝึกแบบแอโรบิกจะช่วยลดไขมันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้น้ำหนักรวมลดลงดีกว่า (Mohammadi et al., 2018) อย่างไรก็ตาม บางงานวิจัย

พบว่าการฝึกผสมผสานแอโรบิกกับการฝึกความแข็งแรงสามารถช่วยลดไขมันได้ดีที่สุด (Willis et al., 2012)

2.4.1 ส่วนสูงและน้ำหนักตัว (height and weight)

ส่วนสูงและน้ำหนักตัวเป็นดัชนีสำคัญขององค์ประกอบและสัดส่วนร่างกาย สัมพันธ์กับพลังงานที่ร่างกายได้รับทั้งหมดจากอาหารที่รับประทานในแต่ละวัน เนื่องจากการรับประทานอาหารของมนุษย์มีจุดประสงค์หลักคือการดำรงชีพเพื่อให้ร่างกายเกิดการเจริญเติบโต (สำหรับวัยที่ร่างกายมีการเจริญเติบโต) เสริมสร้างซ่อมแซมบำรุงรักษาส่วนประกอบต่าง ๆ และเป็นแหล่งพลังงานให้กับร่างกาย ดังนั้นเราจึงควรรักษาเป้าหมายหลักของการรับประทานอาหารทั้งการเป็นแหล่งพลังงานและการบำรุงรักษาร่างกายให้มีความสมดุลกันไม่ว่าจะเพศหรือวัยใด

น้ำหนักตัวจะเป็นไปตามกฎของนิวตันในรูปของมวลคูณด้วยความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง หรือ น้ำหนักตัวของเราถูกกำหนดโดยแรงดึงจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อตัวเรา (Ferrè et al., 2019) น้ำหนักตัวและส่วนสูงสำหรับคนไทยตามวัยต่าง ๆ จะค่ามาตราฐานตามภาพที่ 2–8

ภาพที่ 2–8 แสดงค่ามาตรฐานน้ำหนักและส่วนสูงสำหรับคนไทยในช่วงวัยต่าง ๆ

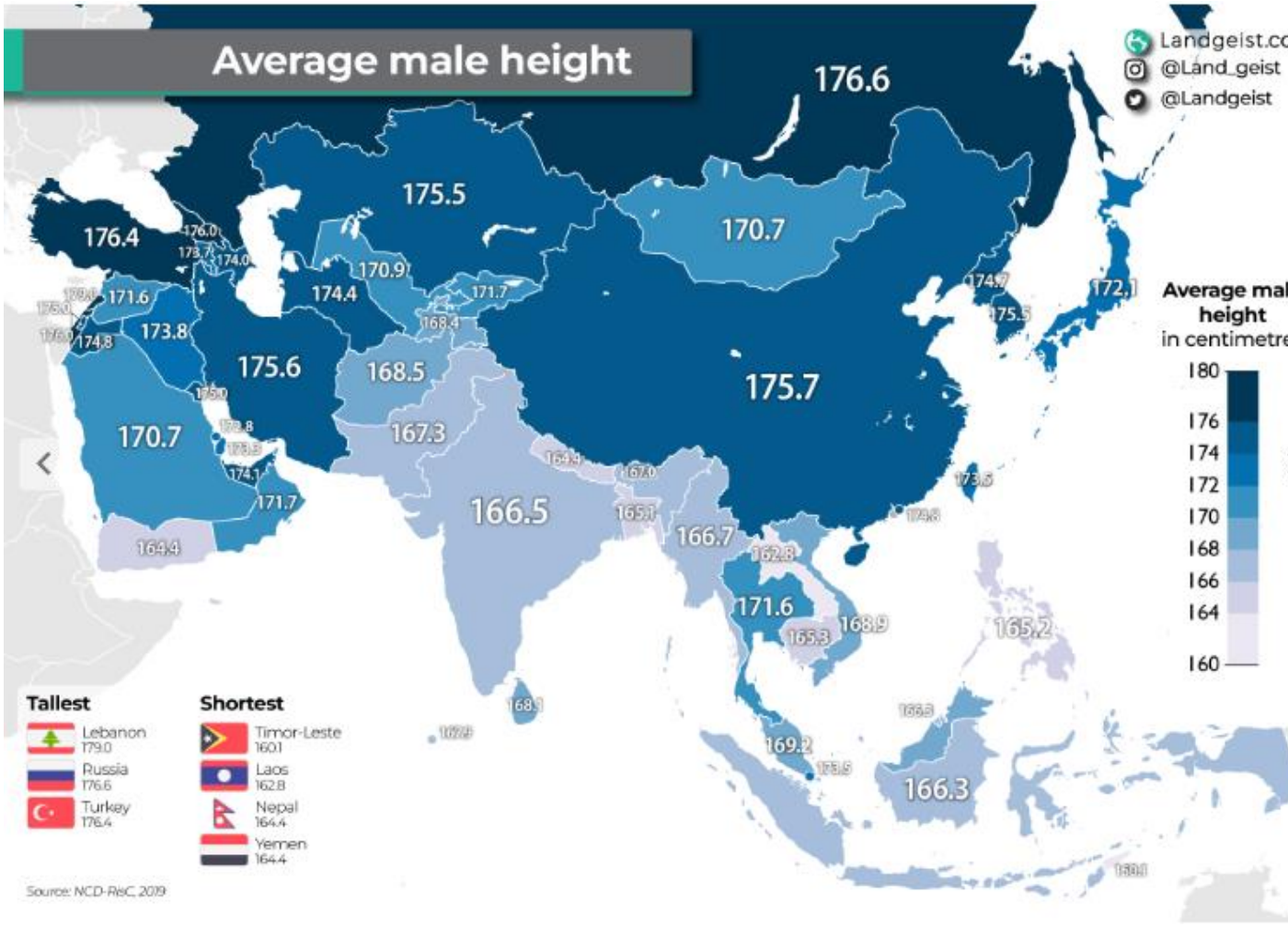
อ้างอิง (คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2563)

กลุ่มอายุ (ปี)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)		ส่วนสูง (เซนติเมตร)	
	หญิง	ชาย	หญิง	ชาย
6-8	22.5	23.0	121.0	122.3
9-12	36.5	35.6	143.9	142.2
13-15	47.7	51.5	157.1	164.3
16-18	48.9	58.3	158.8	171.2
19-30	53.0	61.3	158.9	170.8
31-50	52.2	60.1	157.6	169.2
51-60	51.9	59.5	156.5	167.8
61-70	49.9	58.7	153.5	165.1
≥71	48.5	56.2	152.0	163.6

ในระดับนานาชาติมีการรวบรวมค่าเฉลี่ยส่วนสูงและน้ำหนักตัวของผู้คนจากทั่วโลกไว้เป็นจำนวนมาก โดยจะมีค่าเฉลี่ยที่ไม่ความแตกต่างกันมากนัก ผู้แต่งจึงขอนำตัวอย่างค่าเฉลี่ยส่วนสูงของประชากรในทวีปเอเชียทั้งเพศชายและเพศหญิงมาแสดงไว้ดังต่อไปนี้

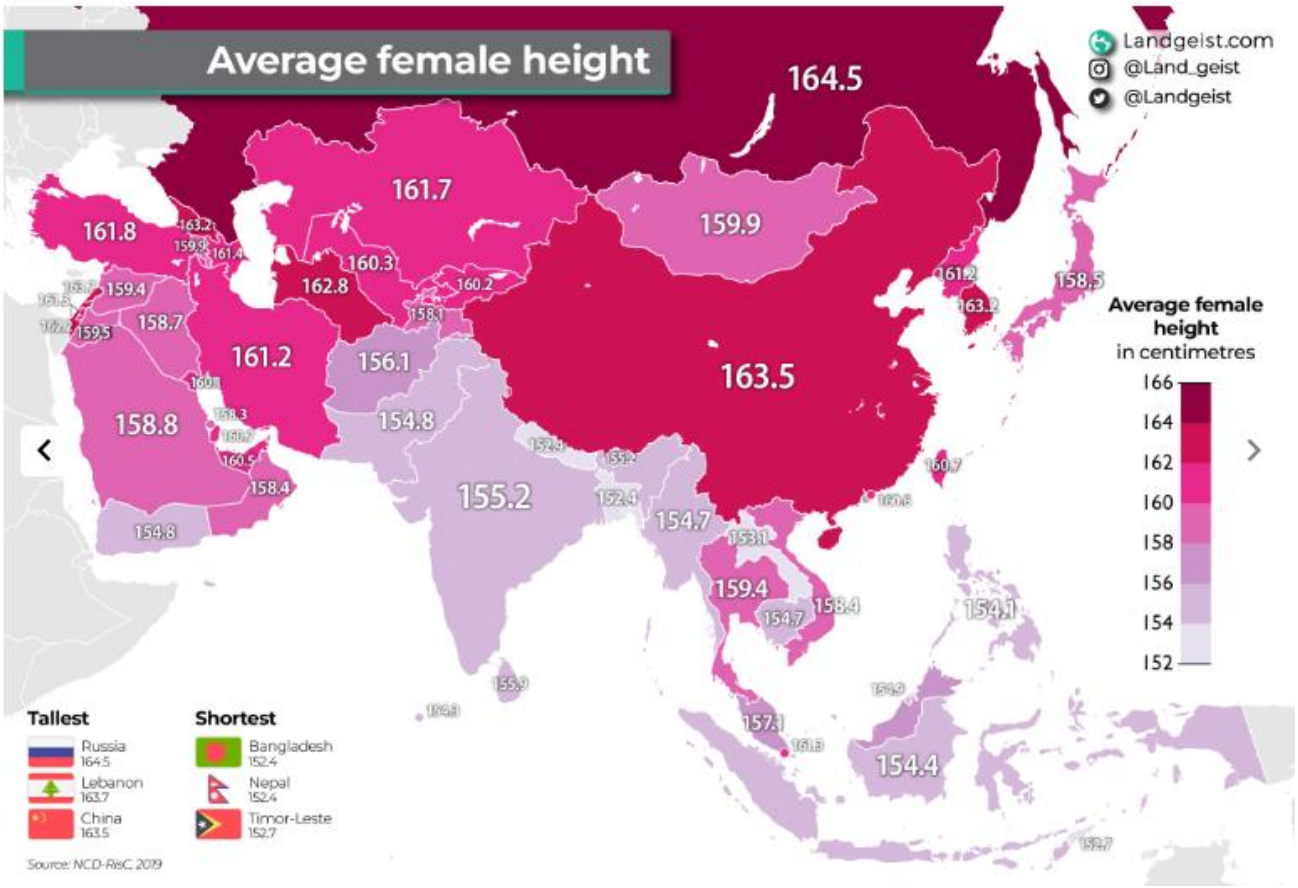
ภาพที่ 2–9 แสดงค่าเฉลี่ยส่วนสูงของประชากรในทวีปเอเชียทั้งเพศชาย

แหล่งที่มา https://landgeist.com/2024/03/26/average-female-and-male-height-in-asia/



ภาพที่ 2-10 แสดงค่าเฉลี่ยส่วนสูงของประชากรในทวีปเอเชียทั้งเพศหญิง

แหล่งที่มา https://landgeist.com/2024/03/26/average-female-and-male-height-in-asia/



2.5 ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อหรือความอ่อนตัวของร่างกาย (flexibility)

ความอ่อนตัวของร่างกายเป็นความสามารถในการยืดตัวของกล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหวของข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้จนสุดช่วงของการเคลื่อนไหวหรือสุดองศาของการเคลื่อนไหว (range of motion/ ROM) และหรืออาจจะใช้องศาของการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (Joint ROM) ในความหมายของความอ่อนตัวของร่างกาย (flexibility) ก็ได้เช่นกัน (ACSM, 2018) ความอ่อนตัวของร่างกายแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ (Kell& et al., 2001)

1) ความอ่อนตัวแบบคงที่ (static flexibility)

ความอ่อนตัวแบบคงที่ คือความสามารถของร่างกายในการยืดกล้ามเนื้อได้จนสุดช่วงของการเคลื่อนไหว โดยกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อมัดที่ยืดไม่มีหดตัวทำงาน แต่ถูกยืดจากแรงภายนอกมากระทำเช่นมีผู้ช่วยหรือใช้อุปกรณ์ (passive flexibility)

2) ความอ่อนตัวแบบเคลื่อนไหว (dynamic flexibility)

เป็นความสามารถของร่างกายในการควบคุมข้อต่อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันให้เคลื่อนไหวไปใช้สุดช่วงของการเคลื่อนไหว (active flexibility) ซึ่งถือเป็นความสามารถในการเคลื่อนไหว (mobility) รูปแบบหนึ่ง อาจเรียกความอ่อนตัวแบบนี้ว่า ความอ่อนตัวเชิงเคลื่อนไหว

2.5.1 ความสามารถในการเคลื่อนไหว (mobility)

เมื่อพูดถึง ความอ่อนตัวของร่างกาย ก็จำเป็นที่จะต้องพูดถึง ความสามารถในการเคลื่อนไหว ด้วยเพราะเป็น 2 สิ่งที่มีพื้นฐานเหมือนกันและสามารถส่งเสริมกันได้ โดยความอ่อนตัวของร่างกาย คือความสามารถและประสิทธิภาพความยืดหยุ่นตัวของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อซึ่งร่วมไปถึงเอ็น (ทั้ง Tendon และ ligament) ในการยืดความยาวขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดช่วงของการเคลื่อนไหว (ROM) โดยไม่ติดขัดและหดตัวกลับเข้ามาในสภาวะเดิมได้โดยไม่มีอาการบาดเจ็บเป็นการยืดแบบมีผู้ช่วยยืดหรือใช้น้ำหนักตัวช่วย ในขณะที่ความสามารถในการเคลื่อนไหว คือความสามารถในการเคลื่อนไหวได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลายระนาบของการเคลื่อนไหว ในขณะที่ร่างกายมีความอ่อนตัว เป็นความสามารถของร่างกายในการควบคุมการเคลื่อนไหวข้อต่อรวมถึงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพไปจนสุดช่วงของการเคลื่อนไหว

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่า ความอ่อนตัวของร่างกาย และ ความสามารถในการเคลื่อนไหว เป็นความสามารถของร่างกายที่เกื้อหนุนกันโดย ความอ่อนตัวของร่างกาย ถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญของ ความสามารถในการเคลื่อนไหว นอกจากนั้นยังจะต้องมีความแข็งแรงและการควบคุมการทรงตัวที่ดีอีกด้วย หลายครั้งที่พบว่าบางคนมีความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อที่ดีแต่ความสามารถในการเคลื่อนไหวข้อต่อไม่ดีเพราะขาดความแข็งแรงและการควบคุมการทรงตัวที่ มีประสิทธิภาพ

ซึ่งนั่นหมายความว่า Mobility จำเป็นจะต้องมาพร้อม Stability ด้วยคือสามารถที่จะเคลื่อนไหวและทรงตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 2-11 แสดงความแตกต่างระหว่าง Flexibility กับ Mobility





ภาพที่ 2-12 แสดงความแตกต่างระหว่าง Flexibility กับ Mobility

แหล่งที่มา https://www.linkedin.com/posts/ofir-malamud-9771651ba_in-kinesiology-%3F%3F%3F%3F%3F%3F%3F%3F%3F%3F%3F-refers-activity-7484895586224164864-HT75



2.5.2 องค์ประกอบทางสรีรวิทยาที่สำคัญของ ความอ่อนตัวของร่างกาย และความสามารถในการเคลื่อนไหว

1. กระสวยกล้ามเนื้อ (muscle spindle)

เป็นตัวรับความรู้สึกในกล้ามเนื้อที่ช่วยส่งข้อมูลให้แก่ไขสันหลังและสมองเพื่อให้ร่างกายรับรู้อากัปกิริยาการเคลื่อนไหว กระสวยกล้ามเนื้อทำหน้าที่เป็น ตัวรับความรู้สึกเพื่อสื่อสารให้ร่างกายรับรู้การเปลี่ยนแปลงความเร็ว, ความยาวหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของกล้ามเนื้อ มีบทบาทในการปกป้องกล้ามเนื้อจากการยืดมากเกินไป เมื่อมีการยืดตัวของกล้ามเนื้อยืดกระสวยกล้ามเนื้อ จะส่งข้อความไปยังระบบประสาทเพื่อหดตัวของกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกันไม่ให้กล้ามเนื้อยืดตัวมากเกินไปซึ่งสามารถเรียกการทำงานแบบนี้ว่า Stretch Reflex (Banks, 2018)

2. กอลจิ เทนดอน (Golgi Tendon Organ: GTO)

ทำหน้าที่คล้าย ๆ กระสวยกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อ GTO ซึ่งอยู่ในตำแหน่งปลายสุดของกล้ามเนื้อใกล้กับเส้นเอ็น จะทำให้ที่ในการรับรู้ความตึงหรือแรงของกล้ามเนื้อ GTO มีหน้าที่ส่งสัญญาณให้กล้ามเนื้อเกิดการคลายตัวเมื่อมีการออกแรงมากเกินไปจนอาจเป็นอันตรายต่อกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นยังช่วยควบคุมการออกแรงของกล้ามเนื้อให้สม่ำเสมอเพื่อให้ข้อต่อเคลื่อนไหวได้อย่างมีเสถียรภาพ (Moore, 1984)

2.5.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อของความอ่อนตัวของร่างกาย และ ความสามารถในการเคลื่อนไหว

1. พันธุกรรม ยีนส์มีบทบาทอย่างมากต่อความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อในแต่ละคน (Battié et al., 2008)

2. อายุ ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อและความสามารถในการเคลื่อนไหวของข้อต่อจะมีประสิทธิภาพลดลงตามอายุที่มากขึ้น (Stathokostas et al., 2013; Medeiros et al., 2013)

3. อาการบาดเจ็บ

4. ฮอร์โมน ฮอร์โมนบางชนิดเช่นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการตั้งครรภ์ส่งผลต่อเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีความยืดหยุ่นตัวมากขึ้น (Cheng et al., 2019)

5. องค์ประกอบของร่างกาย การมีกล้ามเนื้อและไขมันส่วนเกินที่มากเกินไปเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนไหวของข้อต่อ

การออกกำลังกายด้วยการยืดกล้ามเนื้อทั้งแบบการยืดโดยมีผู้ช่วย (passive stretching การยืดด้วยตนเอง (active stretching) หรือการยืดแบบอยู่กับที่ (static stretching) เป็นการฝึกที่ช่วยให้ความความอ่อนตัวของร่างกายได้ดี (Nishikawa et al.,2015) การยืดกล้ามเนื้อเพื่อให้ร่างกายเกิดการพัฒนาความยืดหยุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพควรทำค้างไว้อย่างน้อย 15–30 วินาที

เพื่อให้กล้ามเนื้อเกิดการรับรู้และความจำ เนื่องจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมีการยืดความยาวได้ใหม่มากกว่ายาวเดิม สำหรับการฝึกเพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (mobility) จำเป็นจะต้องมีความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อที่ดีขึ้นก่อน จากนั้นจำเป็นจะต้องใช้การฝึกออกกำลังกายด้วยการยืดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (dynamic stretching) (Iwata et al., 2019)

นอกจากนี้ เทคนิควิธีการนวดกดจุดเพื่อคลายกล้ามเนื้อด้วยตัวเอง (self-myofascial release/ SMR) ในปัจจุบันได้รับการยอมรับว่า เป็นวิธีการที่สามารถใช้เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อได้ มีอุปกรณ์การออกกำลังกายหลายชนิดเช่น ลูกกลิ้งโฟม (foam rolling) ซึ่งเป็นวิธีการคลายกล้ามเนื้อด้วยการใช้ลูกกลิ้งโฟมที่สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อให้ดีขึ้น (Zhang& et al., 2020) วิธีการดังกล่าวใช้หลักการที่ว่า เมื่อมีการออกแรงกดไปที่กล้ามเนื้อโดยเฉพาะบริเวณที่มีการตึงตัวของกล้ามเนื้อด้วยลูกกลิ้งโฟม ทริกเกอร์พอยต์บอลหรืออุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน ตัวรับในร่างกายจะตอบสนองโดยการยับยั้งการทำงานของกระสวยกล้ามเนื้อ (muscle spindle) ส่งผลให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อ (Hou et al., 2002)

ภาพที่ 2-13 แสดงการยืดแบบ Passive Stretching และ Active Stretching



Passive Stretching



Active Stretching





2.6 ความเร็ว (speed)

ความเร็วคือความสามารถในการเคลื่อนไหวของร่างกายจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ในหนึ่งทิศทางได้ในเวลาที่น้อยที่สุด แม้จะหมายถึงการเคลื่อนไหวแบบใดก็ได้ แต่โดยทั่วไปสมรรถภาพทางกายด้านนี้จะหมายถึงการวิ่ง (เร็ว) โดยความเร็วของการวิ่งนั้นเป็นผลลัพธ์ของความถี่ในการก้าว (step frequency/ SF) และความยาวของการก้าว (step length (SL)) (Mackala& Fostiak, 2015; Salo& et al., 2011) ดังนั้นความเร็วจึงไม่ใช่เพียงแค่ความเร็วที่เราสามารถวิ่งหรือว่ายน้ำ แต่ยังเป็นความสามารถในการเร่งความเร็วให้มากขึ้น และรักษาความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ไว้ได้ ทำให้เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายด้านอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ, พลังของกล้ามเนื้อ และการทำงานร่วมกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อด้วย ความเร็วจะมีสมการคือ

ความเร็ว (speed) = ระยะทาง (m) / เวลา (s)

หน่วยของการรายงานค่าความเร็วจะเป็น เมตร/ วินาที (m/s) แต่สำหรับผู้ที่ชอบออกกำลังกายด้วยการวิ่งออกกำลังกาย อาจจะมีหน่วยความเร็วที่คุ้นเคยเช่น กิโลเมตร/ ชั่วโมง (km/hr.) ซึ่งหน่วยความเร็วนี้ เป็นหน่วยความเร็วที่ใช้รายงานค่าความเร็วในการวิ่ง แต่ไม่ใช่ความเร็วสูงสุดของสมรรถภาพทางกายด้านความเร็ว เนื่องจากการวัดสมรรถภาพทางกายด้านความเร็ว จะวัดในระยะทางสั้น ๆ เช่น 25 เมตร, 50 เมตร หรือ 100 เมตร ดังนั้นค่าที่ได้จากการวัดจะมีหน่วยเป็น เมตร/ วินาที

การฝึกด้วยความแข็งแรงเช่นการฝึกด้วยแรงต้าน ส่งผลให้ร่างกายมีการพัฒนาความเร็วได้เนื่องจากการฝึกส่งผลให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวเร็วมากขึ้น (Rimmer& Sleivert, 2000) การฝึกจะพัฒนาการระดมเส้นใยกล้ามเนื้อแบบหดตัวเร็ว (fast-twitch fibers recruitment) ในการหดตัว (Takada et al., 2012) การฝึกความเร็วนั้นมีวิธีการค่อนข้างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการฝึกด้วยแรงต้านโดยใช้น้ำหนักมาก ๆ และจำนวนครั้งในการยกน้อย ๆ (high-resistance/ HR) ซึ่งเป็นการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแบบดั้งเดิม (traditional training) หรือวิธีการฝึกแบบใช้เวลาเร็ว ๆ โดยใช้แรงต้านน้อย ๆ (high-velocity training/ HV) และยกซ้ำด้วยจำนวนครั้งมาก ๆ (Selenica, 2023) หรือการฝึกโดยใส่อุปกรณ์เช่น Parachutes, เสื้อถ่วงน้ำหนัก (weight vests) และลากเลื่อน (sled pull) ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าหากต้องการพัฒนาความเร็ว น้ำหนักแรงต้านที่ควรใช้กับอุปกรณ์การฝึกดังกล่าวควรมีน้ำหนักประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว แต่พบว่าในการฝึกกีฬา ผู้ฝึกสอนส่วนใหญ่นิยมใส่น้ำหนักถ่วงลงไปมากกว่านั้น เพื่อเป้าหมายในการพัฒนาความแข็งแรงของนักกีฬาด้วย (Vives& Roberts, 2005)

นอกจากการฝึกด้วยแรงต้านแล้ว ยังพบว่าการฝึกแบบพลัยโอเมตริกสามารถพัฒนาความเร็วของกลุ่มตัวอย่างภายหลังการฝึกได้อย่างดี เนื่องจากการฝึกแบบพลัยโอเมตริกจะพัฒนาวงจร stretch-shortening ของกล้ามเนื้อ พัฒนาประสิทธิการกักเก็บและการปล่อยพลังงานแบบพลังระเบิด

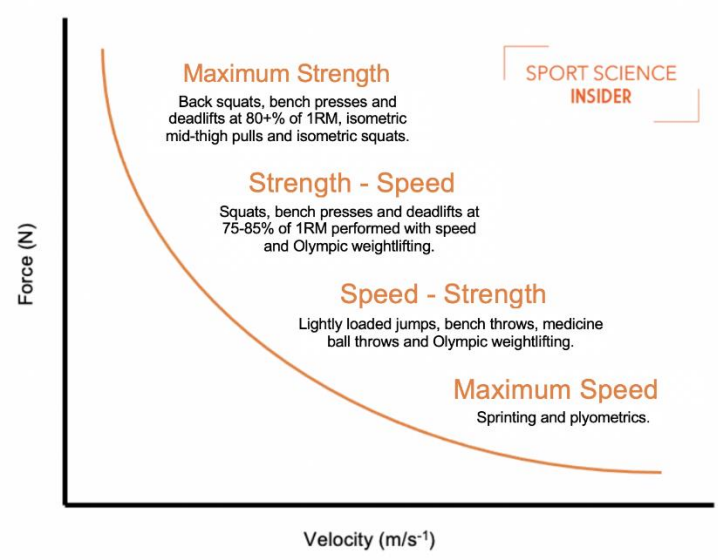
(elastic energy) กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาของเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในด้านความยืดหยุ่น ทำให้การเคลื่อนไหวรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Coh et al., 2010; Cormie et al., 2011; Fatahi& Sadeghi, 2014; Hennessy& Kilty, 2001; Kraemer et al., 2000; Mackala& Fostiak, 2015)

2.6.1 ความเร็วเชิงแข็งแรง (speed strength)

คือความเร็วที่มีเรื่องของความแข็งแรงเข้ามาเกี่ยวข้อง การจะมีความเร็วเชิงแข็งแรงที่ดีนั้น จำเป็นจะต้องมีความแข็งแรงสูงสุด (maximum strength) ที่ดีเนื่องจากเป็นพื้นฐานในแสดงออกของความเร็วเชิงแข็งแรงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นกิจกรรมประเภทกระโดด หรือการวิ่งระยะสั้น ที่ต้องอาศัยแรงส่งจากการสร้างแรงสูงสุดเพื่อให้ร่างกายเกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้น (ground reaction forces) (Hunter et al., 2005; Morin et al., 2012) มีการประเมินกันว่าในการผลักหรือการกระโดดจะเกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างพื้นกับผู้กระโดดได้มากเป็น 2 เท่าของน้ำหนักตัว และจะเพิ่มขึ้นเป็น 4–6 เท่าของน้ำหนักตัวในช่วงขาลง (Dempsey et al., 2014) ส่วนในการวิ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่าในช่วงที่ออกตัวและเร่งความเร็วจะมีแรงปฏิกิริยาระหว่างพื้นกับนักวิ่ง 2–5 เท่าของน้ำหนักตัว (Weyand et al., 2000) การจะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาให้ปริมาณที่มากไม่ว่าจะเป็นการกระโดดหรือการออกตัวและการเร่งความเร็วนั้น ร่างกายจะต้องมีพื้นฐานความแข็งแรงโดยเฉพาะความแข็งแรงสูงสุดที่ดีด้วย จึงจะสามารถมีความเร็วเชิงแข็งแรงที่ดีตามมา เนื่องจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นพื้นฐานที่สำคัญของสมรรถภาพทางกายในด้านความเร็ว ทั้งนี้ความเร็วเชิงแข็งแรง Speed–strength และความแข็งแรงเชิงความเร็ว

ภาพที่ 2–14 แสดงวิธีการฝึกความเร็วประเภทต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://sportscienceinsider.com/force–velocity–curve/



2.6.2 ความเร็วเชิงอดทน (speed endurance)

สมรรถภาพทางกายด้านนี้ เป็นความสามารถของร่างกายในการใช้ความเร็วในขณะที่ต้องทำงานเป็นระยะเวลานาน หรือการใช้ความเร็วเมื่อร่างกายมีความเหนื่อยล้า เป็นกิจกรรมที่ร่างกายต้องคงความเร็วสูงสุดหรือใกล้เคียงความเร็วสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เป็นกิจกรรมที่ร่างกายต้องใช้ระบบพลังงานทั้งแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิก (Skovgaard et al., 2018) กิจกรรมที่จัดอยู่ในความเร็วเชิงอดทน คือกิจกรรมที่ต้องใช้ความเร็วสูงที่ฝึกซ้ำ ๆ หลาย ๆ รอบ ใช้เวลาในการฝึกแต่ละรอบไม่นานมาก และมีเวลาพักเพื่อให้ร่างกายฟื้นฟูสภาพไม่มาก โดยทั่วไปจะมีช่วงเวลาการฝึกที่ประมาณ 10–40 วินาที/ 1 รอบ (Iaia& Bangsbo, 2010; Skovgaard et al., 2018) ใช้ความหนักของงานสูงสุดหรือสูงกว่าระดับค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (above the maximal aerobic speed, VO_2 max) (Iaia& Bangsbo, 2010)

การฝึกความเร็วเชิงอดทนเป็นการฝึกหนักสลับพัก (interval training) รูปแบบหนึ่ง โดยช่วงการฝึกหนักจะใช้ความหนักที่ร้อยละ 70 – 100 ของความเร็วสูงสุด ใช้เวลา 10 – 40 วินาที และใช้เวลาพักมากกว่า 5 เท่าของระยะเวลาในการฝึกหนัก แต่หากเป็นช่วงการฝึกเพื่อรักษาสมรรถภาพไว้ (maintenance training) จะใช้ความหนักที่ร้อยละ 50 – 100 ของความเร็วสูงสุด เวลาในการฝึก 5 – 90 วินาที ใช้เวลาพัก 3–5 เท่าของระยะเวลาในการฝึกหนัก รายละเอียดตามภาพที่ 2–15

ผลของการฝึกจะช่วยพัฒนาทั้งการใช้พลังงานทั้ง 2 ระบบร่วมทั้งก่อให้เกิดการพัฒนาของสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นความเร็วในการวิ่งหรือค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย

ภาพที่ 2–15 แสดงรูปแบบการฝึกความเร็วแบบต่าง ๆ

อ้างอิง (Iaia& Bangsbo, 2010)

Table 1. Types of anaerobic training

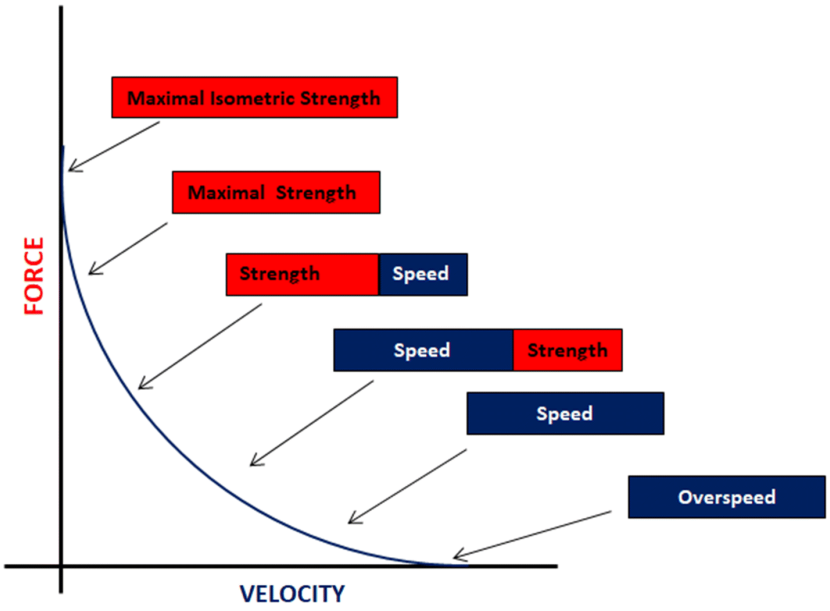
Type of anaerobic training	Exercise intensity (% of maximum speed)	Duration of exercise (s)	Duration of recovery	No. of repetitions
Speed	100	2–10	50–100 s	5–20
Speed endurance production	70–100	10–40	>5 times exercise duration	3–12
Speed endurance maintenance	50–100	5–90	1–3 times exercise duration	2–25

2.7 พลังของกล้ามเนื้อ (muscle power/ power)

พลังของกล้ามเนื้อคือความสามารถควบคู่กันของ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (strength) และความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ (velocity) (Sharkey& Gaskill, 2006) เป็นความสามารถของบุคคลในการออกแรงด้วยความเร็วจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ 1 ครั้ง ในการทำกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่ง งานที่ทำได้เป็นผลคูณระหว่าง แรงหรือความแข็งแรง (force) และความเร็ว (velocity) (power = force x velocity โดยหากกล้ามเนื้อใช้เวลาในการหดตัวเร็วจะแรงที่ได้จะมีมาก แต่หากใช้เวลาในการหดตัวมากขึ้นแรงที่ได้จะน้อยลงตามภาพที่ 2–16

ภาพที่ 2–16 แสดงรูปแบบการฝึกความเร็วแบบต่าง ๆ

อ้างอิง (Maestroni et al.,2022)



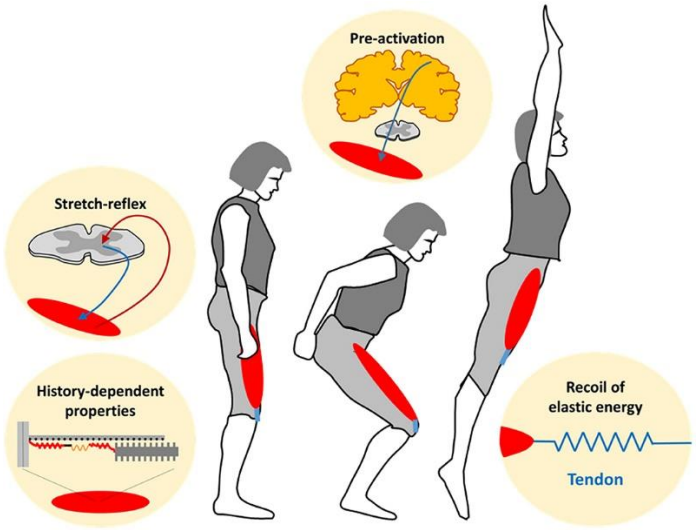
จากภาพจะเห็นได้ว่ายิ่งเราใช้เวลา (velocity) ในการออกแรงน้อยเท่าไร พลัง (force) ที่ได้จะมีมากขึ้น และจะลดลงตามลำดับเมื่อเราใช้เวลาในการออกแรงมากขึ้น พลังของกล้ามเนื้อนั้นมีหลายรูปแบบ การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาแต่ละแบบก็ต้องการพลังที่แตกต่างกันออกไป เช่นในการยกน้ำหนักที่มีน้ำหนักมาก ๆ หากเราต้องการยก 2–3 ครั้งเราจำเป็นที่จะต้องออกแรงมาก ๆ และยกช้า ๆ เพื่อที่จะสามารถยกน้ำหนักนั้นได้ 2–3 ครั้งตามที่ต้องการ แต่หากเราต้องการยืนกระโดดไกลให้ได้ระยะทางไปข้างหน้ามากที่สุด เราจำเป็นจะต้องย่อตัวและกระโดดไปข้างให้เร็วที่สุด เพื่อที่จะได้มีแรงมากพอในการส่งตัวของเราไปข้างหน้าให้ได้ระยะทางไกลที่สุด ซึ่งในกรณีนี้จำเป็นที่ต้องใช้พลังที่สูงมาก

พลังของกล้ามเนื้อส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมประเภทกระโดด ทุ่ม พุ่ง ขว้าง จะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อกล้ามเนื้อมีการหดตัวในลักษณะ ของวงจรยืดและหดสั้นอย่างทันทีทันใด (stretch shortening cycle/ SSC) คือมีการยืดความยาวของกล้ามเนื้อที่จะใช้งานยาวขึ้นและตามด้วยการหดตัว

สั้นลงอย่างทันที เหมือนการจับหนังยางยืดออกมาและเกิดการหดกลับอย่างทันทีทันใด เป็นการหดตัวแบบ Eccentric และตามการหดตัวแบบ Concentric ของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วและแรง (Kraemer& Looney, 2012) ตามภาพที่ 2-16

ภาพที่ 2-16 แสดงรูปแบบการฝึกความเร็วแบบต่าง ๆ

อ้างอิง (Seiberl et al.,2021)



พลังของกล้ามเนื้อสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้คือ (Bompa& Buzzichelli, 2015)

- พลังการทุ่ม/ พุ่ง/ ขว้าง (throwing power) เป็นพลังกล้ามเนื้อในการสร้างความเร็วให้กับสิ่งของจากจุดเริ่มต้นให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยสิ่งของเหล่านั้นจะมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นตลอดระยะทางของการเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้ระยะทางมากที่สุด

- พลังการกระโดด (take-off power) เป็นพลังกล้ามเนื้อแบบแรงระเบิด (explosive) เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งที่มีอัตราเร่งสูง การเคลื่อนไหวในลักษณะนี้อาจใช้การวิ่งมาด้วยความเร็วสูงหรือมีการย่อตัวก่อนกระโดด

- พลังเริ่มต้นการเคลื่อนที่ (starting power) เป็นความสามารถในการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็วได้มากสุดและเร็วที่สุด เพื่อเริ่มต้นเคลื่อนที่ด้วยแรงระเบิด สำหรับนักวิ่งระยะใกล้ นักว่ายน้ำระยะใกล้ หรือกีฬาต่าง ๆ ที่ต้องใช้ความเร็วในระยะทางจำกัด ควรมีสมรรถภาพทางกายด้านนี้ร่วมกับสมรรถภาพด้านเวลาปฏิกิริยาที่ดี

- พลังที่ใช้ในการชะลอความเร็ว (deceleration power) เป็นความสามารถในการชะลอความเร็วอย่างรวดเร็วสลับกับการเร่งความเร็ว หรือการชะลอความเร็วแล้วเปลี่ยนทิศทาง

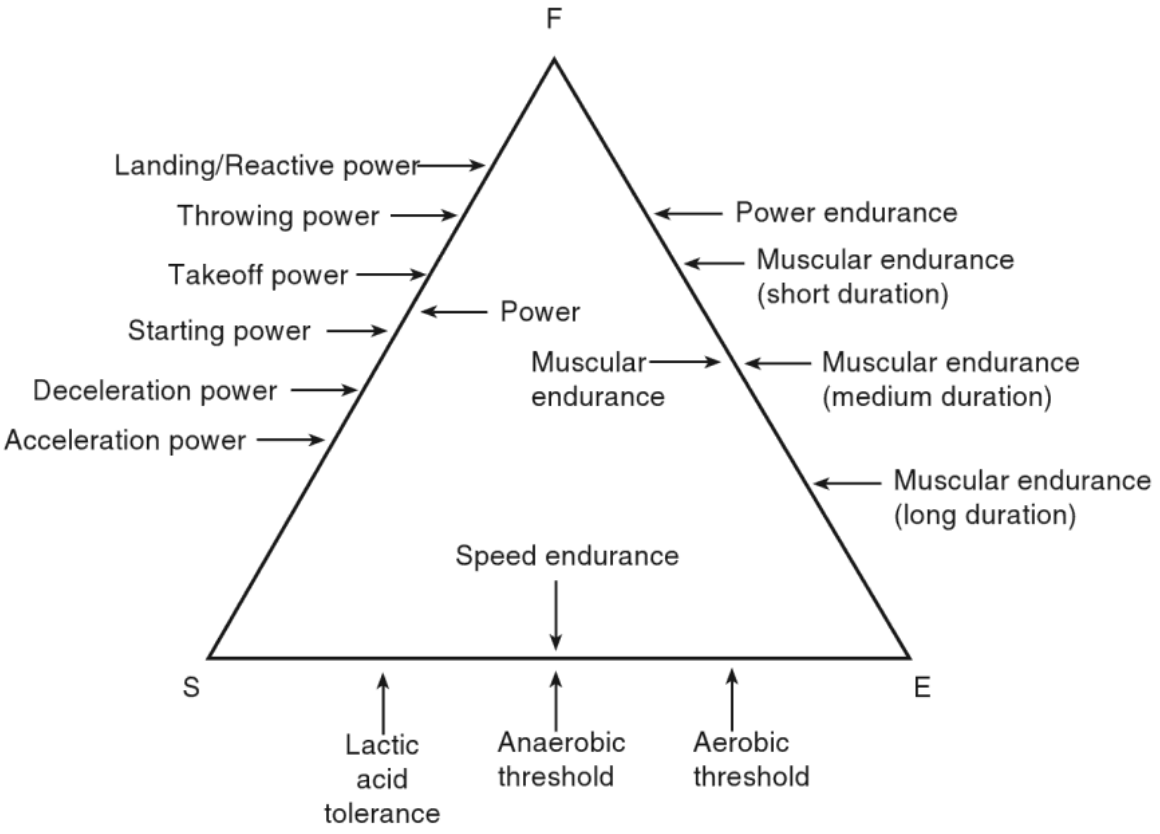
– พลังกล้ามเนื้อที่ใช้ในการเร่งความเร็ว (acceleration power) เป็นความสามารถในการระดมหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ให้มีความเร็วมากขึ้นกว่าการหดตัวครั้งล่าสุด ส่งผลให้กล้ามเนื้อเร่งความเร็วได้ในระดับสูงตามที่ต้องการ

– พลังในการลงสู่พื้นและเปลี่ยนทิศทาง (landing power) เป็นความสามารถในการลงสู่พื้นและเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวหรือกระโดดกลับขึ้นมาใหม่ พลังในการลงสู่พื้นและเปลี่ยนทิศทางนี้จะมีความเหมือนกับพลังในการชะลอความเร็ว

– พลังความอดทน (power endurance) เป็นความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อต่อสู้กับแรงต้านแบบซ้ำ ๆ เช่นในกีฬาบาสเกตบอล นอกจากนักกีฬาจำเป็นจะต้องกระโดดให้สูงเพื่อแย่งลูก (rebound) แล้วใน 1 เกมส์นักกีฬาอาจต้องกระโดดเพื่อเล่นในเกมส์ไม่ต่ำกว่า 200 ครั้ง

ภาพที่ 2–17 แสดงประเภทต่าง ๆ ของสมรรถภาพทางกายด้านพลังของกล้ามเนื้อ

อ้างอิง (Bompa& Buzzichelli, 2015)



2.8 ความคล่องตัวหรือความคล่องตัว (agility)

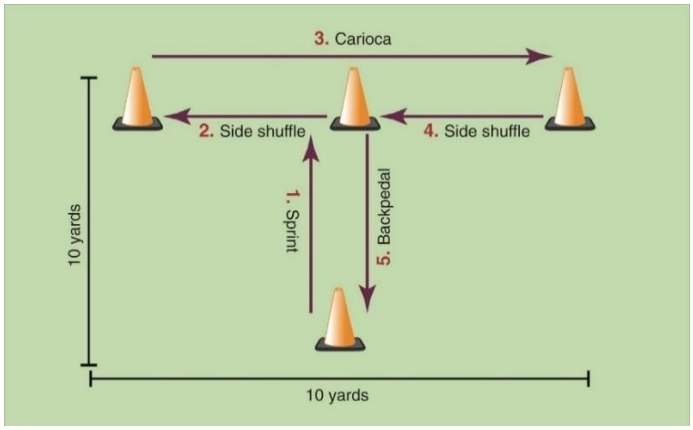
ความคล่องตัว คือความสามารถในการเปลี่ยนทิศทางได้อย่างรวดเร็วในขณะที่ยังคงมีความเร็วในการทำกิจกรรม (Chaabene et al, 2018; Zouhal et al., 2019) ดังนั้นผู้ที่มีความตัวดี คือผู้ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนทิศทางในการทำกิจกรรมได้ อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยที่ความเร็วและการออกแรงในการทำกิจกรรมลดลงน้อยที่สุด สามารถควบคุมความสมดุลของ การเคลื่อนไหวไว้ได้เช่น การวิ่งซิกแซ็ก วิ่งกลับตัว การหลบหลีก ความคล่องแคล่วว่องไว เกิดจากการทำงานประสานกันของทั้ง ความเร็ว พลังของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว และการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อ (Bompa& Buzzichelli, 2015) ผู้ที่มีความคล่องตัวดี จะมีปฏิกิริยาโต้ตอบต่อสิ่งกระกระตุ้นได้ดีจะมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ สูง สามารถเปลี่ยนทิศทางหรือหยุดได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การเคลื่อนไหวเป็นเป็นอย่างรวดเร็วและถูกต้อง สามารถแบ่งความคล่องแคล่วว่องไวออกได้ 3 ประเภท (Verstegen& Marcello, 2001; Gaurav et al., 2011) คือ

- การเปลี่ยนแปลงทิศทางของร่างกายในแนวนอน (Horizontal) เช่น การหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่าง ๆ
- การเปลี่ยนแปลงทิศทางของร่างกายในแนวตั้ง เช่น การกระโดด
- การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนไหวของอวัยวะที่ควบคุมสิ่งของ

สำหรับการฝึกความคล่องแคล่วว่องไวนั้นนิยมให้รูปแบบการฝึกแบบเอสเอคิว (speed, agility and quickness/ SAQ) ซึ่งเป็นระบบการฝึกผสมที่ออกแบบการเคลื่อนไหวเพื่อฝึกทั้งความเร็ว, ความคล่องตัวและความรวดเร็ว (Shapie& Rohizam, 2018) การฝึกแบบนี้นิยมใช้มากโดยเฉพาะในกลุ่มกีฬาที่ต้องการความคล่องตัวสูง

ภาพที่ 2-18 แสดงตัวอย่างสถานีฝึก T-Drill ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการฝึก SAQ

แหล่งที่มา https://blog.nasm.org/fitness/building-athletic-speed-agility-and-quickness-with-the-nasm-pes



2.9 สมดุลการทรงตัว (balance)

สมดุลการทรงตัวคือความสามารถในการรักษาหรือควบคุมสมดุลของร่างกายทั้งในขณะเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่ง โดยการทำงานประสานกันของระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ ระบบโครงร่าง ระบบความคิด (cognitive) และการรับรู้ความรู้สึกทางกาย (somatosensory) เป็นวงจรการประมวลผลระหว่างสมองกับระบบกล้ามเนื้อและระบบโครงร่าง (Guskiewicz& Perrin ,1996; Wallmann, 2009; Park& Lee, 2017; Shumway-Cook& Woollacott, 2017; Miranda-Cantellops, & Tiu, 2024) การทำงานดังกล่าวเป็นระบบที่มีหน้าที่รับรู้การเคลื่อนไหว ตำแหน่ง และการกระทำของร่างกาย (proprioception) (Aman et al. 2015; Han et al., 2016)

การควบคุมสมดุลการทรงตัวของร่างกาย ทำหน้าที่โดยตรงผ่านการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous systems/ CNS) และระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral nervous systems/ PNS) การทำงานดังกล่าวสอดคล้องกับการรับความรู้สึกจากการมองเห็น ซึ่งอยู่ในหูชั้นใน ร่วมกับการรับความรู้สึกภายในกล้ามเนื้อและข้อต่อ จากนั้นจะมีการประมวลผลและสั่งการจากสมองควบคุมการเคลื่อนไหว ท่าทาง การทรงตัวในลักษณะต่าง ๆ ในอยู่ในภาวะสมดุลหรือท่าทางที่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ (มณินทร รักษ์บำรุง, 2556; Ivanenko& Gurfinkel, 2018; Wallmann, 2009)

การทรงตัวช่วยให้บุคคลสามารถเคลื่อนไหวร่างกายและดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย (center of gravity/ COG) และ ฐานรองรับน้ำหนักของร่างกาย (base of support/ BOS) (Meseguer-Henarejos& et al., 2019) เช่นในขณะที่เรายืน ฐานรองรับน้ำหนักของร่างกายจะอยู่ระหว่างเท้าทั้ง 2 ข้าง หากเราแยกเท้ากว้างขึ้นฐานรองรับน้ำหนักก็จะกว้างขึ้นมีโอกาสล้มได้อยาก ในทางตรงกันข้ามถ้าเรายืนเท้าชิดกันฐานรองรับน้ำหนักก็จะแคบลงมีโอกาสล้มได้ง่าย ยิ่งถ้าเรายืนด้วยขาข้างเดียวฐานรองรับน้ำหนักก็จะแคบลงและล้มได้ง่ายมากขึ้น สมดุลการทรงตัวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Sharkey& Gaskill, 2006; Meseguer-Henarejos et al., 2019; Miranda-Cantellops& Tiu, 2024)

- การทรงตัวขณะอยู่กับที่ (static balance) หมายถึง ความสามารถในการรักษาความสมดุลของร่างกายในขณะอยู่กับที่ จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายจะคงอยู่ภายในฐานรองรับน้ำหนักของร่างกาย

- การทรงตัวขณะเคลื่อนที่ (dynamic balance) เป็นความสามารถในการรักษาความสมดุลของร่างกายในขณะที่เคลื่อนไหวอยู่โดยไม่เสียสมดุล จุดศูนย์ถ่วงของร่างกายจะคงอยู่ภายในฐานรองรับน้ำหนักของร่างกายขณะเคลื่อนที่

สมดุลการทรงตัวเป็นสมรรถภาพทางกายที่สำคัญมากอย่างหนึ่งทั้งในคนทั่วไป เด็กและโดยเฉพาะผู้สูงอายุพบว่าเมื่ออายุมากขึ้นจะมีการทำงานที่ลดลงของระบบรับรู้ตำแหน่งและการ

เคลื่อนไหว ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผล เป็นปัจจัยให้ขาดประสิทธิภาพในการควบคุมการทรงตัว (Ferlinc et al., 2019) เพิ่มความเสี่ยงจากการล้มของผู้สูงอายุ

การฝึกสมดุลการทรงตัวนั้นสามารถทำได้ทั้งในเด็ก คนทั่วไป และผู้สูงอายุ พบว่าการฝึกสมดุลการทรงตัวหรือการฝึกควบคุมการเคลื่อนไหว (active control) 3 ครั้ง/ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าสามารถช่วยลดการแกว่งตัวของร่างกาย (postural sway) จากการทดสอบด้วยการยืนขาเดียว (one–legged stance test) นอกจากนั้นยังพบว่าการฝึกสมดุลการทรงตัว 3 ครั้ง/ สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบด้วยการยืนขาเดียวและการทดสอบสมดุลการเคลื่อนไหวแบบรูปดาว (modified star excursion balance test) (Granacher et al, 2010; Heleno et al., 2016)

2.10 เวลาปฏิกิริยา (reaction time)

เวลาปฏิกิริยาคือระยะเวลาหรือว่าความเร็วที่ร่างกายตอบสนองต่อสิ่งเร้าภายนอก โดยครอบคลอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจนถึงจังหวะแรกของการเคลื่อนไหวอวัยวะหรือร่างกาย ซึ่งเป็นความสามารถและความเร็วของระบบประสาทส่วนกลาง ในรับสัญญาณและประสานให้มีการเคลื่อนไหวไปยังระบบประสาทส่วนปลาย PNS (Garg et al., 2013) ทั้งนี้เวลาปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงที่ร่างกายได้รับการกระตุ้นจากสิ่งกระตุ้น และมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสประสาทในระบบประสาทส่วนกลางแต่ยังไม่มีการเคลื่อนไหว (premotor time/ central reaction time)
2. ช่วงกล้ามเนื้อมีการทำงานเพิ่มมากขึ้นจากการสั่งการของกระแสประสาทจนเริ่มมีการเคลื่อนไหว เนื่องจากในช่วงนี้เป็นการทำงานของระบบประสาทส่วนปลาย (motor time/ peripheral reaction time)

การทดสอบเวลาปฏิกิริยาสามารถทำได้หลายแบบโดยทั่วไปจะแยกออกเป็น 3 ประเภทคือ (Badau et al., 2018; Kosinski, 2013)

1. การทดสอบด้วยการใช้สิ่งเร้าจากการกระตุ้นเพียงสิ่งเดียว เพื่อทดสอบการตอบสนองต่อสิ่งเร้านั้น (simple reaction time) เช่นการออกตัวของนักวิ่งเมื่อได้ยินเสียงปืน
2. การทดสอบแบบความจำโดยใช้การกระตุ้นหลายชนิด แต่ต้องตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่ถูกต้องเพียงสิ่งเดียวเท่านั้น จึงทำให้เกิดการตอบสนองที่ถูกต้องเพียงสิ่งเดียว (recognition reaction time)
3. การทดสอบที่ใช้สิ่งเร้าในการกระตุ้นหลายแบบ โดยจะต้องตอบสนองให้ถูกต้องกับสิ่งเร้าทุกแบบที่ได้รับการกระตุ้น (choice reaction time)

การตอบสนองในการทดสอบการทดสอบด้วยการใช้สิ่งเร้าจากการกระตุ้นเพียงสิ่งเดียว จะใช้เวลาในการตอบสนองน้อยที่สุด และการตอบสนองในการทดสอบแบบการทดสอบที่ใช้สิ่งเร้าในการกระตุ้นหลายแบบ จะใช้ระยะเวลามากที่สุด สำหรับการทำงานของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าสามารถแยกเป็นช่วงต่าง ๆ ได้ดังนี้ (Borysiuk et al., 2022)

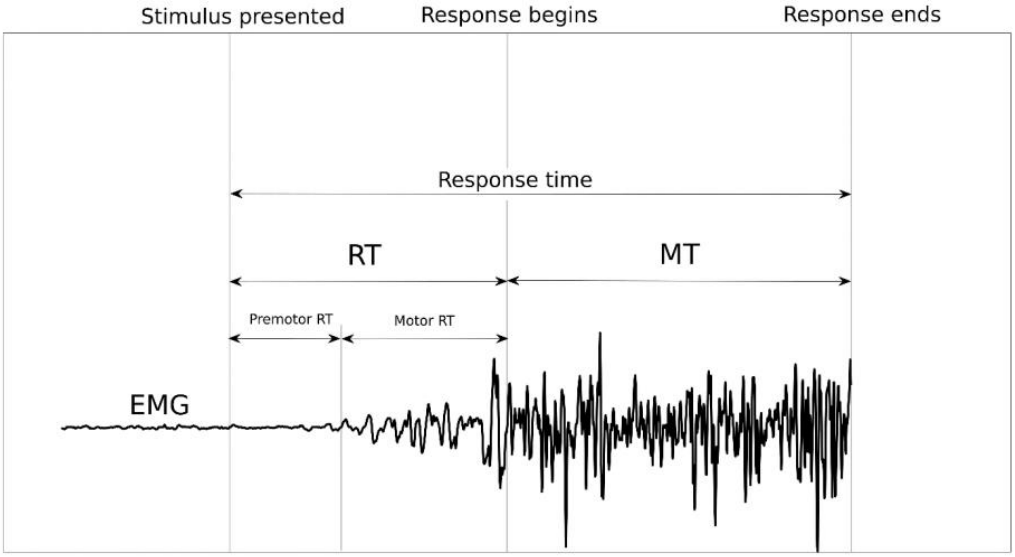
1. เวลาปฏิกิริยา (reaction time) คือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจนถึงจังหวะแรกของการเคลื่อนไหวอวัยวะหรือร่างกาย

2. เวลาการเคลื่อนไหว (movement time) หรือ คือเวลาตั้งแต่ร่างกายเริ่มมีการเคลื่อนไหวเพื่อตอบสนองต่อสิ่งจนถึงเวลาที่ร่างกายเคลื่อนไหวเสร็จสิ้น เป็นช่วงเวลาที่ต่อจาก Reaction Time

3. เวลาตอบสนอง (response time) หรือคือช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจนถึงเวลาที่ร่างกายเคลื่อนไหวเสร็จสิ้นเป็นช่วงเวลาที่ร่วมระหว่าง เวลาปฏิกิริยา กับ เวลาปฏิกิริยา ดังนั้น เวลาตอบสนอง = เวลาปฏิกิริยา + เวลาตอบสนอง

ภาพที่ 2-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Reaction time, Movement time และ Response time

อ้างอิง (Borysiuk et al., 2022)



ทั้งนี้ในทัศนะของผู้แต่งสมรรถภาพทางกายในด้านเวลาปฏิกิริยา (reaction time) ไม่ควรจะมีความหมายแค่ เวลาปฏิกิริยา แต่ควรจะหมายรวมถึงเวลาในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ (response time) ตั้งแต่ร่างกายรับรู้สิ่งเร้าจนสามารถหลบหลีกอุปสรรคที่เกิดขึ้นอย่างกระทันหันได้อย่างปลอดภัยหรือมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะในการดำเนินชีวิตประจำวันหรือจากการออกกำลังกายและเล่นกีฬาโดยเฉพาะกีฬาปะทะประเภทต่าง ๆ เช่น มวย, เทควันโด, ฟุตบอล หรือบาสเกตบอลเป็นต้น

2.11 การทำงานประสานกันของร่างกาย (co-ordination)

เป็นความสามารถในการใช้ระบบประสาทรับความรู้สึกเพื่อทำงานประสานกันกับกล้ามเนื้อและระบบโครงร่างได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังรวมไปถึงการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกายพร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้รูปแบบการเคลื่อนไหวและบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ เช่นการเต้นรำ การตี / เตะลูกฟุตบอล

โดยทั่วไปแล้วสมรรถภาพทางกายด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับการรับรู้ทางสายตา (Cameron et al., 2016) เช่นการทำงานประสานระหว่างตา กับ มือและเท้า เป็นส่วนใหญ่ การทำงานประสานกันของร่างกายนี้เราอาจเรียกอย่างไม่เป็นทางการว่า ความแม่นยำ ทั้งนี้เราสามารถแบ่งการทำงานประสานกันของร่างกายได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (Carlson et l., 2013; Kokštejn et al., 2017; Sutapa et al., 2021)

1. การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ (gross motor coordination) ไม่ว่าจะเป็นลำตัว แขนหรือขา ซึ่งเป็นกิจวัตรประจำวันโดยทั่วไปเช่นการเดิน การวิ่ง การยกสิ่งของเป็นต้น

2. การทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อที่อยู่ต่างอวัยวะกัน (fine motor coordination) เช่น ตากับมือ ตากับขา หรือแขนกับขา รวมไปถึงความสามารถในการเคลื่อนไหวของนิ้ว การหยิบจับเป็นต้น

การฝึกการทำงานประสานกันของร่างกาย เป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับคนทุกวัย ไม่ว่าในเด็กที่กำลังเจริญเติบโตซึ่งต้องการทักษะการเคลื่อนไหวเพื่อเสริมสร้างพัฒนาการในด้านต่าง ๆ ผู้ใหญ่ที่ต้องการประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวร่างกายในการทำกิจกรรมทางกายหรือเล่นกีฬา หรือในผู้สูงอายุที่ต้องรักษาหรือคงประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหวไว้ให้ได้มากที่สุด พบว่า การฝึก ครั้งละ 30 นาทีจะช่วยเพิ่มความจำในผู้สูงอายุ ช่วยเพิ่มความคล่องตัวและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาวัยรุ่น การฝึกการฝึกการทำงานประสานกันของร่างกาย ครั้งละ 20 นาที สัปดาห์ละ 2 ครั้งเป็นเวลา 12 สัปดาห์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในผู้สูงอายุได้ และลดอัตราการหกล้มในผู้สูงอายุได้ถึงร้อยละ 40 รวมถึงลดอาการบาดเจ็บข้อต่อและลดอาการปวดหลังล่างในผู้ที่ฝึกได้ (Dunsky et al., 2023; El-Khoury et al, 2013; González-Fernández et al., 2021; Saragiotto et al., 2016; Segev et al., 2019)

3. ความสำคัญ การประเมินและการให้คะแนนประสิทธิภาพของสมรรถภาพทางกายแนวทางใหม่ (Behm et al., 2026)

3.1 สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardiorespiratory fitness/ CRF)

- ความสำคัญ เป็นดัชนีชี้วัดสุขภาพรวมที่สำคัญที่สุด การเพิ่มขึ้นของ CRF ทุกๆ 1 MET ช่วยลดอัตราการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุลง 14% และลดเสียชีวิตจากโรคหัวใจลง 16%

- การประเมิน วิธีมาตรฐาน (gold standard) คือ การทดสอบด้วยระบบไหลเวียนโลหิตและการ

- ตามทัศนะผู้แต่งหากจำเป็นต้องมีการให้คะแนนจากการทดสอบสมรรถภาพทางกาย

กาย สมรรถภาพทางกายด้านนี้ควรมีคะแนนเต็ม 30 จาก 100 เนื่องจากว่า สมรรถภาพทางกายด้านนี้ตัวชี้วัดที่สำคัญที่สุดของสุขภาพโดยรวมและการมีอายุที่ยืนยาว งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าสมรรถภาพทางกายด้านนี้ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการลดความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากทุกสาเหตุ โดยเฉพาะจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด เบาหวานชนิดที่ 2 และมะเร็งหลายชนิด (Myers et al., 2015; Kokkinos& Myers, 2017) การมีสมรรถภาพทางกายในด้านนี้ดี จึงเป็นพื้นฐานของการมีสุขภาพที่ดีและการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้อย่างไม่เหนื่อยล้า

3.2 สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (muscular fitness)

– ความสำคัญ: รวมความแข็งแรง ความอดทน และพลังกล้ามเนื้อเข้าไว้ด้วยกัน ช่วยลดความเสี่ยงมวลกล้ามเนื้อน้อย (sarcopenia) ในผู้สูงอายุ เพิ่มความหนาแน่นของกระดูก ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และลดอาการปวดหลัง

– การประเมิน: การทดสอบแรงบีบมือ (handgrip), ทดสอบ 1RM (หรือคำนวณจาก submaximal), การลุก–นั่งจากเก้าอี้ (chair stand test), และการดันพื้น

– ตามทัศนะผู้แต่งหากจำเป็นต้องมีการให้คะแนนจากการทดสอบสมรรถภาพทางกาย กาย สมรรถภาพทางกายด้านนี้ควรมีคะแนนเต็ม 20 คะแนนจาก 100 แม้จะไม่ได้เชื่อมโยงกับอัตราการเสียชีวิตโดยตรงเหมือนสมรรถภาพทางกายด้านแรกแต่กล้ามเนื้อก็มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน (Activities of Daily Living; ADLs) เนื่องจากเป็นอวัยวะหลักในการเคลื่อนไหว ช่วยปรับปรุงการเผาผลาญพลังงานและการควบคุมน้ำหนักในระยะยาว (Garber et al., 2011; Pedersen& Saltin, 2015) ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อจึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการส่งเสริมให้มีสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดี

3.3 สัดส่วนร่างกาย (body composition)

– ความสำคัญ เน้น 2 ส่วนประกอบหลัก คือ มวลไขมัน (fat mass) และ มวลร่างกายปราศจากไขมัน (fat–free mass/ FFM) ซึ่งไขมันในช่องท้อง (visceral fat) และไขมันพอกตับ/กล้ามเนื้อเป็นตัวการหลักของโรคเมตาบอลิก ในขณะที่การรักษามวลกล้ามเนื้อ (FFM) ช่วยเพิ่มการเผาผลาญและชะลอการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร

– การประเมิน ดัชนีมวลกาย (BMI) ร่วมกับรอบเอว การวัดความหนาชั้นไขมัน (skinfold) และการวิเคราะห์ความต้านทานไฟฟ้าของร่างกาย (BIA)

– ตามทัศนะผู้แต่งหากจำเป็นต้องมีการให้คะแนนจากการทดสอบสมรรถภาพทางกาย กาย สมรรถภาพทางกายด้านนี้ควรมีคะแนนเต็ม 25 จาก 100 เนื่องจากว่า องค์ประกอบของร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนของไขมันในร่างกาย มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับความเสี่ยงของการเกิดโรค

โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) การมีไขมันในร่างกายมากเกินไป โดยเฉพาะไขมันที่สะสมในช่องท้อง (Visceral Fat) เป็นปัจจัยเสี่ยงหลักที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพ งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการรักษาสัดส่วนไขมันในร่างกายให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันและจัดการโรคเหล่านี้ (Romero-Corral et al., 2010; Piché et al., 2020) การประเมินองค์ประกอบของร่างกายจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการชี้บ่งความเสี่ยงด้านสุขภาพ

3.4 สมรรถภาพระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหว (neuromotor Fitness/ skill-related fitness)

- องค์ประกอบย่อย ประกอบด้วย การทรงตัว (balance), ความคล่องตัว (agility) และความเร็วในการเดิน (gait speed)
- ความสำคัญ การฝึกสมรรถภาพระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหว จะช่วยลดอัตราการล้มในผู้สูงอายุ เพิ่มการทำงานของสมองส่วนการคิดและการประสานงาน ชะลอภาวะสมองเสื่อม และช่วยให้ทำกิจวัตรประจำวัน (ADLs) ได้อย่างดียิ่งขึ้น
- การประเมิน: แบบทดสอบ Timed Up and Go (TUG), แบบทดสอบการทรงตัว (Berg balance scale) และการทดสอบเดิน 10 เมตร (10-meter walk test)
- ตามทัศนะผู้แต่งหากจำเป็นต้องมีการให้คะแนนจากการทดสอบสมรรถภาพทางกายกาย สมรรถภาพทางกายด้านนี้ควรมีคะแนนเต็ม 15 จาก 100 เนื่องจากว่าเป็นองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายที่ทำให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวและเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5 ความอ่อนตัว (Flexibility)

- ความสำคัญ มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (ROM) ที่เหมาะสมช่วยลดความเสี่ยงการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็น ลดอาการปวดหลัง และช่วยให้การทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เช่น การลุกขึ้นจากพื้น ทำได้สะดวก
- การประเมิน: การใช้อุปกรณ์วัดมุมข้อต่อ (goniometer), แบบทดสอบ นั่งเอื้อมตัว (sit-and-reach), และท่า Back Scratch Test
- ตามทัศนะผู้แต่งหากจำเป็นต้องมีการให้คะแนนจากการทดสอบสมรรถภาพทางกายกาย สมรรถภาพทางกายด้านนี้ควรมีคะแนนเต็ม 10 จาก 100 เนื่องจากแม้ความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตหรือโรคเรื้อรังต่าง ๆ ยังไม่ชัดเจนเท่าองค์ประกอบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายในด้านนี้ดีจะช่วยป้องกันการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ และร่างกายสามารถทำกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้งราบรื่น ช่วยเพิ่มคุณภาพชีวิตได้ขึ้น (Page, 2012)

4. หลักการนำองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบใหม่ไปประยุกต์ใช้

4.1 ทุกองค์ประกอบเชื่อมโยงกัน (interconnectedness): องค์ประกอบทั้ง 5 ไม่ได้แยกขาดจากกัน เช่น การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (resistance training) ส่งผลดีทั้งต่อ สมรรถภาพกล้ามเนื้อ, เพิ่ม มวลไร้ไขมัน, พัฒนา การทรงตัว และยังช่วยเพิ่ม ความอ่อนตัว ได้อีกด้วย

4.2 เน้นความเหมาะสมเฉพาะบุคคล (individualization): สมรรถภาพทางกายไม่ใช่เรื่องของมาตรฐานเดียวที่ใช้กับทุกคน (one-size-fits-all) เป้าหมายการฝึกขึ้นอยู่กับบริบทชีวิต

- ผู้สูงอายุ อาจเน้นไปที่สมรรถภาพระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหว และสมรรถภาพกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกันการล้มและรักษาการพึ่งพาตนเอง
- คนวัยทำงาน ผู้ที่ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ อาจเน้นหนักที่ CRF และ ความแข็งแรงของร่างกายท่อนล่าง
- สามารถใช้ได้กับคนวัยผู้ใหญ่ทุกคน องค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบใหม่นี้ออกแบบมาครอบคลุมผู้ใหญ่ทุกกลุ่ม ทั้งผู้ที่มีสุขภาพดี ผู้สูงอายุ ผู้พิการ หรือผู้ที่มีโรคประจำตัวเรื้อรัง แต่ไม่รวมถึงนักกีฬาระดับแข่งขันซึ่งต้องการโปรแกรมเฉพาะทาง

สรุป

สมรรถภาพทางกายของแต่ละบุคคลนั้นมีความเป็น ปัจเจก (individual) ไม่ควรนำมาเป็นข้อกำหนดในการตัดสินความสามารถของแต่ละบุคคล สมรรถภาพทางกายแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ และ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการเล่นกีฬา ทั้ง 2 ประเภทแยกออกเป็นด้านต่าง ๆ รวมกัน 11 ด้าน และเกี่ยวข้องกับระบบทางสรีรวิทยาที่สำคัญ ๆ ของร่างกาย ผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายที่ดีจึงเป็นผู้ที่สามารถดำเนินชีวิตประจำวันและมีสุขภาพที่ดี

ประทุม ม่วงมี (2527) เปรียบเปรยไว้ในหนังสือรากฐานทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและการพลศึกษาไว้อย่างน่าสนใจว่า ร่างกายมนุษย์สามารถเทียบเคียงได้กับเครื่องจักร ดังนั้น เมื่อ “เครื่องจักรมนุษย์ทำงาน” ระบบทางสรีรวิทยาต่าง ๆ จึงเป็นกลไกให้การทำงานนั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพเหล่านั้นจะแสดงออกมาได้จากระดับสมรรถภาพทางกายของเรา

ส่วนองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายของ ACSM แบบใหม่นั้น เป็นการก้าวข้ามกรอบความคิดเดิมที่เคยแยก "สุขภาพ" ออกจาก "ทักษะการเล่นกีฬา" และให้ความสำคัญเน้นย้ำว่า ทุกองค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายล้วนส่งผลต่อสุขภาพ คุณภาพชีวิต และประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวทั้งสิ้น ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถใช้โมเดลนี้เป็นแนวทางในการประเมินและออกแบบโปรแกรมการออกกำลังกายที่ยืดหยุ่น เหมาะสม และตรงกับความต้องการของบุคคลแต่ละคนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตารางสรุปเปรียบเทียบ โมเดลองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบเดิมและแบบใหม่ของ ACSM

โมเดลองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบเดิม		โมเดลองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายแบบใหม่	
สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (สุขขะสมรรถนะ)	**สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา (ทักษะสมรรถนะ)**	**องค์ประกอบหลัก 5 ด้าน (component)**	**องค์ประกอบย่อย (sub-component)**
1. ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio– respiratory endurance)	1. ความเร็ว (speed)	1. สมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (cardio-respiratory fitness)	
2. ความอดทนของกล้ามเนื้อ (muscular endurance)	2. พลังของกล้ามเนื้อ (muscle power)	2. สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (muscular fitness	2.1 ความแข็งแรง (strength) 2.2 ความอดทน (endurance) 2.3 พลัง (power)
3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscular strength)	3. ความคล่องตัว (agility)	3. องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)	3.1 มวลไขมัน (fat mass) 3.2 มวลร่างกายปราศจากไขมัน (fat-free mass)
4. ความยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility)	4. การทรงตัว (balance)	4. สมรรถภาพของระบบประสาทควบคุมการเคลื่อนไหว/ สมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับทักษะ (neuro motor fitness/ skill-related fitness)	4.1 ความเร็วในการเดิน (gait speed) 4.2 ความคล่องตัว (agility) 4.3 การทรงตัว (balance)
5. องค์ประกอบของร่างกาย (body composition)	5. การทำงานประสานกันของร่างกาย (coordination)	5. ความยืดหยุ่นหรือความอ่อนตัวของกล้ามเนื้อ (flexibility)	
	6. เวลาปฏิกิริยา (reaction time)		

รายงานการวิจัยของผู้แต่ง

Rukbumrung, T., Rugbumrung, M., Thurayot, A., Impanya, S., Chailert, P., & Tangchaisuriya, P. (2025). Comparison of resistance training frequencies (2, 3, and 4 days/week) on strength, body composition, and anthropometric measures in untrained young men: An equal–set, intensity–matched randomized controlled trial. Journal of Physical Education and Sport, 25(9), 1919–1930.

บรรณานุกรม

เจริญ กระบวนรัตน์. (2556). ประโยชน์และคุณค่าของการออกกำลังกายที่มีต่อร่างกาย. วารสารสุขศึกษา พลศึกษาและสันทนาการ. 39(2): 13–14.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด. (2544). ปทานานุกรมศัพท์กีฬาพลศึกษาและวิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ประทุม ม่วงมี. (2527). รากฐานทางสรีรวิทยา. กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์บูรพาสาส์น

มณินทร รักษ์บำรุง. (2556). วิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อสุขภาพทางกาย. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

สุพริต สมาหิโต และคณะ. แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับเด็กไทยอายุ 7–18ปี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สัมปชัญญะ, 2555.

Abdallah, A.A., Mohamed, N.A.& Hegazy, M.A. (2019). A comparative study of core musculture endurance and strength between SOCCER players with and without lower extremity sprain and strain injury. The International Journal of Sports Physical Therapy. 14(4). 525–536.

ACSM. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 10th Edition. Baltimore, Philadelphia: Wolters Kluwe, 2018.

Aertssen, W., Bonney, E., Ferguson, G.& et al. (2018). Subtyping children with developmental coordination disorder based on physical fitness outcomes. Human Movement Science. 60: 87–97.

Aguiar, L.T., Nadeau, S., Britto, R.R.& et al. (2018). Effects of aerobic training on physical activity in people with stroke: protocol for a randomized controlled trial. Trials 19, 446.

American Heart Association. (2022). American Heart Association recommendations for physical activity in adults and kids 2022. www.heart.org. Available at: https://www.heart.org/en/healthy–living/fitness/fitness–basics/aha–recs–for–physical–activity–in–adults

Aman, J.E., Elangovan, N., Yeh, I.L.& Konczak, J. (2015). The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review. Front Hum Neurosci. 8: 107.

Angane, E.Y.& Navre, A.A. (2015). Effects of Aerobic Exercise on Maximum Oxygen Uptake

(VO2max) in Healthy Adults. Medical Science. 4(5). 3–5.

Arias–Estero, J.L., Argudo, F.M.& Alonso, J.I. (2018). One–on–one situation decision–making according to equipment in youth basketball. Int J Sports Sci Coach.13(1): 72–7.

Arslan, F. (2011). Effects of step–aerobic dance exercise program on body composition. International SportMed Journal. 12(4): 160–168.

Aune, D., Schlesinger, S., Leitzmann, M.F.& et al. (2020). Physical activity and the risk of heart failure: a systematic review and dose–response meta–analysis of prospective studies. Eur J Epidemiol. 36(4):367–381.

Badau, D., Baydil, B.& Badau, A. (2018). Differences among Three Measures of Reaction Time Based on Hand Laterality in Individual Sports. Sports (Basel). 6(2): 45.

Banks, R. (2018). Muscle Spindles and Tendon Organs. Reference Module in Biomedical Sciences, Elsevier.

Battié, M.C., Levalahti, E., Videman, T.& et al. (2008). Heritability of lumbar flexibility and the role of disc degeneration and body weight. J Appl Physiol; 104(2): 379–85.

Behm, D.G., Kaminsky, L.A., Alhassan, S.& et al. (2026). The Components of Physical Fitness: A Roundtable Statement by the American College of Sports Medicine. Medicine & Science in Sports & Exercise, 58(8), 1827–1850. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003997

Bergh, U., Thorstensson, A., Sjodin, B.& et al. (1978). Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. Med Sci Sports. 10: 151–154.

Bompa, T.O.& Buzzichelli. (2015). Periodization training for sports 3rd Edition: Human Kinetics. p11.

Bompa, T.O.& Haff, G. G. (2009). Periodization: Theory and Methodology of Training 5th Edition: Human Kinetics.

Borysiuk, Z., a Błaszczyszyn, M. Piechota, K& et al. (2022). EMG structure, ground reaction forces as anticipatory indicators of the fencing lunge effectiveness. Arch Budo. 8: 13–22

Braith R.W., Graves J.E., Leggett S.H.& et al. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. Medicine and Science in Sports and Exercise 25, 132–138.

Britton, Ú., Issartel, J.& ohann, Fahey, G.& et al. (2019). What is health–related fitness? Investigating the underlying factor structure of fitness in youth. European Physical Education Review. 26(4): 782 – 796.

Brooks, G.A. (2012). Bioenergetics of exercising humans. Compr Physio.l 2: 537–562.

Brook, M.S., Wilkinson, D.J., Mitchell, W.K.& et al. (2015). Skeletal muscle hypertrophy adaptations predominate in the early stages of resistance exercise training, matching deuterium oxide–derived measures of muscle protein synthesis and mechanistic target of

rapamycin complex 1 signaling. FASEB J 29: 4485–4496.

Buchheit, M., Voss, S.C., Nybo, L. (2013). Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. Scand J Med Sci Sports. 21: e477–85.

Carlson, A.G., Rowe, E.& Curby, T.W. (2013). Disentangling fine motor skills' relations to academic achievement: The relative contributions of visual–spatial integration and visual–motor coordination. J. Genet. Psychol. 174: 514–533.

Cameron, C.E., Murrah, W.M., Cottone, E.A.& Grissmer, D.W. (2016). How are motor skills linked to children's school performance and academic achievement? Child Development Perspectives. 10(2): pp. 93–98.

Chaabene, H., Priesk, O., Negra, Y.& Granacher, U. (2018). Change of direction speed: toward a strength training approach with accentuated eccentric muscle actions. Sports Med. 48, 1773–1779.

Cheng, J.C., Chiu, C.Y.& Su, T.J. (2019). Training and Evaluation of Human Cardiorespiratory Endurance Based on a Fuzzy Algorithm. Int J Environ Res Public Health. 16(13): 2390.

Cherni, Y., Desseauve, D., Decatoire, A.& et al. Evaluation of ligament laxity during pregnancy. J Gynecol Obstet Hum Reprod. 48(5): 351–357.

Chodzko–Zajko, W.J., Proctor, D.N., Fiatarone Singh, M.A.& et al. (2009). Exercise and Physical activity for older adults. Medicine & Science in Sports and Exercise. 41(7): 1510–1530.

Coh, M., Ba˘ci´c, V.& Mackala, K. (2010). Biomechanical, neuromuscular and methodical aspects of running speed development. J Hum Kinet. 26. 73–81.

Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B.J.& Voight, M. (2014). Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function – part 1. Int J Sports Phys Ther. 9(3): 396–409.

Cormie, P., McGuigan, M.R.& Newton, R.U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1–biological basis of maximal power production. Sports Med. 41: 17–38.

Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W.& et al. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. J Appl Physiol. 40: 149–154.

Cruz–Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J.& et al. (2019). Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing. 48(1): 16–31.

Damas, F., Phillips, S.M., Lixandrao, M.E. & et al. (2016). Early resistance training–induced increases in muscle cross sectional area are concomitant with edema–induced muscle swelling. Eur J Appl Physiol 116: 49–56

Daussin, F.N., Zoll, J., Ponsot, E. (2008). Training at high exercise intensity promotes qualitative adaptations of mitochondrial function in human skeletal muscle. J Appl Physiol. 104(5): 1436–41

Deak, G., Miron, R., Astilean, A.& Domuta, C. (2010). Fuzzy based method for assessing the training level of nonathletes and athletes; Proceedings of the International Conference on Automation Quality and Testing Robotics; Cluj–Napoca, Romania. 28–30 May 2010; 1–5.

DeFreitas, J.M., Beck, T.W., Stock, M.S.& et al. (2011). An examination of the time course of Training induced skeletal muscle hypertrophy. Eur J Appl Physiol, 111: 2785–2790.

Dempsey, P.C., Handcock, P.J., & Rehrer, N.J. (2014). Body armour: the effect of load, exercise and distraction on landing forces. J Sports Sci, 32(4), 301–306.

Donges, C.E.& Duffield, R. (2012). Effects of resistance or aerobic exercise training on total and regional body composition in sedentary overweight middle-aged adults. Appl Physiol Nutr Metab, 37:499-509.

de Lira, C., Vargas, V., Silva, W.& et al. (2019). Relative Strength, but Not Absolute Muscle Strength, Is Higher in Exercising Compared to Non–Exercising Older Women. Sports (Basel). 7(1): 19.

Donges, C.E., Duffield, R., Guelfi, K.J.& et al. (2013). Comparative effects of single-mode vs. duration-matched concurrent exercise training on body composition, low-grade inflammation, and glucose regulation in sedentary, overweight, middle-aged men. Appl Physiol Nutr Metab, 38:779-88

Dunsky, A., Unger, L., Carasso, R.& Fox, O. (2023). The Effect of a Single Session of Balance and Coordination Training on Cognitive Function in Older Adults. Appl. Sci. 13: 3598.

El–Khoury, F., Cassou, B., Charles, M.A.& Dargent–Molina, P. (2013). The effect of fall prevention exercise programmes on fall induced injuries in community dwelling older adults: systematic review and meta–analysis of randomised controlled trials. BMJ. 29 (347): f6234.

Esfahani, P.S., Gharakhanlou, R., Karimian, J.& et al. (2013). Effect of resistance training on plasma nitric oxide and asymmetric dimethylarginine concentrations in type I diabetic rats. Int J Prev Med, 4 Suppl 1:S78-84.

Fatahi, A.& Sadeghi, H. (2014). Resistance, plyometrics and combined training in children and

adolescents' volleyball players: A review Study. J Sci Res Rep. 20: 2584–2610.

Ferlinc, A., Fabiani, E., Velnar, T.& et al. (2019). The Importance and Role of Proprioception in the Elderly: a Short Review. Mater Sociomed. 31(3): 219–221

Ferrè, E.R., Frett, T., Haggard, P. et al. A gravitational contribution to perceived body weight. Sci Rep 9, 11448 (2019). https://doi.org/10.1038/s41598-019-47663-x

Fletcher, G.F., Balady, G., Blair, S.N.& et al. (1996). Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all Americans. A statement for health professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. Circulation; 94: 857–862.

Flück, M.& Hoppeler, H. (2003) Molecular basis of skeletal muscle plasticity—From gene to form and function. Rev Physiol Biochem Pharmacol. 146: 159–216.

Folland, J.P.& Williams, A.G. (2007). Morphological and neurological contributions to increased strength. Sports Med 37: 145–168.

Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P.& et al. (2018). Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age–related diseases. Nat Rev Endocrinol 14: 576–590.

Fry, A.C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fiber adaptations. Sports Med 34: 663–679.

Fry, A.C., Schilling, B.K., Staron, R.S.& et al. (2003). Muscle fiber characteristics and performance correlates of male Olympic–style weightlifters. J Strength Cond Res. 17: 746–754.

Garber, C. E., Blissmer, B., Hamel, M. R.& et al. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 43(7), 1334–1359.

Garg, M., Lata, H., Walia, L.& Goyal, O. (2013). Effect of aerobic exercise on auditory and visual reaction times: a prospective study. Indian J Physiol Pharmacol. 57(2): 138–45.

Gaurav, V., Singh, S., Singh, M.& Rathi, B. (2011). A comparative study of arm and shoulder girdle strength and agility of college–level baseball pitchers and non–pitchers. Journal of Physical Education and Sports Management. 2(2): 17–20.

Gómez-Cabello, A., Vicente Rodríguez, G., Vila-Maldonado, S.& et al. (2012). Aging and body composition: The sarcopenic obesity in Spain. Nutr Hosp. 27: 22-30.

González–Fernández, F.T., Sarmento, H., Castillo–Rodríguez, A.& et al. (2021). Effects of a 10–Week Combined Coordination and Agility Training Program on Young Male Soccer Players.

Int J Environ Res Public Health. 18(19): 10125.

Gormley SE, Swain DP, High R& et al. (2008). Effect of intensity of aerobic training on VO2max Med Sci Sports Exerc. 40(7): 1336–43.

Granacher, U., Gollhofer, A., Kriemler, S. (2010). Effects of balance training on postural sway, leg extensor strength, and jumping height in adolescents. Res Q Exerc Sport. 81(3): 245–51.

Guskiewicz, K.M., & Perrin, D.H. (1996). Research and clinical applications of assessing balance. Journal of Sport Rehabilitation. 5: 45–63.

Haff, G, Triplett, N.T.& National Strength& Conditioning Association (U.S.). (2016). Essentials of strength training and conditioning (Fourth). Human Kinetics.

Hakkinen, K., Newton, R.U., Gordon, S.E.& et al. (1998). Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 53: 415–423.

Hammami, M., Negra, Y., Billaut, F.& et al. (2018). Effects of lower-limb strength training on agility, repeated sprinting with changes of direction, leg peak power, and neuromuscular adaptations of soccer players. J Strength Cond. Res. 32:37–47.

Han, J., Waddington, G., Adams, R.& et al. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. J Sport Health Sci. 5(1): 80–90.

Harris, R.C., Tallon, M.J., Dunnett, M.& et al. (2006). The absorption of orally supplied β-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. Amino Acids. 30: 279–289.

Hatfield, F.C. (2001). Fitness: The Complete Guide. Santa Barbara, CA: International Sports Sciences Association

Hayes, L.D., Grace, F.M., Sculthorpe, N.& et al. (2013). The effects of a formal exercise training programme on salivary hormone concentrations and body composition in previously sedentary aging men. Springerplus. 2:18

Heleno, L.R., da Silva, R.A., Shigaki, L.& et al. (2016). Five-week sensory motor training program improves functional performance and postural control in young male soccer players – a blind randomized clinical trial. Phys Ther Sport. 22: 74–80.

Hennessy, L.& Kilty, J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained Female athletes. J. Strength Cond. Res. 15: 326–333.

Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Kang, J.& et al. (2009). Effect of betaine supplementation on

power performance and fatigue. J Int Soc Sports Nutr. 6(7): 1–10.

Hoier, B.& Hellsten, Y. (2014). Exercise–induced capillary growth in human skeletal muscle and the dynamics of VEGF. Microcirculation21:301–14.

Hou, C.R., Tsai, L.C., Cheng, K.F.& et al. (2002). Immediate effects of various physical therapeutic modalities on cervical myofascial pain and trigger–point sensitivity. Arch Phys Med Rehabil. 83(10): 1406–14

Hunter, G.R., McCarthy, J.P., Bamman, M.M. (2004). Effects of resistance training on older adults. Sports Med. 34(5): 329–48.

Hunter, J.P., Marshall, R.N., & McNair, P.J. (2005). Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint–running acceleration. J Appl Biomech. 21(1): 31–43.

Hunter, S.K., Pereira, H.M., Keenan, K.G. (2016). The aging neuromuscular system and motor performance. J Appl Physiol. 121(4): 982–995.

Hughes, D.C., Ellefsen, S.& Baar, K. (2008). Adaptations to Endurance and Strength Training. Cold Spring Harb Perspect Med. 8: a029769.

Iaia, F.M.& Bangsbo, J. (2010). Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. Scand J Med Sci Sports. 20(Suppl 2): 11–23

Ivanenko, Y.& Gurfinkel, V.S. (2018). Human Postural Control. Front Neurosci. 12: 171.

Iwata, M., Yamamoto, A., Matsuo, S.& et al. (2019). Dynamic Stretching Has Sustained Effects on Range of Motion and Passive Stiffness of the Hamstring Muscles. J Sports Sci Med. 18(1): 13–20.

Izquierdo, M., Merchant, R.A., Morley, J.E. & et al. (2021). International Exercise recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. J Nutr Health Aging. 25(7): 824–853.

Jacobs, R.A., Flu¨ck, D., Bonne, T.C.& et al. (2013). Improvements in exercise performance with high–intensity interval training coincides with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. J Appl Physiol. 115: 785–793.

Jengab, S.C., Chang, C.W., Liu, W.Y. & et al. (2017). Exercise training on skill–related physical fitness in adolescents with intellectual disability: A systematic review and meta–analysis. Disability and Health Journal. 10(2): 198–206.

Joyner, M.J.& Coyle, E.F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. J Physiol. 586(Pt 1): 35–44.

Keiner, M., Sander, A., Wirth, K.& Schmidtbleicher D. (2014). Long–term strength training effects on change–of–direction sprint performance. J. Strength Cond. Res. 28: 223–231.

Kell, R.T., Bell, G.& Quinney, A. (2001). Musculoskeletal fitness, health outcomes and quality of life. Sports Med. 31(12): 863–73.

Kokkinos, P., & Myers, J. (2017). Cardiorespiratory fitness and cardiovascular mortality in men. Journal of the American College of Cardiology, 69(9), 1111–1118.

Kokštejn, J., Musálek, M., Šťastný, P.& Golas, A. (2017). Fundamental motor skills of Czech children at the end of the preschool period. Acta Gymnica. 47: 193–200.

Kosinski, R.J. A Literature Review on Reaction Time. Clemson University, 2013.

Kraemer, W.J.& Looney, D.P. (2012). Underlying Mechanisms and Physiology of Muscular Power. Strength & Conditioning Journal. 34(6): 13–19.

Knuttgen, H.G.& Kraemer, W.J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. J Strength Cond Res 1:1–10.

Kraemer, J.W., Ratamess, A.N., Volek, S.J.& et al. (2000). The effect of the Meridian Shoe on vertical jump and sprint performances following short-term combined plyometric/sprint and resistance training. J. Strength Cond. Res. 14: 228–238.

Levinger, I., Goodman, C., Hare, D.L.& et al. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. Journal of Science and Medicine in Sport 12 (3), 310–316.

Liu, C.J.& Latham, N.K. (2009). Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. Cochrane Database Syst Rev. 2009(3): CD002759.

Lustig, J.R.& Strauss, B.J.G. (2003). Body Composition. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition).

Mackala, K.& Fostiak, M. (2015). Acute effects of plyometric intervention—Performance improvement and Related changes in sprinting gait variability. J Strength Cond Res. 29: 1956–1965.

Maestroni, L., Read, P., Bishop, C. et al. Strength and Power Training in Rehabilitation: Underpinning Principles and Practical Strategies to Return Athletes to High Performance. Sports Med 50, 239–252 (2020).

Marwat, N. M., Aslam, H., Hussain, A.& et al. (2021). Calisthenics Training: Effects on Physical Fitness (Coordination, Flexibility and Endurance) Of Kabaddi Players, Palarch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology 18(1), 5212-5220.

McArdle, W.D., Katch, F.I.& Katch, V.L. (2006). Essentials of exercise physiology. Lippincott\ Williams& Wilkins. p. 204.

McBride, J.M., Blow, D., Kirby, T.J.& et al. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. J. Strength Cond. Res. 23: 1633–1636.

McTiernan, A., Friedenreich, C.M., Katzmarzyk, P.T.& et al. (2019). Physical Activity in Cancer Prevention and Survival: A Systematic Review. Med Sci Sports Exerc. 51(6): 1252–1261.

Medeiros, H.B., de Araújo, D.S.& de Araújo, C.G. (2013). Age-related mobility loss is joint-specific: an analysis from 6,000 Flexitest results. Age (Dordr). 35(6): 2399–407

Melissade, C.S.V., Leonessa, B., Alice, E.L.& et al. (2018). Effect of physical exercise on the cardiorespiratory fitness of men–A systematic review and meta-analysis. Maturitas. 115:23–30.

Mendonça, F.R., Ferreira de Faria, W., Marcio da Silva, J.& et al. (2022). Effects of aerobic exercise combined with resistance training on health-related physical fitness in adolescents: A randomized controlled trial. Journal of Exercise Science & Fitness. 20: 182–189.

Meseguer-Henarejos, A.B., Rubio-Aparicio, M., López-Pina, J.A., Carles-Hernández, R.& Gómez-Conesa, A. (2019). Characteristics that affect score reliability in the Berg Balance Scale: a meta-analytic reliability generalization study. Eur J Phys Rehabil Med. 55(5): 570–584.

Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., & Abella, J. (2015). Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. New England Journal of Medicine, 346(15), 1129–1136.

Miranda-Cantellops, N.& Tiu, T.K. (2024). Berg Balance Testing. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing: PMID: 34662032.

Mohammadi, H.R., Khoshnam, M.S.& Khoshnam, E. (2018). Effects of Different Modes of Exercise Training on Body Composition and Risk Factors for Cardiovascular Disease in Middle-aged Men. Int J Prev Med, 29;9:9.

Mola, D. W., Bayeta, G.T. (2020). Effect of circuit training on selected health-related physical fitness components: the case of sport science students. Turk J Kinesiol; 6(4): 142–148

Moore, J.C. (1984). The Golgi Tendon Organ: A Review and Update. American Journal of Occupational Therapy. 38: 227–236.

Morin, J.B., Bourdin, M., Edouard, P.& et al. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. Eur J Appl Physiol. 112(11). 3921–3930.

Naclerio, F.J., Colado, J.C., Rhea, M.R.& et al. (2009). The influence of strength and power on muscle endurance test performance. J Strength Cond Res. 23(5): 1482–8.

Nishikawa, Y., Aizawa, J., Kanemura, N.& et al. (2015). Immediate effect of passive and active stretching on hamstrings flexibility: a single-blinded randomized control trial. Journal of physical therapy science. 27(10): 3167–3170.

Olver, T.D., Ferguson, B.S.& Laughlin, M.H. (2015). Molecular mechanisms for exercise training-

induced changes in vascular structure and function: skeletal muscle, cardiac muscle, and the brain. Prog Mol Biol Transl Sci. 135:227–57.

Ortega, F.B., Cadenas-Sanchez, C., Lee, Duck-Chul& et al. (2018). Fitness and Fatness as Health Markers through the Lifespan: An Overview of Current Knowledge. Prog Prev Med (N Y). 3(2): e0013.

Page, P. (2012). Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. International Journal of Sports Physical Therapy, 7(1), 109–116.

Park, S.H.& Lee, Y.S. (2017). The Diagnostic Accuracy of the Berg Balance Scale in Predicting Falls. West J Nurs Res. 39(11): 1502–1525.

Park, S.K., Park, J.H., Kwon, Y.C.& et al. (2003). The effect of long-term aerobic exercise on maximal oxygen consumption, left ventricular function and serum lipids in elderly women. J Physiol Anthropol Appl Human Sci. 22(1): 11–7.

Pedersen, B. K., & Saltin, B. (2015). Exercise as medicine—evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 25(Suppl 3),1–72.

Perez-Gomez, J., Vicente-Rodríguez, G., Ara Royo, I.& et al. (2013). Effect of endurance and resistance training on regional fat mass and lipid profile. Nutr Hosp, 28:340-6.

Piché, M. E., Poirier, P., Lemieux, I., & Després, J. P. (2020). Is visceral obesity a true medical emergency? The Lancet Diabetes & Endocrinology, 8(3), 253–261.

Pinckard, K., Baskin, K. K.& Stanford, K. I. (2019). Effects of Exercise to Improve Cardiovascular Health. Front. Cardiovasc. Med. Volume 6; Article 69.

Plowman, S.A. & Meredith, M.D. (2013). Fitnessgram/Activitygram Reference Guide (4th Edition). Dallas, TX: The Cooper Institute.

Randáková, R. (2005). Effect of regular training on body composition and physical performance in young cross-country skiers: As compared with normal controls. Acta Univ Palacki Olomuc Gymn, 35:17-25.

Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K.& et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Medicine and Science in Sports and Exercise, 41(3), 687–708

Riebe, D., Baggish, A.L., Franklin, B.A.& et al. (2020). The New ACSM Recommendations for Preventing Cardiovascular Events at Fitness Facilities. ACSM's Health & Fitness Journal. 24(6): 10–17.

Rimmer, E.& Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometric intervention program on sprint performance. The Journal of Strength and Conditioning Research, 14(3), 295–301.

Romero-Corral, A., Somers, V. K., Sierra-Johnson& et al. (2010). Normal weight obesity: a risk factor for cardiometabolic dysregulation and mortality. European Heart Journal, 31(6), 737–746.

Roshan, V. D., Babaei, H., Hosseinzadeh, M.& Arendt-Nielsen, L. (2013). The effect of creatine supplementation on muscle fatigue and physiological indices following intermittent swimming bouts. J Sports Med Phys Fitness. 53(3): 232-239.

Roshanravan, B., Patel, K.V., Fried, L.F. & et al. (2017). Association of Muscle Endurance, Fatigability, and Strength With Functional Limitation and Mortality in the Health Aging and Body Composition Study. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 72(2): 284-291.

Ross, R., Blair, S.N., Arena, R.& at al. (2016). Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement from the American Heart Association. Circulation. 134 (24): e653–e699.

[1]Rugbumrung, M., Impanya, S., Thurayot, A., Rukbumrung, T.& et al. (2022). The effects of moderate intensity continuous and interval training on physical fitness in obesity. International Journal of Health Sciences, 6(S5), 8891–8901. 6(S5), 8891–8901. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS5.11799

[2]Rugbumrung, M., Impanya, S., Thurayot, A., Rukbumrung, T.& et al. (2022). The Quality of Life of the Ageing in Phayao Province. Journal of Positive School Psychology. 6(8): 1474-1480.

Sale, D.G., (1988). Neural adaptation to resistance training. Med Sci Sports Exerc 20: S135–S145

Salo, A., Bezodis, I.N., Batterham, A.M.& Kerwin, D.G. (2011). Elite sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant? Med. Sci. Sports Exerc. 43: 1055–1062.

Saltzman, E., Mogensen, K. M., (2013). Physical and Clinical Assessment of Nutrition Status. Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease (Third Edition).

Sanches, R.B.,Andrade-Silva, S.G., Fidalgo, J.P.N.& et al. (2016). Interdisciplinary therapy improves cardiorespiratory fitness and inflammatory markers in obese adult women. Obesity Medicine. 2: 1–7

Saragiotto, B.T., Maher, C.G., Yamato, T.P.& et al. (2016). Motor control exercise for chronic non-specific low-back pain. Cochrane Database of Systematic Reviews. 1: CD012004.

Schmidtbleicher, D. (1989). Structural Analysis of Strength Qualities. Trength Training: Structure, Priciple, And Methodology.

Schuch, F.B., Vancampfort, D., Firth, J.& et al. (2018). Physical Activity and Incident Depression: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. Am J Psychiatry. 75(7): 631-648.

Segev, D., Hellerstein, D., Carasso, R.& Dunsky, A. (2019). The effect of a stability and coordination training programme on balance in older adults with cardiovascular disease: a randomised exploratory study. European Journal of Cardiovascular Nursing. 18(8): 736-743.

Seiberl, W., Hahn, D., Power, G.A.& et al. (2021). The Stretch-Shortening Cycle of Active Muscle

and Muscle–Tendon Complex: What, Why and How It Increases Muscle Performance? Frontiers in Physiology. 12. Article 693141.

Selenica, L. (2023). Relationship Between Strength Skills Performance and Speed Running Performance. European Journal of Multidisciplinary Studies, 8(1), 42–50.

Seynnes, O.R., De Boer, M.& Narici, M.V. (2007) Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high–intensity resistance training. J Appl Physiol, 102: 368–373.

Shapie, M.N.M.& Rohizam, R.N.F.R. (2018). A Case Study: The Effects of Speed, Agility and Quickness (SAQ) Training Program on Hand–Eye Coordination and Dynamic Balance among Children. J Phy Fit Treatment & Sportsl 2(4): JPFMTS.MS.ID.555591

Sharkey, B.J.& Gaskill, S.E. (2006). Sport physiology for coaches. Champaigh, Illionis: Human Kinetic.

Shumway–Cook A, Woollacott MH. Motor control translating research into clinical practice. Baltimore, Philadelphia: Wolters Kluwe, 2017.

Skovgaard, C., Christiansen, D., Christensen, P.M. & et al. (2018). Effect of speed endurance training and reduced training volume on running economy and single muscle fiber adaptations in trained runners. Physiol Rep. 6(3): e13601.

Staron, R., Karapondo, D., Kraemer, W.& et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy–resistance training in men and women. J Appl Physiol (1985) 76: 1247–1255.

Stathokostas, L., McDonald, M.W., Little, R.M.& et al. (2013). Flexibility of older adults aged 55–86 years and the influence of physical activity. J Aging Res. 2013

Stiff, M.C. (2000). Supertraining. Supertraining Institute, Denver, CO

Styles W.J., Matthews M.J.& Comfort P. (2016). Effects of strength training on squat and sprint performance in soccer players. J. Strength Cond. Res. 30: 1534–1539.

Sutapa, P., Pratama, K.W., Rosly, M.M.& et al. (2021). Improving Motor Skills in Early Childhood through Goal–Oriented Play Activity. Children. 8: 994.

Swain, D.& Leutholtz, B. (2007). Exercise Prescription – 2nd Edition: A Case Study Approach to the ACSM Guidelines. Human Kinetics.

Takada, S., Okita, K., Suga, T.& et al. (2012). Blood flow restriction exercise in sprinters and endurance runners. Med. Sci. Sports Exerc, 44, 413–419.

Tremblay, M.S., Colley, R.C., Saunders, T.J.& et al. (2010). "Physiological and health implications of a sedentary lifestyle". Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 35(6), 725–40.

Verstegen, M.& Marcello, B (2001). Agility and Coordination. In: High Performance Sports Conditioning. B. Foran, ed. Champaign: Human Kinetics.

Vives, D. &J. Roberts.(2005).Quickness and Reaction Time Trainingfor Speed, Agility, and Quickness.Illinois: Human Kinetics.

Wahid, A., Manek, N., Nichols, M.& et al. (2016). Quantifying the Association Between Physical Activity and Cardiovascular Disease and Diabetes: A Systematic Review and Meta–Analysis. J Am Heart Assoc. 5(9): e002495.

Wallmann, H.W (2009). The Basics of Balance and Falls. Home Health Care Management & Practice. 21(6): 436–439

Weyand, P.G., Sternlight, D.B., Bellizzi, M.J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. J Appl Physiol. 89(5). 1991–1999.

Widrick, J.J., Stelzer, J.E., Shoepe, T.C.& Garner, D.P. (2002). Functional properties of human muscle fibers after short–term resistance exercise training. Am J Physiol. 283: R408–R416.

Willis, L.H., Slentz, C.A., Bateman, L.A.& et al. (2012). Effects of aerobic and/or resistance training On body mass and fat mass in overweight or obese adults. J Appl Physiol, 113:1831-7.

William, J. Kraemer, Costill, D.L., & Kenney L.W. (2008). Physiology of Sport and Exercise (4th ed). Hong Kong: Human Kinetics.

Wilmore, J.H., Costill, D.L.& Kenney, L.W. (2007). Physiology of sport and exercise. 4th edition Human Kinetics, Champaign.

Wilson, J.M., Loenneke, J.P., Jo, E.& et al. (2012). The Effects of Endurance, Strength, and Power Training on Muscle Fiber Type Shifting. Journal of Strength and Conditioning Research. 26(6): 1724–1729.

Zajac, A., Wilk, M., Socha, T. et al. (2014). Effects of growth hormone and testosterone therapy on aerobic and anaerobic fitness, body composition and lipoprotein profile in middle-aged men. Ann Agric Environ Med, 21:156-60.

Zanella, P.B., Alves, F.D.& de Souza, C.G. (2017). Effects of beta–alanine supplementation on performance and muscle fatigue in athletes and non–athletes of different sports: a systematic review. J Sports Med Phys Fitness. 57(9): 1132–1141.

Zierath, J.R.& Hawley, J.A. (2004). Skeletal Muscle Fiber Type: Influence on Contractile and Metabolic Properties. PLoS Biol 2(10): e348.

Zhang, Q., Trama, R., Fouré, A., & Hautier, C. A. (2020). The Immediate Effects of Self–Myofascial Release on Flexibility, Jump Performance and Dynamic Balance Ability. Journal of human kinetics. 75: 139–148.

Zouhal, H., Abderrahman, A.B., Dupont, G.& et al. (2019). Effects of Neuromuscular Training on Agility Performance in Elite Soccer Players. 10: Article 947.

บทที่ 3
กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาสำหรับการเคลื่อนไหว
Anatomical and Physiological for Movement

สมรรถภาพทางกายมีพื้นฐานมาจากระบบทางสีรรวิทยาและกายวิภาคของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์ (human) เป็นสิ่งมีชีวิตในสกุลโฮโม (Homo) อยู่ในสปีชีส์โฮโมเซเปียนส์ (Homo–Sapiens) หรือโฮโมเซเปียนส์–เซเปียนส์ (Homo–Sapiens Sapiens) และเป็นสปีชีส์เดียวในสกุลโฮโมที่ยังเหลือรอดไม่สูญพันธ์ มนุษย์ในปัจจุบันจัดเป็นกลุ่มมนุษย์ยุคใหม่ (modern human) ซึ่งมีหลักฐานยืนยันการค้นพบอยู่ในทวีปแอฟริกาเมื่อประมาณ 200,000 ปีที่แล้ว (Trinkaus, 2005) เมื่อประมาณ 5 – 7 ล้านปีก่อน มนุษย์เคยมีบรรพบุรุษร่วมกันกับชิมแพนซี ก่อนจะแยกสายวิวัฒนาการออกจากกันจนถึงปัจจุบัน (Chen & Li, 2001) นั่นทำให้ชิมแพนซีคือสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะทางกายภาพและพันธุกรรมใกล้เคียงมนุษย์มากที่สุด (McConkey& Varki, 2005)

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่านับตั้งแต่บรรพบุรุษสายตรงของมนุษย์กำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 200,000 ปีที่แล้ว และมีการผสมพันธ์ในลักษณะเครือญาติ (inbreeding) ในช่วงแรก ๆ หลังจากนั้นจึงสืบทอดเผ่าพันธ์รุ่นแล้วรุ่นเล่ามาจนถึงปัจจุบันได้ราว 7,000–8,000 รุ่น จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงทาง ดีเอ็นเอ ทำให้ได้ข้อสันนิษฐานว่ามนุษย์ทุกคนบนโลกใบนี้มีสายทางของจุดกำเนิดมาจากมนุษย์เพศหนึ่งเพียง 1 คน ที่ใช้ชีวิตอยู่ในทวีปแอฟริกาเมื่อเกือบ 2 แสนปีก่อน นักพันธุศาสตร์ตั้งชื่อให้เธอคนนั้นว่า ไมโตคอนเดรียล อีฟ (Mitochondrial Eve) (หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ, 2560)

แม้จะมีข้อสันนิษฐานว่ามนุษย์มีต้นกำเนิดมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน แต่มนุษย์ทุกคนบนโลกใบนี้ล้วนมีความแตกต่างทั้งในทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ และทางจิตใจไม่มากก็น้อย ดังนั้นการพัฒนาสมรรถภาพทางกายจึงจำเป็นต้องรู้พื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่ง หน้าที่ และการทำงานของอวัยวะที่ประกอบเป็นร่างกายของเรา เพื่อที่จะพัฒนาการฝึกให้เฉพาะเจาะจงตามความต้องการของแต่ละคนได้ หากพูดถึงโครงสร้างของร่างกาย จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางกายวิภาคศาสตร์ ที่มาจากคำว่า Anatomy โดยมีรากศัพท์มาจากคำ 2 คำคือคำว่า Ana ใช้ภาษาอังกฤษว่า “Apart” แปลว่า “ส่วนหรือส่วนแยก” และคำว่า Tomy ใช้ภาษาอังกฤษว่า“A cutting” รวมทั้ง 2 คำให้ความหมายว่า การตัดแยกเป็นส่วนๆ ดังนั้นกายวิภาคศาสตร์จึงเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับ โครงร่าง รูปร่าง และส่วนต่างของสิ่งมีชีวิต เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ในร่างกายที่มีต่อกัน ทั้งรูปร่างและตำแหน่ง ส่วนคำว่าสรีรวิทยา (physiology) มาจากคำในภาษากรีก 2 คำคือคำว่า (phúsis) ซึ่งแปลว่า “ธรรมชาติหรือจุดเริ่มต้น” และ (logía) ซึ่งแปลว่า “การศึกษาเกี่ยวกับ” เมื่อนำทั้ง 2 คำมารวมกันจะได้ความหมายว่าศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับกลไกและการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิต (Guyton& Hall, 2011; Prosser, 1991) ทั้งกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาถือเป็นศาสตร์ที่เป็นรากฐานสำคัญกับ

การศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ ซึ่งรวมไปถึงการศึกษาทางด้านพลศึกษาและวิทยาศาสตร์การกีฬา

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่ากายวิภาคศาสตร์จะช่วยให้เราเข้าใจตำแหน่ง, รูปร่างและการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว ส่วนสรีรวิทยาจะมีการประยุกต์การเรียนรู้ระหว่างสรีรวิทยาและสมรรถภาพทางกาย เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา (physiology of exercise and sport) ศึกษาผลของการออกกำลังกายและเล่นกีฬา ที่มีต่อระบบทางสรีรวิทยาของร่างกาย ร่วมไปถึงความเปลี่ยนแปลงของระบบทางสรีรวิทยาที่เกิดจากการฝึกสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ (Awtry& Balady, 2007) ดังนั้นการทำความเข้าใจผลของการออกกำลังกายและความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฝึกออกกำลังกายจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยตรงที่เกี่ยวข้องกับกับวิทยาศาสตร์ของสมรรถภาพทางกาย

1. หน่วยพื้นฐานของร่างกาย

เซลล์ (cell) คือหน่วยโครงสร้างการทำงานของสิ่งมีชีวิตที่เล็กที่สุด สิ่งมีชีวิตอาจจะประกอบขึ้นมาจากหลากหลายเซลล์ หรืออาจจะมีแค่เพียงสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ส่วนมนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่ประกอบจากเซลล์หลาย ๆ เซลล์ซึ่งรวมตัวกันขึ้นมาเพื่อเป็นทำหน้าที่เป็นโครงสร้างต่าง ๆ ของร่างกาย

1.1 อายุขัยของเซลล์

อย่างที่รู้กันว่าร่างกายคนเราเกิดจากเซลล์หลาย ๆ เซลล์ประกอบกันขึ้นมา เป็นโครงสร้างหรือส่วนต่าง ๆ ดังนั้นอายุของเซลล์ก็คือตัวกำหนดอายุของคนเราด้วย ในนิวเคลียสจะมีสารกำหนดรหัสพันธุกรรมหรือ DAN เป็นตัวกำหนดลักษณะเฉพาะของเผ่าพันธุ์ให้เป็นแบบฉบับของแต่ละบุคคล โมเลกุลของรหัสพันธุกรรมจะเรียงตัวกันเหมือนขั้นบันไดไปบนโครโมโซมทั้ง 23 คู่ ที่ปลายสุดของโครโมโซมจะมีดีเอ็นเอ ที่ชื่อเฉพาะว่า (Telomerase) ทำหน้าที่กำหนดอายุขัยของเซลล์ ซึ่งเป็นการกำหนดอายุขัยของแต่ละคน ในทุกครั้งที่เซลล์เกิดการแบ่งตัวความยาว (telomere length/ TL) จะหดสั้นลง นั้นหมายถึงอายุของเราจะลดลง ดังนั้นหากมีวิธีการใดที่ทำให้ TL หดสั้นช้าลงก็แสดงว่าเซลล์และร่างกายจะมีชีวิตที่ยืนยาวขึ้น

ในงานวิจัยที่ใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน (post-menopausal) สุขภาพดีจำนวน 63 คน พบว่ากลุ่มที่ไม่ออกกำลังกายหรือออกกำลังกายเบามีค่า TL หดสั้นกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ออกกำลังกายอย่างหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 ทั้งเป็นเพราะการออกกำลังกายมีผลในการลดความเครียดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งความเครียดมีผลโดยตรงกับการหดสั้นลงของ TL (Puterman & et al. 2010) หรืออาจการได้ว่าการออกกำลังกายที่เพียงพอจะช่วยชะลอการหมดอายุของเซลล์หรือทำให้เซลล์มีอายุที่ยืนยาวมากขึ้น

1.2 ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)

ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) คือ ออร์แกเนลล์ (organelle) ชนิดหนึ่งภายในเซลล์(cell) ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของเซลล์โดยการหายใจระดับเซลล์ นั่นหมายความว่า ไมโทคอนเดรียเป็นอวัยวะสำคัญของเซลล์ที่ทำให้เกิดพลังงานและทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้ มีการค้นพบว่าสารอาหารที่พบในอาหารบางชนิดสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไมโทคอนเดรียได้ (Shenoy et al., 2011) คือ

- โกโก้และชาพบสารที่มีชื่อเฉพาะว่า ฟลาโวนอลส์ (Flavanols)
- น้ำมันมะกอกพบสารที่มีชื่อเฉพาะว่า ไฮดรอกซีไทโรซอลเวลเนส (Hydroxytyrosol)
- แอปเปิลและหัวหอมพบสารที่มีชื่อเฉพาะว่า ควอซิทิน (Quercetin)
- องุ่นพบสารที่มีชื่อเฉพาะว่า เรสเวอราทรอล (Resveratrol)

จากการวิจัยพบว่าหากได้รับ ควอซิทิน ซึ่งพบในแอปเปิลและหัวหอม 500 – 1,000 mg เป็นประจำทุกวันจะทำให้ร่างกายลดอาการอักเสบหรือแพ้ (anti–inflammatory) นอกจากนั้นสารดังกล่าวยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ไมโทคอนเดรีย (Davis et al., 2009) นอกจากนี้พบว่าการให้ ควอซิทิน ในปริมาณ 500 mg วันละ 2 ครั้งเป็นเวลา 7 วัน จะทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ร้อยละ 4 และค่าเวลาความเหนื่อย (time to fatigue) ในการทดสอบด้วยจักรยานเพิ่มขึ้นร้อยละ 13 (Davis et al., 2010) แต่สำหรับในกลุ่มคนที่ไม่ได้รับการฝึก (untrained) ควอซิทิน อาจจะไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความอดทน (Cureton et al., 2009; Dumke et al., 2009)

ในการวิจัยที่ให้กลุ่มตัวอย่างได้รับสาร เรสเวอราทรอล พบว่าความสามารถในเชิงแอโรบิค (aerobic capacity) ที่วัดโดยเวลาในการวิ่งบนลู่วิ่งกลและค่าการใช้ออกซิเจนของกลุ่มตัวอย่างมีค่ามากขึ้นตลอดจนการทำงานของ ไมโทคอนเดรีย ก็มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Baur et al., 2006; Murase et al., 2009) ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานของไมโทคอนเดรียจึงสามารถสะท้อนประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิตและสะท้อนการเผาผลาญไขมันได้ดี นอกจากนั้นยังพบว่าชาว เมอร์ดิเตอร์เรเนียนที่รับประทานน้ำมันมะกอกอยู่เป็นประจำจะมีอัตราการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบไหลเวียนโลหิตและมะเร็งต่ำ (Ordovas et al., 2007; Ortega, 2006)

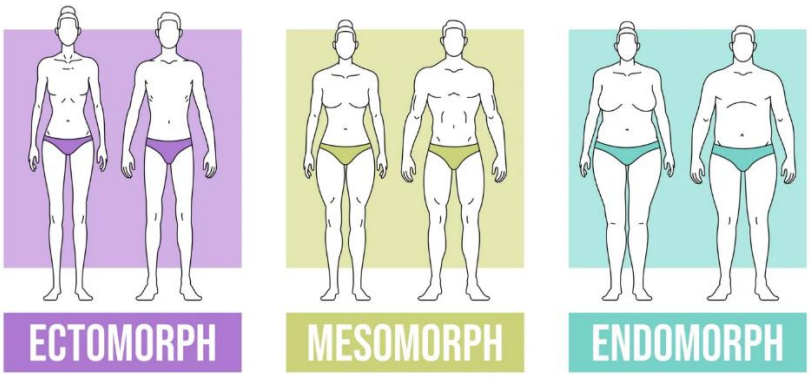
2. ลักษณะรูปร่างมนุษย์: Body types

หากจะศึกษากายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของสมรรถภาพทางกายเราจำเป็นจะต้องเข้าใจลักษณะรูปร่างของมนุษย์ควบคู่กันด้วย วิลเลียม เชลดอน (William Sheldon) นักทฤษฎีบุคลิกภาพ ซึ่ง

ทำการศึกษารูปร่างของมนุษย์ได้ทำการศึกษาและแบ่งลักษณะร่างกายพื้นฐานของมนุษย์เป็น 3 แบบ คือ (Sheldon's somatotype theory categorizes) (Jayaweera, 2024)

ภาพที่ 3-1 แสดงการแบ่งรูปร่างมนุษย์ตามหลักการของ William Sheldon

แหล่งที่มา https://vshred.com/blog/mesomorph-body-type/



2.1. เอนโดมอร์ฟ (endomorph)

ผู้ที่มีรูปร่าง เอนโดมอร์ฟ จะมีร่างกายขนาดใหญ่ เนื่องจากโครงสร้างกระดูกใหญ่ กล้ามเนื้อใหญ่ ทำให้มองเหมือนลวดลายของมัดกล้ามเนื้อมีความเท่ากันหมด สังเกตส่วนโค้งส่วนเว้าของร่างกายได้อยาก โดยทั่วไปจะมีไหล่แคบและสะโพกกว้าง นอกจากนั้นสัดส่วนความยากของแขนและขาจะสั้นเมื่อเทียบกับส่วนสูง โดยมีลักษณะของลำตัวรูป ตัวยู (U) หรือตัวโอ (O)

คนที่มีรูปร่างแบบนี้ มีอัตราการเผาผลาญ/ น้ำหนักตัวน้อยกับผู้ที่มีรูปร่างแบบอื่น ๆ ทำให้ร่างกายจะสะสมไขมันส่วนเกินได้ง่าย น้ำหนักตัวขึ้นเร็ว ไขมันสะสมบริเวณรอบเอวหรือหน้าอกมาก การออกกำลังกายของคนแบบนี้จะต้องเป็นการออกกำลังกายที่ไขมันส่วนเกินควบคู่กับการสร้างกล้ามเนื้อ เพื่อเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย และควรจะดูแลการหรือควบคุมปริมาณพลังงานที่ได้รับจากอาหารด้วย

2.2. เอกโตมอร์ฟ (ectomorph)

เป็นกลุ่มคนที่มีรูปร่างตรงกันข้ามกับผู้ที่มีรูปร่างแบบ เอกโตมอร์ฟ อย่างสิ้นเชิง เนื่องจากจะมีขนาดของกระดูกเล็ก ทำให้ดูผอม เป็นคนแขนขาเล็ก ไหล่แคบสะโพกแคบ มีการเผาผลาญพลังงานในร่างกายที่ดี ทำให้มีไขมันสะสมน้อย ทั้งนี้ทั้งนั้นในบางครั้งก็พบผู้ที่มีรูปร่างแบบนี้มีภาวะผอมมีพุง (skinny fat) กล้ามเนื้อมีนาดลีบเล็ก หน้าอกแบน จึงผู้ที่ทำให้ร่างกายดูผอมเพรียว แขนขายาวเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสูง มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปตัว (I)

สำหรับการออกกำลังกายของคนรูปร่างแบบนี้ เนื่องจากมีอัตราการเผาผลาญพลังงานที่สูงประกอบกับมีอัตราการสลายกล้ามเนื้อมากด้วย ทำให้การออกกำลังกายส่งผลได้อยากและต้องใช้เวลานาน ต้องเน้นการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างกล้ามเนื้อด้วยแรงต้าน และอาจจำเป็นต้องเสริมทางด้านโภชนาการด้วยการเพิ่มสัดส่วนการบริโภคโปรตีนทั้งจากมื้ออาหารปกติ หรือบริโภคอาหารเสริมแบบต่าง ๆ เช่น เวย์โปรตีน และควรออกกำลังกายประเภทคาร์ดิโอ ที่ระดับความหนักของการพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ

2.3 เมโซมอร์ฟ (mesomorph)

เป็นรูปร่างในอุดมคติที่ทุกคนต้องการ คนประเภทนี้จะมีโครงกระดูกขนาดปานกลาง สามารถพัฒนามวลกล้ามเนื้อได้ดีและลดไขมันได้ดี ทำให้ร่างกายดูสมส่วน มีลวดลายของมัดกล้ามเนื้อที่ชัดเจน ไหล่กว้าง อกใหญ่ ลำตัวเรียว เอวเล็ก มีไขมันน้อยถึงปานกลางตามเกณฑ์ของแต่ละช่วงอายุ ร่างกายส่วนบนมีลักษณะรูปตัววี (V) แม้จะมีขนาดรูปร่างทางกายที่ดีแต่คนประเภทนี้ก็มีแนวโน้มที่จะน้ำหนักเกินได้

การออกกำลังกายของคนรูปร่าง เมโซมอร์ฟ สามารถทำได้แทบทุกชนิดแต่ควรให้มีความสมดุลทั้งการออกกำลังกายแบบ แอโรบิก และ แอนแอโรบิก และควรดูแลเรื่องโภชนาการควบคู่กันไปด้วย

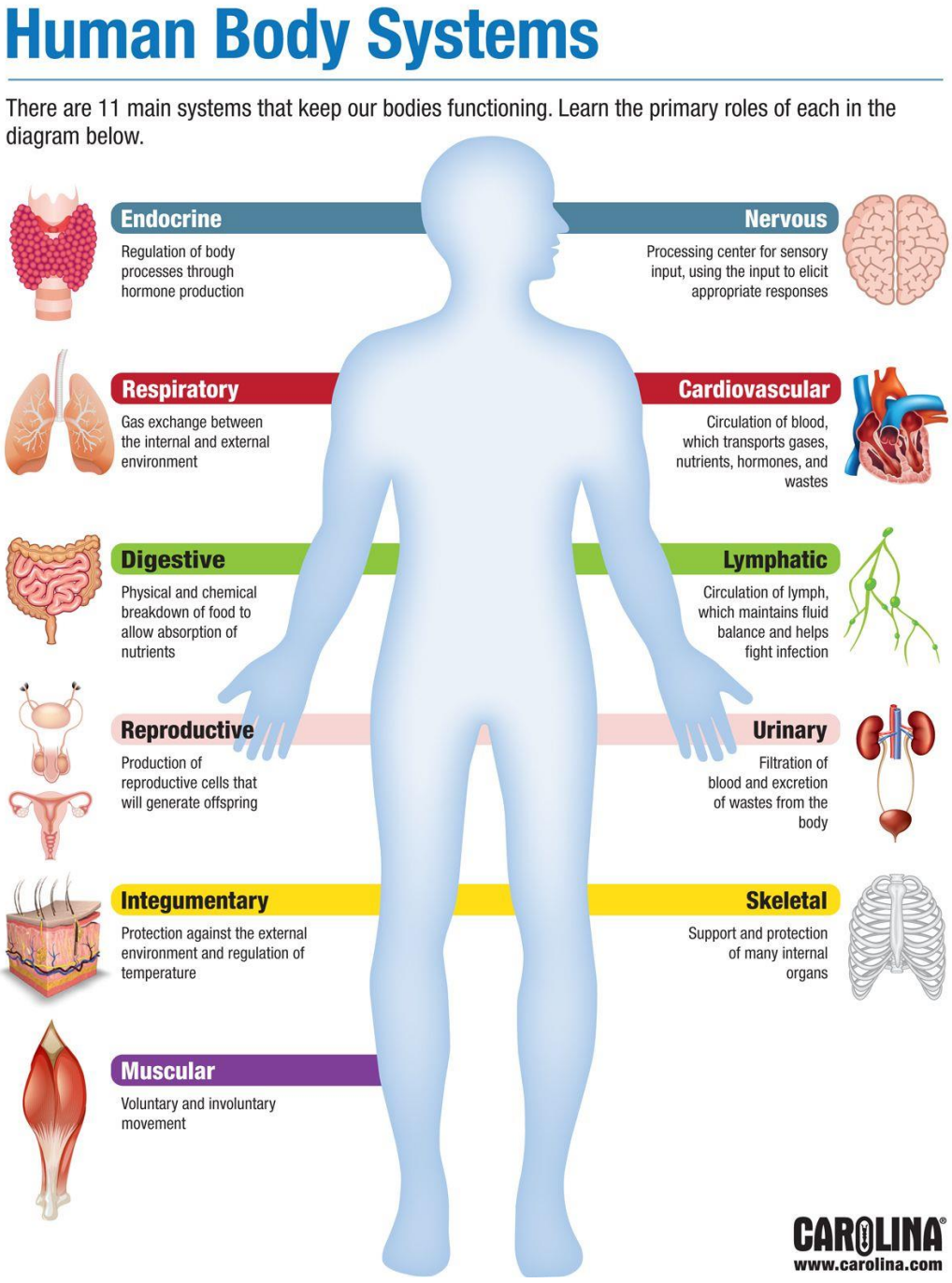
3. ระบบทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว

ร่างกายมนุษย์ประกอบขึ้นจากเซลล์หลายๆ เซลล์ซึ่งรวมเป็นอวัยวะ และหลาย ๆ อวัยวะรวมเป็นระบบทางสรีรวิทยาโดยทั่วไปประกอบไปด้วยระบบ 10 ระบบคือ

1. ระบบประสาท (nervous system)
2. ระบบกระดูก (skeletal system)
3. ระบบกล้ามเนื้อ (muscular system)
4. ระบบไหลเวียนโลหิต (cardio–vascular system)
5. ระบบหายใจ (respiratory system)
6. ระบบย่อยอาหาร (digestive system)
7. ระบบขับถ่ายของเสีย (urinary system)
8. ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system)
9. ระบบภูมิคุ้มกัน (immune system)
10. ระบบระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system)

ภาพที่ 3-2 แสดงระบบต่าง ๆ ทางสรีรวิทยาของมนุษย์

แหล่งที่มา https://www.pinterest.com/pin/401664860502563315/



การเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะการออกกำลังกายและเล่นกีฬานั้น ระบบต่าง ๆ จะทำงานสอดคล้องกันเพื่อให้การเคลื่อนไหวร่างกายเป็นไปอย่างราบรื่น แต่จะมีระบบทางสรีรวิทยาหลัก ๆ ที่เป็นระบบนำในการเคลื่อนไหวของร่างกายคือ ระบบกล้ามเนื้อและระบบโครงร่าง

ของร่างกาย (musculoskeletal system) เป็น 2 ระบบนำที่ช่วยให้ร่างกายมีความสามารถในการเคลื่อนไหว และสัมพันธ์กับระบบทางสรีรวิทยาอื่น ๆ คือ

1. ระบบกล้ามเนื้อ (muscular system)
2. ระบบกระดูกหรือระบบโครงร่างของร่างกาย (skeleton system)
3. ระบบประสาท (nervous system)
4. ระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต (cardio – respiratory system) เป็นระบบที่ช่วยในการสร้างพลังงานในการทำงานของร่างกาย และช่วยกำจัดของเสียและระบบความร้อนที่เกิดจากการทำงานของร่างกาย เกี่ยวข้องกับระบบทางสรีรวิยา 2 ระบบคือ
   4.1 ระบบหายใจ (respiratory system)
   4.2 ระบบไหลเวียนโลหิต (cardiovascular system)
5. ระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine)

4. คำศัพท์พื้นฐานทางกายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา

ในการประยุกต์ความรู้ทางกายวิภาคศาสตร์เพื่อใช้ในการฝึกร่างกาย เราจำเป็นจะต้องเข้าใจคำศัพท์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกายสำคัญ ๆ ดังนี้

– Abduction	หมายถึง	การกางแขน – ขาออกจากลำตัว
– Adduction	หมายถึง	การหุบแขน – ขาเข้าสู่ลำตัว
– Extension	หมายถึง	การเหยียด เป็นการเคลื่อนไหว กระดูกสันหลัง, กระดูกแขนหรือขา
– Hyperextension	หมายถึง	การเหยียดที่มากกว่าปกติ
– Flexion	หมายถึง	การงอ เป็นการเคลื่อนไหว กระดูกสันหลัง, กระดูกแขนหรือขา
– Hyperflexion	หมายถึง	การงอที่มากกว่าปกติ
– Plantarflexion	หมายถึง	การงอข้อเท้าลง
– Dorsiflexion	หมายถึง	การกระดกข้อเท้าขึ้น
– Pronation	หมายถึง	การคว่ำ เช่นการคว่ำมือ
– Supination	หมายถึง	การหงาย เช่นการหงายมือ
– Rotation	หมายถึง	การหมุนหรือการเอี้ยว
– Circumduction	หมายถึง	การหมุนเป็นวงกลม เป็นการเคลื่อนไหวแบบ flexion– abduction– extension–adduction

		ต่อเนื่องกัน
– Elevation	หมายถึง	การยกขึ้น เช่นการยกสะบัก
– Depression	หมายถึง	การกดลง เช่นการกดสะบัก
– Inversion	หมายถึง	การบิดฝ่าเท้าเข้าด้านใน
– Eversion	หมายถึง	การบิดฝ่าเท้าออกด้านนอก
– Static	หมายถึง	การหยุดนิ่ง ไม่ขยับ

5. ท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomical position)

การศึกษาทางกายวิภาคศาสตร์เป็นการศึกษา โครงร่าง รูปร่าง และตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ภายในร่างกาย แต่ร่างกายมนุษย์มีการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนทางท่าในการดำเนินชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนกับการกำหนดท่าทางและชื่อให้ตำแหน่งต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดท่าทางมาตรฐานขึ้นมาเพื่อให้อธิบายส่วนต่าง ๆ ให้เข้าใจตรงกัน

ภาพที่ 3-3 แสดงท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์

แหล่งที่มา http://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=anatomical-planes-body-cavities-quiz



ท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ เป็นท่าทางการยืนตัวตรง ตามองตรงไปด้านหน้า แขนสองข้างปล่อยตรงเหยียดแนบข้างลำตัว ฝ่ามือหงายออกด้านหน้า เท้าทั้ง 2 ข้าง ชิดและแยกห่างกันเล็กน้อย และเรายังใช้ท่านี้เป็นท่าทางอ้างอิงพื้นฐานในการฝึกออกกำลังกายด้วย

6. ระนาบทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomical plane)

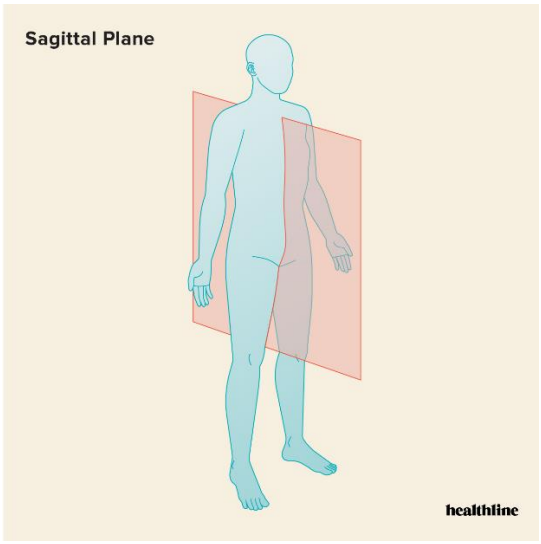
จากที่กล่าวมาแล้วว่าท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ เป็นท่าทางที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งของอวัยวะและใช้อ้างอิงท่าทางในการออกกำลังกาย การที่เราอยู่ในท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์จะทำให้เราสามารถกำหนดระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกายออกได้เป็น 3 ระนาบ (Neuman, 2010) ซึ่งระนาบเหล่านี้ ช่วยอธิบายแนวการเคลื่อนไหวของร่างกาย ของท่าทางในการทำกิจกรรมและการออกกำลังกาย

6.1 ระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane)

เป็นเส้นสมมุติในแนวตั้งหรือแนวดิ่งที่ลากผ่านร่างกายจากด้านหลังไปด้านหน้า แบ่งร่างกายออกเป็นซีกซ้าย–ขวา เท่า ๆ กัน และจะเคลื่อนไหวรอบแกนตามขวาง (frontal/ transverse axis)

ภาพที่ 3–4 แสดงระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane)

แหล่งที่มารูปภาพ https://www.healthline.com/health/body–planes



การเคลื่อนไหวของร่างกายที่จัดอยู่ในระนาบนี้ เป็นการเคลื่อนไหวที่แนวของอวัยวะเช่น แขนและขา มีทิศทางไปด้านหน้า ด้านหลัง เคลื่อนไหวขึ้น หรือเคลื่อนไหวลง เช่น การงอ (flexion) หรือการเหยียด (extension) ของข้อศอก การกระดกปลายเท้า (dorsi flexion) การกระดกปลายเท้าลง (plantar flexion), การก้มตัวไปข้างหน้า (flexion), การเหยียดตัวไปข้างหลัง (extension)

6.1.1 สควอช (squat)

สควอช เป็นท่าทางในการออกกำลังกายที่ร่างกายเคลื่อนที่ในแนวระนาบหน้า – หลัง เนื่องจากระหว่างการทำท่าร่างกายส่วนบนเหนือเอวจะอยู่นิ่ง การเคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นที่ร่างกายส่วนล่าง เป็นการย่อ (งอ) และยืด (เหยียด) โดยการเคลื่อนที่ของหัวเข่าและสะโพก ร่างกายส่วนบนจะทรงตัวในขณะที่ร่างกายส่วนร่างกายเคลื่อนที่ (เมื่อย่อตัวลงถึงพื้น) และยืดตัว (เมื่อยืนขึ้น) ที่ข้อเท้าหัวเข่าและสะโพก หากลองจินตนาการว่าร่างกายมีแผ่นบาง ๆ ลากผ่านร่างกายจากด้านหลังไปด้านหน้าในการทำท่า Squat จะเห็นว่ามีการงอและยืดของสะโพกและเข่า แต่ร่างกายจะไม่มีการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา หรือไม่มีการหมุนตัว

ภาพที่ 3-5 แสดงท่า Squat





6.1.2 ไบเซปเคิร์ล (bicep curl)

ในท่านี้แขนจะเกิดการงอและเหยียดจากการเคลื่อนไหวของข้อศอก โดยที่ลำตัวด้านล่างจะอยู่นิ่ง และร่างกายจะไม่มีการเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา หรือไม่มีการหมุนตัว

ภาพที่ 3-6 แสดงท่า Bicep curl

แหล่งที่มา





6.1.3 การออกกำลังกายอื่น ๆ ที่อยู่ในระนาบหน้าหลัง

นอกจากท่าสควอช และ ไบเซปเคิร์ล แล้วยังมีการออกกำลังกายอื่น ๆ ที่จัดว่าเป็นการออกกำลังกายที่อยู่ในระนาบหน้า-หลัง ทั้งนี้การออกกำลังกายที่มีการเคลื่อนไหวในระนาบนี้ส่วนมากเป็นการออกกำลังกายที่เคลื่อนไหวของข้อต่อของแขนและขาแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อเดียว (isolated exercises) เป็นการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือกลับมาด้านหลัง หรือการเคลื่อนที่ขึ้นและลง การเคลื่อนไหวของข้อต่อแขนและขานี้ จะต้องไม่มีการเคลื่อนไหวของกระดูกส่วนสันหลังมาร่วมด้วย จะพบว่าอุปกรณ์ประเภทเครื่องยกนำหนัก (machine weight) เกือบร้อยละ 90 เป็นอุปกรณ์ออกกำลังกายที่ทำให้ร่างกายเคลื่อนไหวอยู่ในระนาบระนาบหน้า – หลัง นอกจากนั้นยังมีการออกกำลังกายเช่น การยืนกระโดดไกล (standing long jump) การฝึกกล้ามเนื้อไตรเซปแบบกดลง (triceps pushdowns) ท่าก้าวไปข้างหน้า (forward lunge) ยืนยกน่อง (calf raises) การเดิน-การวิ่ง การขึ้นบันได เป็นต้น

6.2 ระนาบด้านข้าง (frontal/ lateral plane)

เป็นเส้นสมมุติในแนวตั้งหรือแนวดิ่งที่ลากผ่านร่างกายจากด้านข้างหนึ่งไปยังร่างกายอีกด้านหนึ่ง แบ่งร่างกายออกด้านหน้าและด้านหลังเท่า ๆ กัน และจะเคลื่อนไหวรอบแกนหน้า – หลัง (sagittal axis)

ภาพที่ 3-7 แสดงระนาบด้านข้าง (frontal/ lateral plane)

แหล่งที่มา https://www.healthline.com/health/body-planes



การเคลื่อนไหวของร่างกายที่จัดอยู่ในระนาบนี้ เป็นการเคลื่อนไหวที่แนวของอวัยวะที่มีลักษณะ กาง(abduction) หุบ(adduction) หรือการยก (elevation) และกดลง (depression) ของวงไหล่หรือสะบัก (shoulder girdle) และการยกบริเวณนิ้วก้อยเท้าขึ้น (eversion) การยกบริเวณหัวแม่เท้าขึ้น (inversion)

6.2.1 การกางแขนหรือขาออกด้านข้าง (lateral arm or leg raises)

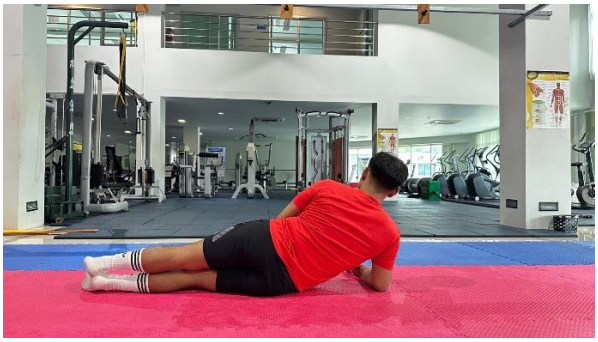
ตัวอย่างที่ชัดเจนที่สุดของการออกกำลังกายในระนาบด้านข้างคือ ท่ากางแขนด้านข้าง (lateral arm raises) และ ท่ากางขาด้านข้าง (lateral leg raises) ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่มีการยกขาหรือยกแขนไปด้านข้าง การออกกำลังกายดังการเป็นจังหวะการทำงานแบบกางและหุบของไหล่และสะโพกตามลำดับ

ภาพที่ 3-8 แสดงท่า Lateral arm raises





ภาพที่ 3-9 แสดงท่า Lateral leg raises





6.2.2 การออกกำลังกายอื่น ๆ ที่อยู่ในระนาบด้านข้าง

หากจะพิจารณาว่าท่าทางการออกกำลังกายใดที่มีการเคลื่อนไหวในแนวระนาบด้านข้าง จะดูจากการที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง (spine) ไปด้านข้าง, มีการเอนตัวไปด้านข้าง, มีการกาง-หุบมือหรือขา,หรือมีการเคลื่อนที่ไปด้านข้างเช่น ท่าเอียงตัวด้านข้าง

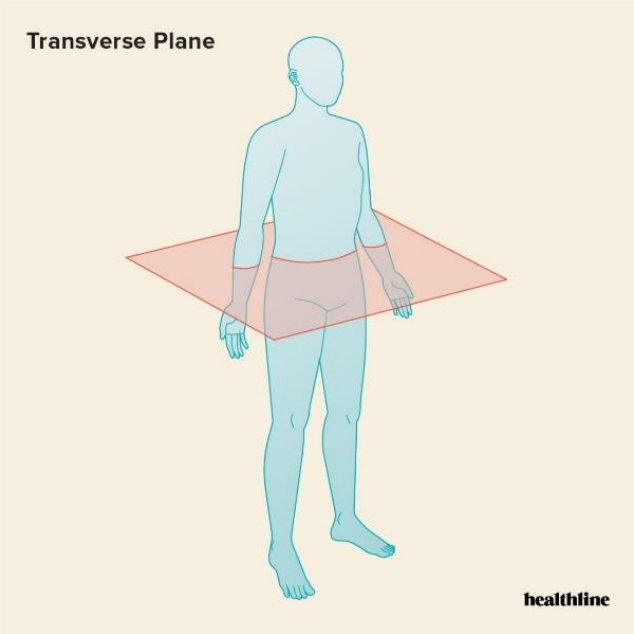
(side bend) ท่าสไลด์ตัวไปด้านข้าง (side shuffle) ท่าก้าวด้านข้าง (side lunge) กระโดดตบ (jumping jack)

6.3 ระนาบขอบฟ้าระนาบขวาง (transverse/ horizontal plane)

เป็นเส้นสมมุติแนวนอนที่ลากผ่านร่างกายและแบ่งร่างกายเป็นด้านบนและด้านล่างเท่า ๆ กัน การเคลื่อนไหวในแนวระนาบขอบฟ้านี้เกิดขึ้นอยู่เป็นประจำในการใช้ชีวิตประจำวัน จะเคลื่อนไหวรอบแกนแกนตามยาว (longitudinal axis) เราจะมีการหมุนร่างกายส่วนบนหรือส่วนล่างเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่นการหันซ้ายหันขวา จะเป็นการหมุนของสันหลัง การบิดเท้าเข้า-ออก จะเป็นการหมุนของขาเข้าและออก การหงายมือ คว่ำมือหรือปิดมือจะเป็นการหมุนของแขน

ภาพที่ 3-10 แสดงระนาบขอบฟ้า (transverse/ horizontal plane)

แหล่งที่มา https://www.healthline.com/health/body-planes

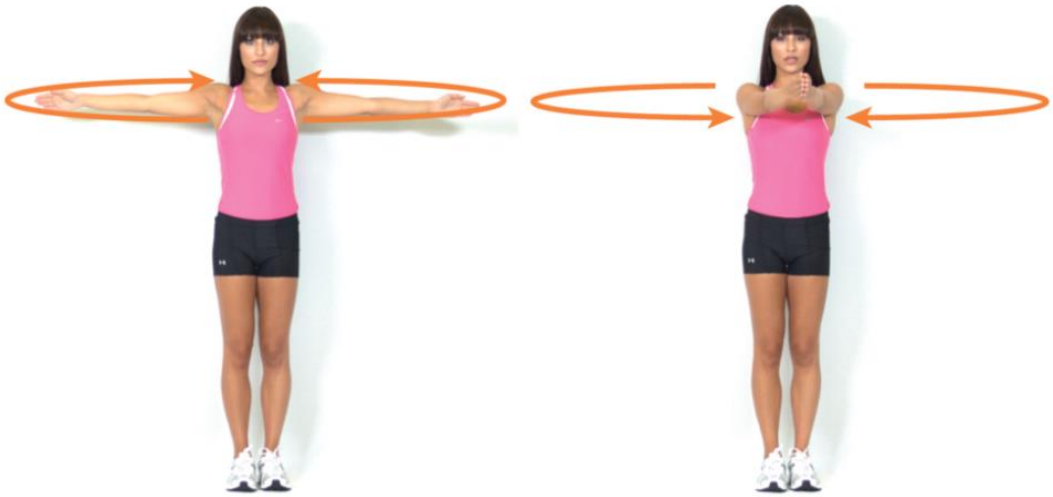


นอกจากนี้ยังมีกรณีการออกกำลังกายที่ต้องเริ่มต้นการการเคลื่อนไหวจากระนาบอื่น ๆ เช่นการยืนกางมือขึ้นจนตั้งฉาก 90 องศากับลำตัว ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวในระนาบด้านข้าง จากนั้นก็หุบมือมาประกบกันด้านหน้าซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวในระนาบขอบฟ้านอกจากนั้นยังพบได้ในการออกกำลังกายโดยทั่วไปเช่น การดันพื้น (push-up) เบนช์เพรส (bench press) เชสท์และแบคฟลาย (chest and back fly) และ หรือการใช้เครื่อง (seated hip adduction – abduction machines) เป็นต้น

ทั้งนี้แม้การเคลื่อนไหวของการออกกำลังกายแบบการ การวิดพื้น หรือ เครื่อง (seated hip adduction – abduction machines จะดูเหมือนเป็นการเคลื่อนไหวในแนวระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane) แต่ในความเป็นจริงแล้วการออกกำลังกายดังกล่าวเป็นการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการหมุนของข้อต่อบริเวณไหล หรือข้อต่อบริเวณสะโพก

ภาพที่ 3–11 แสดงการออกกำลังกายในระนาบขอบฟ้า (transverse/ horizontal plane)

แหล่งที่มา https://blog.nasm.org/exercise-programming/sagittal-frontal-traverse-planes-explained-with-exercises#:~:text=Examples%20of%20other%20sagittal%20plane,calf%20raises%2C%20and%20climbing%20stairs.



ในความเป็นจริงแล้วหากเราพิจารณาท่าทางในการออกกำลังกายและเล่นกีฬาจะพบว่าในการออกกำลังกายท่าทางหนึ่งอาจมีการเคลื่อนไหวในแนวระนาบต่าง ๆ มากกว่า 1 ระนาบหรือมีการเคลื่อนไหวหลายระนาบผสมผสานกัน (Clark et al. 2018) เช่นในการวิ่ง (jogging) ซึ่งดูแล้วเป็นการเคลื่อนไหวของร่างกายในระนาบหน้า – หลัง เป็นหลัก แต่โดยธรรมชาติของร่างกายมนุษย์ ในขณะที่เราวิ่งจะมีการหมุนของลำตัวนิด ๆ เนื่องจากจะต้องให้เป็นไปตามการแกว่งแขนและการก้าวขา การหนุมของลำตัวเกิดจากการหมุนของสันหลัง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตามแนวระนาบขอบฟ้า

ดังนั้นการฝึกร่างกายที่ดีควรต้องเป็นการฝึกที่มีท่าทางที่หลายหลากเพื่อให้ข้อต่อและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องได้เคลื่อนไหวในทิศทางต่าง ๆ (Marcolin et al, 2018; Oliveira et al, 2009). เช่น การฝึกออกกำลังกายแขน ควรมีการกำหนดเป้าหมายการฝึกทั้งแขนส่วนบนและแขนส่วนล่างเนื่องจากในชีวิตประจำวันมีการเคลื่อนไหวของข้อต่อและกล้ามเนื้อแขนส่วนบนและล่างผสมผสานกันในการทำกิจวัตรประจำวัน (Chiung-ju, 2014)

7. กระดูก (skeleton)

กระดูกเป็นส่วนสำคัญของระบบทางสรีรวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายโดยตรง เนื่องจากเป็นอวัยวะสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย จากหลักฐานการศึกษาทางกายวิภาคศาสตร์พบว่าสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังทั้งหมดจะมีพัฒนาการของระบบโครงกระดูกที่คล้ายคลึงกันโดยเฉพาะโดยเฉพาระยะตัวอ่อน สำหรับในมนุษย์นั้นเมื่อแรกเกิดจะมีกระดูกอยู่ประมาณ 250 – 370 ชิ้นตามลักษณะการจำแนก เมื่อร่างกายเจริญเติบโตมากขึ้น กระดูกบางชิ้นจะเชื่อมต่อกันจนกลายเป็นกระดูกชิ้นเดียว ทำให้เมื่อมนุษย์วัยผู้ใหญ่มีจำนวนกระดูกเหลืออยู่ 206 ชิ้นเมื่อเจริญเติบโตจนสมบูรณ์ (An illustrated guide, 2010)

เป็นที่ทราบกันดีในปัจจุบันว่าการออกกำลังกายด้วยรูปแบบที่หลากหลายและการมีโภชนการที่ดี จะทำให้ร่างกายมีความเร็ว ความแข็งแรง พลัง ความอดทน และการทำงานประสานกันของระบบต่าง ๆ ที่ดีขึ้น เนื่องจากทำให้มวลกระดูกและโครงสร้างต่าง ๆ พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะในวัยเด็กและวัยรุ่น (childhood and adolescence) เนื่องจากการออกกำลังกายจะส่งผลโดยตรงต่อมวลกระดูกและสร้างความแข็งแรงให้กระดูก นอกนั้นการออกกำลังกายยังกระตุ้นระดับของฮอร์โมนที่มีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตคือ โกรทฮอร์โมน (growth hormone/ (GH) และ อินซูลินไลค์โกรทแฟคเตอร์ 1 (insulin–like growth factor (IGF)–1) (Bonnet& Ferrari, 2010)

กลไกการสร้างความแข็งแรงและการเจริญเติบโตของกระดูกจะเกิดจากการทำงานของ GH โดยจะกระตุ้นให้ตับและกล้ามเนื้อหลั่ง IGF– I ที่มีหน้าที่กระตุ้นเซลล์กระดูกอ่อน (chondrocyte/ cartilage cell) ให้เกิดการแบ่งตัว และทำหน้าที่กระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อก่อนถึงปลายกระดูกอ่อน (epiphyseal plate) กระบวนการดังกล่าวจะมีการกระตุ้นการขนส่งกรดอะมิโนสิ่งเป็นโปรตีนสำหรับสร้างกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อ กระบวนการนี้หากมีการแบ่งตัวเพิ่มขึ้นของเซลล์กล้ามเนื้อ และทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น (hyperplasia) แต่หากมีการขยายขนาดของกล้ามเนื้อเนื่องจากการเพิ่มขนาดของเซลล์กล้ามเนื้อ (hypertrophy) นอกจากนั้นกรดอะมิโนยังช่วยควบคุมการเผาผลาญ (metabolism) ของ ไขมันและคาร์โบไฮเดรต อีกด้วย

7.1 กระดูกที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการฝึกออกกำลังกายและการเล่นกีฬา

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าร่างกายมนุษย์เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีกระดูกทั้งหมด 206 ชิ้น ซึ่งทุก ๆ ชิ้นมีความสำคัญและมีบทบาทแตกต่างกันไป สำหรับในการออกกำลังกายและเล่นกีฬานั้นจะมีระบบกระดูกที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญอย่างมากในการเคลื่อนไหวในท่าทางต่าง ๆ (แสงหล้า พลนอก, 2552) คือ

7.1.1 กระดูกแกนกลางของร่างกาย: Axial skeletal ซึ่งมีส่วนที่สำคัญได้แก่ ศีรษะ (skull) ลำคอ (neck) และลำตัว (trunk)

– ลำคอและศีรษะ จะมีโครงสร้างดังนี้ กะโหลกศีรษะจะเชื่อมต่อกับกระดูกใบหน้าโดยมีกระดูกที่เคลื่อนไหวได้กระดูกขากรรไก (maxillary and mandible) ศีรษะจะตั้งอยู่บนลำคอซึ่งประกอบไปด้วย กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical vertebrae: C) ซึ่งล้อมรอบด้วย เอ็น และกล้ามเนื้อคอ (sternocleidomastoid) และกล้ามเนื้อไหล่ (trapezius)

เราจะสามารถเคลื่อนไหวลำคอได้ในหลายระนาบทั้งการเคลื่อนไหวแบบก้มหน้า (flexion) เงยหน้า (extension) เงยหน้า แหงนหน้า (hyperextension) เอียงคอ (lateral) หรือหมุนคอ (rotation)

– ลำตัว มนุษย์เป็นสัตว์ 2 เท้าที่ยืนตัวตรง การรักษารูปทรงของลำตัวให้คงรูปไว้ได้เกิดจากความสัมพันธ์ของกระดูกต่าง ๆ คือ กระดูกซี่โครง (ribs) กระดูกหนาอก (sternum) กระดูกไหปลาร้า (clavicle) กระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกสันหลัง (vertebral column) ซึ่งประกอบไปด้วย กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical) กระดูกสันหลังส่วนอก (thoracic) กระดูกสันหลังส่วนเอว (lumber) กระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ (sacral) ซึ่งต่อกับกระดูกเชิงกราน (pelvic bone) และกระดูกสันหลังส่วนก้นกบ (coccygeal)

ลำตัวมนุษย์สามารถ ก้มตัวไปข้างหน้า (flexion) แอ่นตัวไปด้านหนัง (hyperextension) เอียงตัวไปด้านข้าง (lateral bending) หมุนตัวหรือหมุนเอว (rotation) การหมุนตัวหรือหมุนเอวนี้ กระดูกสันหลังที่สามารถทำการเคลื่อนไหวแบบหมุนได้มากที่สุดคือกระดูกสันหลังส่วนคอ

ภาพที่ 3–12 แสดงกระดูกแกนกลางของร่างกาย (axial skeletal)

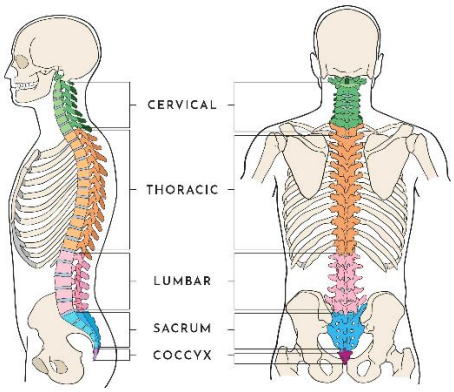
แหล่งที่มา https://www.visiblebody.com/learn/skeleton/axial-skeleton



7.1.1.1 กระดูกสันหลัง (spinal/ spine)

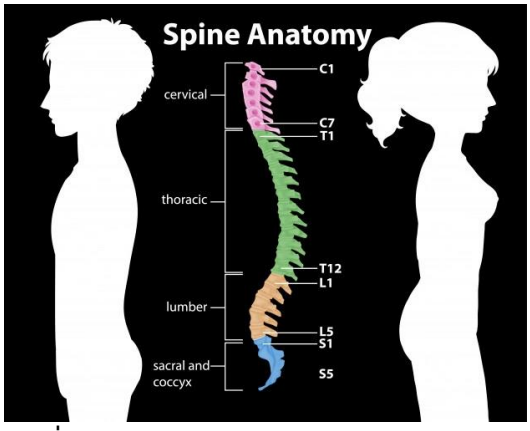
กระดูกสันหลังจัดเป็นกระดูกแกนกลางของร่างกายที่สำคัญมากที่สุด เพราะนอกจากจะทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักของร่างกายแล้ว ยังเป็นทางผ่านของเส้นประสาทซึ่งนำคำสั่งจากสมองไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายผ่านทางไขสันหลัง

ภาพที่ 3-13 แสดงภาพกระดูกสันหลัง



แหล่งที่มา

https://www.wessexspinalsurgeon.co.uk/spinal-anatomy/#iLightbox[e9142beaae4df96d08e]/0



แหล่งที่มา

https://www.freepik.com/free-vector/anatomy-spine-spinal-curves-infographic_9820695.htm

กระดูกสันหลังแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามรูปคือ

- กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical spine) มีทั้งหมด 7 ชิ้น / C1-C7
- กระดูกสันหลังส่วนอก/ ลำตัวส่วนบน (thoracic spine) มีทั้งหมด 12 ชิ้น / T1- T12
- กระดูกสันหลังส่วนเอว/ ลำตัวส่วนล่าง (lumbar spine) มีทั้งหมด 5 ชิ้น / L1- L5
- กระดูกเชิงกราน (sacrum and coccyx) มีทั้งหมด 5 ชิ้น / S1- S5

7.1.2 กระดูกรยางค์ (appendicular skeletal โดยทั่วไปแล้วกระดูกรยางค์หมายถึง แขน (รยางค์บน) และขา (รยางค์ล่าง) ของมนุษย์

– รยางค์บน ประกอบไปด้วย ไหล่ (shoulder) แขนส่วนบน (upper arm) ข้อศอก (elbow) ปลายแขน (fore arm) ข้อมือ (wrist) และมือ (hand) การเคลื่อนไหวของแขนเกิดจากการเคลื่อนที่ของข้อต่อที่สำคัญดังนี้

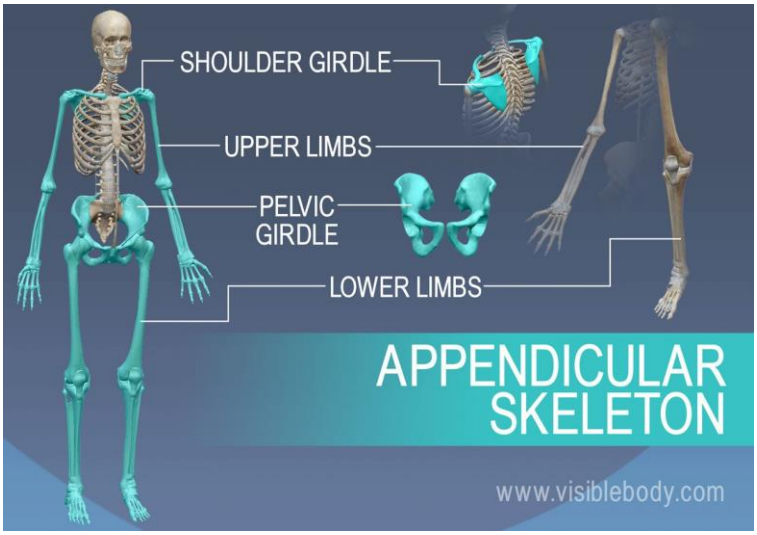
1) ไหล่เป็นข้อต่อแบบ (ball–and–socket) จึงสามารถ งอไหล่ (flexion) เหยียดไหล่ (extension) กางแขน (abduction) หุบแขน (adduction) กางแขนออกเป็นมุม 90 องศาแล้วหุบเข้ามาให้มือประสานกัน (rotation)

2) ข้อศอกเป็นข้อต่อแบบ (hinge joint) จึงสามารถงอแขน (flexion) เหยียดแขน (extension) คว่ำมือ (pronation) และ หงายมือ (supination)

3) ข้อมือสามารถเคลื่อนไหวได้แบบกระดกมือลง (flexion) กระดกมือขึ้น (extension)

ภาพที่ 3–14 แสดงกระดูกรยางค์ (Appendicular skeletal)

แหล่งที่มา https://www.visiblebody.com/learn/skeleton/axial–skeleton



– รยางค์ล่างประกอบไปด้วยสะโพกและต้นขา, เขาและขาสวนล่าง และเท้าและข้อเท้า ซึ่งจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ดังนี้

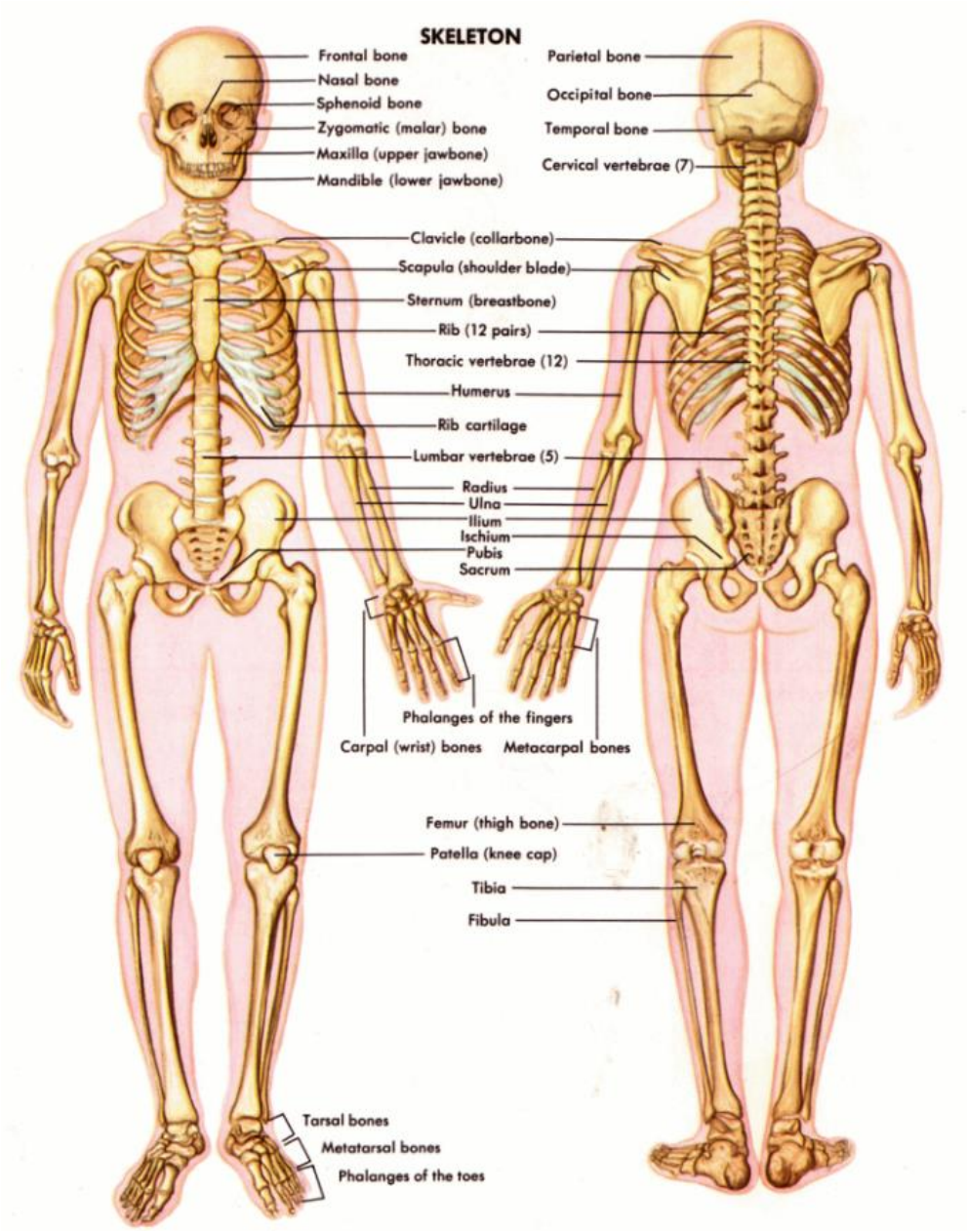
1) ข้อต่อระหว่างสะโพกกับต้นขาเป็นข้อต่อแบบ (ball–and–socket) จึงสามารถ งอขา (flexion) เหยียดขา (extension) กางขา (abduction) หุบขา (adduction) หมุนขา (rotation) และ แกว่งขาเป็นวงกลม (circumduction)

2) เข่าเป็นข้อต่อแบบบานพับจะเคลื่อนไหวได้แบบ งอเข่า (flexion) เหยียดเข่า (extension)

3) ข้อเท้าเป็นข้อต่อแบบบานพับ จะเคลื่อนไหวได้แบบกระดกปลายเท้าขึ้น (dorsiflexion) กดปลายเท้าลง (plantar flexion) กางนิ้วเท้า (abduction) หุบนิ้วเท้า (adduction)

ภาพที่ 3–15 แสดงกระดูกส่วนสำคัญๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย

แหล่งที่มา https://www.tes.com/lessons/cUpwcfNgd09QCQ/skeletal-system



8. ข้อต่อ (joint)

ในทางกายวิภาคศาสตร์แล้ว ข้อต่อ (joint) หมายถึงบริเวณที่กระดูกตั้งแต่ 2 ชิ้นมีเนื้อเยื่อที่เชื่อมติด ทำให้กระดูกเหล่านั้นมั่นคงและทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบ ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหวในรูปแบบ ต่าง ๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของข้อต่อออกได้ตามลักษณะโครงสร้างและการเคลื่อนไหวดังนี้

8.1 การแบ่งประเภทข้อต่อตามลักษณะโครงสร้าง

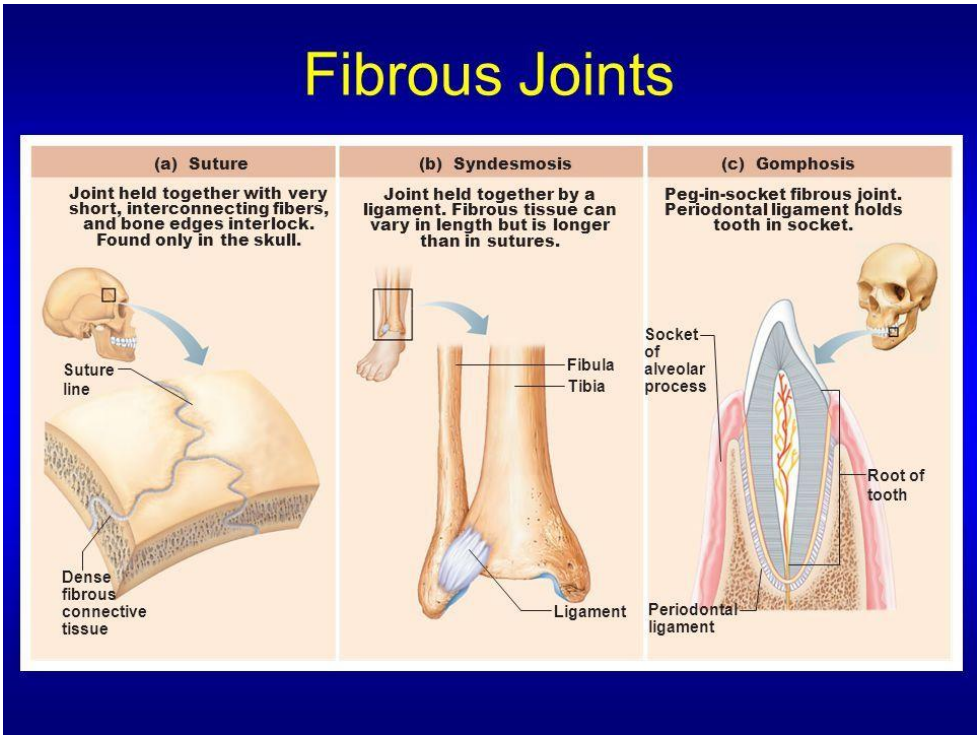
การแบ่งประเภทของข้อต่อตามลักษณะโครงสร้าง เป็นการแบ่งจากประเภทของเนื้อเยื่อข้อต่อบริเวณนั้นโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

8.1.1 ข้อต่อแบบเส้นใย (fibrous joints)

ข้อต่อชนิดนี้ เกิดจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยึดกระดูกบริเวณนั้นไว้อย่างหนาแน่น (dense connective tissue) ไม่มีช่องว่างระหว่างกระดูก ทำให้กระดูกบริเวณข้อต่อดังกล่าวไม่สามารถเคลื่อนไหวได้หรือเคลื่อนไหวได้เพียงเล็กน้อย แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

ภาพที่ 3–16 แสดงข้อต่อแบบเส้นใย (fibrous joints)

แหล่งที่มา https://www.pinterest.com/pin/397090892129861402/



– ข้อต่อแบบรอยประสานกระดูก (sutures) มีลักษณะเป็นรอยต่อหรือรอยประกบระหว่างกระดูก พบได้บริเวณรอยต่อของกะโหลกศีรษะ ข้อต่อประเภทนี้จะเป็นข้อต่อที่มีความมั่นคงแข็งแรง เนื่องจากเป็นข้อต่อของกระดูกที่ต้องป้องกันอวัยวะสำคัญ

– ข้อต่อแบบเอ็นยึด (syndesmosis) โดยส่วนใหญ่มักพบบริเวณกระดูกชิ้นที่มีความยาวมาต่อกัน ข้อต่อแบบนี้จะเชื่อมกระดูกด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความหนามาก เช่น บริเวณที่บรรจบกันของกระดูกปลายแขนเรเดียสและกระดูกอัลนา (radius และ ulnar) หรือบริเวณจุดบรรจบของกระดูกหน้าแข้ง (tibia) มีความหนากว่ากระดูกน่อง (fibula) ข้อต่อประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย

– ข้อต่อเบ้าฟันหรือข้อต่อรากฟัน (gomphosis) เป็นจุดเชื่อมระหว่างรากฟันกับเบ้าฟันของกระดูกขากรรไกรบน (maxilla) และกระดูกขากรรไกรล่าง (mandible)

8.1.2 ข้อต่อแบบกระดูกอ่อน (cartilaginous joint)

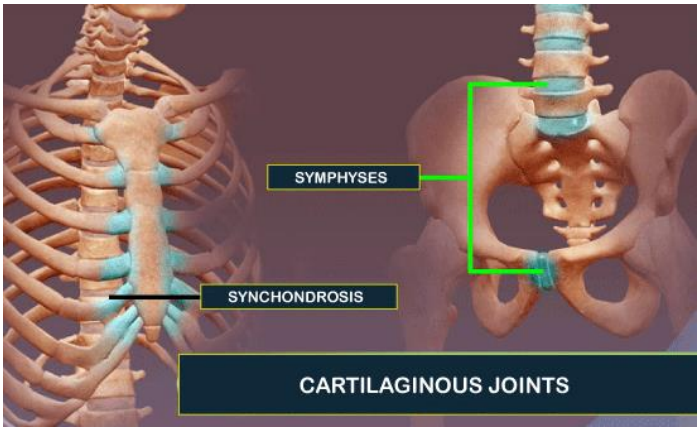
ข้อต่อชนิดนี้เป็นข้อต่อที่ไม่มีที่ว่างตรงกลาง จะเชื่อมกันโดยมีกระดูกอ่อนคั่นอยู่ตรงกลาง ทำให้บริเวณข้อต่อมีความยืดหยุ่นสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้มากกว่าประเภทแรกเช่นข้อต่อกระดูกสันหลัง ข้อต่อกระดูกเชิงกรานเป็นข้อต่อของร่างกายที่พบบริเวณทรวงอกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

– ข้อต่อที่กระดูกมีการเชื่อมกันด้วยกระดูกอ่อนแบบไฮยาลิน (hyaline cartilage) เรียกข้อต่อแบบนี้ว่า (synchondrosis) เช่นข้อต่อระหว่างกระดูกซี่โครงและกระดูกอก (ribs and sternum)

– ข้อต่อที่เชื่อมกันด้วยกระดูกอ่อนเส้นใย (fibrocartilage) เรียกข้อต่อแบบนี้ว่าข้อต่อหมอนรองกระดูก (symphysis) เช่นหมอนรองกระดูกสันหลัง (intervertebral discs) ซึ่งเป็นกระดูกอ่อนแบบเส้นใยที่เชื่อกระดูกสันแต่ละท่อน

ภาพที่ 3–17 ข้อต่อแบบกระดูกอ่อน (cartilaginous joint)

แหล่งที่มา https://www.javatpoint.com/types–of–joints



8.1.3 ข้อต่อแบบซินโนเวียล (synovial joint)

ข้อต่อชนิดนี้เป็นข้อต่อที่มีช่องว่าง กระดูกบริเวณข้อต่อซินโนเวียลจะไม่เชื่อมต่อกันโดยตรง แต่จะมีแคปซูลเป็นตัวหุ้มข้อต่อ (articular capsule) ภายในแคปซูลมีโพรงข้อต่อ (articular space) ซึ่งบรรจุของเหลวหรือ น้ำไขข้อ (synovial fluid) ที่สร้างจากเนื้อเยื่อโดยรอบปลอกหุ้มข้อต่อ น้ำไขข้อนี้จะเป็นตัวช่วยในการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ทำให้ข้อต่อชนิดนี้เคลื่อนไหวได้มากกว่าข้อต่อแบบ อื่น ๆ เราสามารถพบข้อต่อประเภทนี้ได้ทั่วไปบริเวณกระดูกแขนและขาเช่นข้อต่อบริเวณหัวเข่า

8.2 การแบ่งประเภทข้อต่อตามการเคลื่อนไหว

การแบ่งข้อต่อตามการเคลื่อนไหวนี้สำคัญมากกับการฝึกออกกำลังกายและการเล่นกีฬา เพราะการฝึกร่างกายจำเป็นจะต้องรู้ว่าข้อต่อบริเวณต่าง ๆ ที่ทำการฝึกมีลักษณะการเคลื่อนไหวอย่างไร เพื่อจะได้เป็นการป้องกันอาการบาดเจ็บและทำให้การฝึกนั้นส่งผลดีที่สุดกับร่างกาย การแบ่งข้อต่อตามความสามารถในการ ข้อต่อแบบที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (synarthrosis) ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (amphiarthrosis) และข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก (diarthrosis)

8.2.1 ข้อต่อแบบเคลื่อนไหวไม่ได้ (immovable joints/ fibrous joint/ synarthrosis)

ส่วนใหญ่จะเป็นข้อต่อที่มีโครงสร้างแบบ ข้อต่อเส้นใย (fibrous joints) หรือข้อต่อแบบกระดูกอ่อนไฮยาลิน (hyaline cartilage) เช่นข้อต่อ กะโหลกศีรษะ ข้อต่อระหว่างกระดูกซี่โครงและกระดูกหน้าอก

8.2.2 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (slightly moveable joint/ cartilaginous joint/ amphiarthrosis)

จะพบในข้อต่อที่มีโครงสร้างแบบ ข้อต่อแบบเอ็นยึด (syndesmosis) และแบบกระดูกอ่อนเส้นใย (fibrocartilage) เช่นข้อต่อที่เชื่อมส่วนกลางของกระดูกหน้าแข้ง (tibia) และกระดูกน่อง (fibula) หมอนรองกระดูกสันหลัง ข้อต่ออุ้งเชิงกรานกับหัวหน่าว (symphysis pubis)

8.2.3 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก (freely moveable/ synovial joint/ diarthrosis)

ข้อต่อประเภทนี้เป็นข้อต่อแบบซินโนเวียล (synovial joint) สามารถเคลื่อนที่ได้มากและเคลื่อนที่ได้ทั้งแบบ 2 มิติและ 3 มิติ แบ่งออกได้อีกเป็น 6 ประเภทคือ

1. ข้อต่อแบบเบ้า (ball and socket joint) ข้อต่อชนิดนี้จะมีปลายของกระดูกชิ้นหนึ่งเป็นทรงกลม และปลายของกระดูกอีกชิ้นหนึ่งเป็นแอ่งเว้าเพื่อรองรับหัวกระดูกทรงกลม โดยจะมีเอ็นรอบข้อต่อและกล้ามเนื้อจำนวนมากเพื่อป้องกันการหลุดของข้อต่อ อาการบาดเจ็บที่พบได้บ่อยที่สุดของข้อต่อประเภทนี้จึงเป็นการอาการที่ข้อต่อเลื่อนหลุดออกจากเบ้า

ข้อต่อประเภทนี้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นอิสระ 3 มิติ เช่นหัวไหล่ (glenohumeral joint) ข้อสะโพก (hip joint) ข้อต่อกระดูกต้นขา (femur) กับกระดูกเชิงกราน

2. ข้อต่อแบบบานพับ (hinge joint) มีการเคลื่อนไหวคล้ายบานพับประตู เคลื่อนไหวได้เพียง 1 ระนาบ เฉพาะการเหยียดและงอ (extension and flexion) ทิศทางไปด้านหน้าและหลัง เช่น หัวเขา ขอศอก ข้อเท้า ข้อต่อระหว่างนิ้วมือและนิ้วเท้าเป็นต้น

3. ข้อต่อแบบเดือยหรือแบบหมุน (pivot joint or rotary joint) มีลักษณะที่กระดูกชิ้นหนึ่งสวมอยู่กับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ข้อต่อในลักษณะนี้ทำให้สามารถเคลื่อนที่ให้ลักษณะหมุนได้ เช่นข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังบริเวณลำคอข้อที่1 และ 2 (atlantoaxial joint) ซึ่งทำให้มีการหมุนของศีรษะและลำคอได้

4. ข้อต่อแบบวงรี (ellipsoidal/ condylar joint) ข้อต่อชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับข้อต่อแบบเบ้าเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบในลักษณะ หน้า–หลัง และด้านข้าง เช่นการเหยียด การงอ การกาง การหุบ ข้อต่อประเภทนี้เช่น เข่า ข้อมือ

5. ข้อต่อแบบอานม้า (saddle joint) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งมีการเว้าโค้งอีกชิ้นหนึ่งมีลักษณะโค้งนูน ประกบกันกับส่วนเว้าของปลายกระดูกชิ้นแรกในแนวที่ต่างกัน เคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบในลักษณะ หน้า–หลัง และด้านข้าง เช่นข้อต่อฝ่ามือ (carpometacarpal joint) ของนิ้วหัวแม่มือ ที่ทำหน้าที่งอพับนิ้วหัวแม่มือ

6. ข้อต่อแบบเลื่อน (gliding joint) เป็นข้อที่กระดูกชิ้นที่หนึ่งวางประกบหรือกดทับผิวของกระดูกอีกชิ้นหนึ่งในลักษณะแบบราบ ข้อต่อชนิดนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ไปด้านข้างหรือหมุนวน เนื่องจากมีเส้นเอ็นยึดกับกระดูกอื่น ๆ แต่จะเคลื่อนที่แบบด้านหน้าไปด้านหลัง เช่นข้อต่อระหว่างกระดูกข้อมือข้อเท้า

8.3 ทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อ

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าข้อต่อแต่ละประเภท มีทิศทางการเคลื่อนไหวที่ถูกจำกัดด้วยโครงสร้างของตัวข้อต่อเอง ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละข้อต่อจึงถูกกำหนดให้มีแตกต่างกันไป การฝึกร่างกายให้ได้ผลที่ดีและสามารถป้องกันอาการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นได้จึงจำเป็นจะต้องเข้าใจทิศทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

8.3.1 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 1 ระนาบ (uniaxial joint)

ข้อต่อประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบเดียว เช่นการงอ – การเหยียด (flexion – extension) ข้อศอกหรือเข่าจัดอยู่ในข้อต่อประเภทนี้

8.3.2 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 2 ระนาบ (biaxial joint)

เป็นข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 2 ระนาบทั้ง การงอ – การเหยียด (flexion – extension), การหุบ – การกาง (abduction – adduction) เช่นข้อมือ ข้อเท้า ข้อต่อระหว่างกระดูกนิ้วกับฝ่ามือหรือฝ่าเท้า

8.3.3 ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 3 ระนาบ (triaxial joint)

เป็นข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 3 ราบเช่น กระดูกต้นแขนกับหัวไหล่ กระดูกต้นขากับสะโพก

9. กล้ามเนื้อ (muscle)

ในอดีตการศึกษาด้านกายวิภาคศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกาย จะมุ่งเน้นไปที่ระบบกระดูกและกล้ามเนื้อแต่ปัจจุบันเราพบว่าระบบพังผืดซึ่งมีความสัมพันธ์กับระบบกล้ามเนื้อและระบบกระดูก มีความสำคัญการออกกำลังกายหรือการฝึกร่างกายเพื่อสมรรถภาพทางกายเช่นเดียวกัน ดังนั้นเราจะต้องเข้าใจและกล้ามเนื้อ,กระดูกและพังผืดไปพร้อมกัน เพื่อให้สามารถออกกำลังกายหรือฝึกร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

กล้ามเนื้อมาจากภาษาละตินแปลว่า หนูตัวเล็ก (Costill& Wilmore, 2004) กล้ามเนื้อถือเป็นระบบทางสรีรวิทยาที่สำคัญระบบหนึ่งของร่างกาย และถือเป็นระบบที่สำคัญอย่างมากสำหรับศาสตร์ทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย เพราะการฝึกไม่ว่าจะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาล้วนแต่มุ่งเน้นความสำคัญไปที่การฝึกกล้ามเนื้อแทบทั้งสิ้น ร่างกายคนเราประกอบไปด้วยมวลกล้ามเนื้อประมาณร้อย 15 – 20 ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้ในบทนี้จะกล่าวถึงกลุ่มกล้ามเนื้อมัดสำคัญ ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการฝึกร่างกายเพื่อสมรรถภาพทางกาย ส่วนรายละเอียดเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อและการฝึกกล้ามเนื้อ จะได้กล่าวต่อไปในบทที่เกี่ยวข้อง

9.1 กลุ่มกล้ามเนื้อหัวไหล่

กลุ่มกล้ามเนื้อหัวไหล่ เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไหล่และแขน ซึ่งการทำงานดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระดูก ข้อต่อและกล้ามเนื้อหลายมัดได้แก่

1. กล้ามเนื้อหัวไหล่ (deltoids) เป็นกล้ามเนื้อบริเวณหัวไหล่ที่เรามองเห็นได้จากภายนอกได้ชัดเจนที่สุด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 3 มัดที่จะงานร่วมกันที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแขนและหัวไหล่คือ

– กล้ามเนื้อหัวไหล่มัดหน้า (anterior head) เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่อยู่ด้านหน้าของไหล่ มีจุดเกาะต้นอยู่ที่กระดูกไหปลาร้า (clavicle) ทอดยาวลงมาเกาะกับกระดูกต้นแขน (humerus) มีหน้าที่ในการทำการงอหัวไหล่ (shoulder flexion) หรือเพื่อให้สามารถยกแขนมาทางด้านหน้าลำตัว ซึ่งก็คือการออกกำลังกายในท่ายกแขนทางด้านหน้า (front raise)

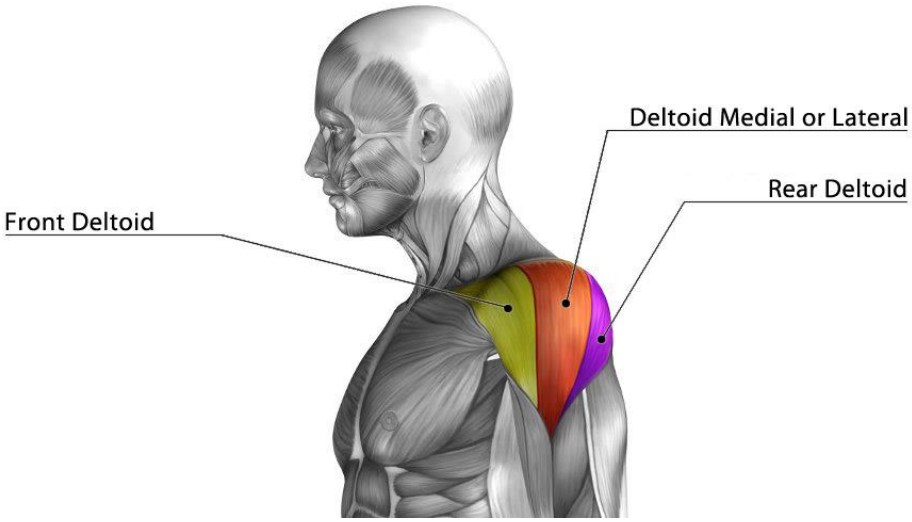
– กล้ามเนื้อหัวไหล่มัดกลาง (middle head) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ถัดจากหัวไหล่มัดหน้า ในตำแหน่งกึ่งกลางของไหล่ เกาะกับกระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกต้นแขน (humerus) ทำงานประสานกันกับการเนื้อหัวไหล่มัดหน้าในการทำการงอหัวไหล่ นอกจากนั้นยังมีหน้าที่ในการทำการกางแขน (shoulder abduction) ซึ่งเป็นการออกกำลังกายในท่ากางแขนด้านข้าง (lateral raise) นั้นเองโดยมีข้อแนะนำในการฝึกออกกำลังกายท่านี้ดังนี้

1. หากเป็นการออกกำลังกายแบบใช้น้ำหนักควรยกจากข้างลำตัวขึ้นมาในช่วง 45 – 90 องศา ไม่ควรมากกว่านั้น เนื่องการออกกำลังกายในท่านี้จะทำให้กระดูกต้นแขน (humerus) เคลื่อนที่ขึ้นไปชนกับกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมัดเล็กที่อยู่บริเวณหลังส่วนบน (supraspinatus) ที่อยู่ในกลุ่มกล้ามเนื้อกลุ่มกล้ามเนื้อหมุนข้อไหล่ (rotator cuff) จนอาจเกิดการฉีกขาดก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บในระยะยาว

2. ควรหงายข้อมือในการฝึกเพื่อลดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างปุ่มกระดูกหัวไหล่ (acromion) ของกระดูกสะบัก (scapula) กับของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมัดเล็กที่อยู่บริเวณหลังส่วนบน การคว่ำมืออาจทำให้เอ็นมีอาการเสื่อมในระยะยาว

ภาพที่ 3–18 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Deltoids

แหล่งที่มา https://blog.yamamotonutrition.com/en/shoulder–training–the–5–best–exercises–for–deltoids–a330



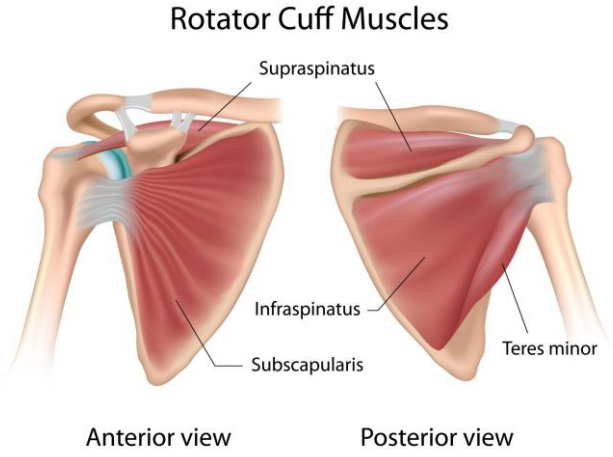
– กล้ามเนื้อหัวไหล่มัดหลัง (posterior head)

เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหลังของไหล่ เกาะกับกระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกต้นแขน (humerus) มีหน้าที่ในการทำ (shoulder extension) ซึ่งเป็นการเหยียดไหล่ไปด้านหลัง

2. กลุ่มกล้ามเนื้อหมุนหัวไหล่ (rotator cuff muscle) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกลงไปใต้ชั้นของกล้ามเนื้อหัวไหล่ กล้ามเนื้อกลุ่มนี้มีหน้าที่ในการช่วยสร้างความมั่นคงให้กับข้อต่อหัวไหล่ มีลักษณะพิเศษคือก่อนที่จะถึงกระดูกต้นแขน เอ็นของกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะเชื่อมกันด้วยปลอก (cuff) ประสานเป็นเส้นเอ็นแผ่นเดียวกัน ทำให้กล้ามเนื้อทุกมัดทำงานกันได้อย่างสอดประสาน ช่วยข้อต่อไหล่ให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบหมุนเข้าและออก (internal–external rotation) ทำให้เกิดการของกระดูกต้นแขนและหัวไหล่ จากการที่ทำหน้าที่ให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะการหมุนเป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นที่มาของชื่อกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ซึ่งประกอบด้วย 4 มัดคือ

ภาพที่ 3–19 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Deltoids

แหล่งที่มา https://integration.net.au/2018/05/07/rotator–cuff/



– กล้ามเนื้อที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกระดูกสะบัก (subscapularis) มีหน้าที่ในการบิดหัวไหล่เข้าด้านในลำตัว (internal rotation)

– กล้ามเนื้อที่อยู่บริเวณส่วนนอกของกระดูกสะบัก (infraspinatus) มีหน้าที่ในการหมุนกระดูกต้นแขนออกด้านนอก (external rotation)

– กล้ามเนื้อขนาดเล็กที่อยู่ใต้กล้ามเนื้อส่วนนอกของกระดูกสะบัก (teres minos) มีหน้าที่ในการหมุนกระดูกต้นแขนออกด้านนอก (external rotation)

– กล้ามเนื้อเกาะอยู่ระหว่างกระดูกสะบัก (scapula; จุดเกาะต้น) และกระดูกต้นแขน (humerus; จุดเกาะปลาย) (supraspinatus) กล้ามเนื้อนี้จะมีหน้าที่ในการยกหัวไหล่ขึ้นด้านข้าง (shoulder abduction)

นอกจากจะเป็นชื่อกล้ามเนื้อแล้ว ยังสามารถใช้เรียกกลุ่มอาการบาดเจ็บของเส้นเอ็นบริเวณหัวไหล่ ที่ส่วนใหญ่เกิดจากการเสียดสีระหว่างเส้นเอ็นของกล้ามเนื้อ หมุนหัวไหล่กับปุ่มกระดูก (acromion) ของกระดูกสะบัก (scapula) ซึ่งทำให้เกิดการฉีกขาดหรือความเสื่อมที่บริเวณเส้นเอ็นของกลุ่มกล้ามเนื้อหมุนหัวไหล่

9.2 กลุ่มกล้ามเนื้อแขนท่อนบน

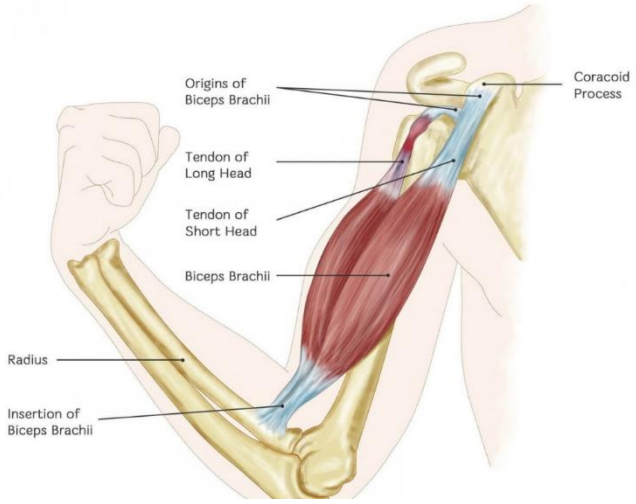
เนื่องจากแขนเป็นอวัยวะที่เราใช้งานมากที่สุดในชีวิตประจำวัน กลุ่มกล้ามเนื้อท่อนบนจึงเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่เรารู้จักคุ้นเคยมากที่สุดในการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อแขนท่อนบนประกอบไปด้วยกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก ๆ 2 ด้านที่อยู่รอบแขนท่อนบนคือกลุ่มกล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหน้าและกลุ่มกล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหลัง

9.2.1 กล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหน้า (biceps brachii)

อยู่บริเวณแขนท่อนด้านหน้า มีหน้าที่ในการงอแขน หมุนแขน การดึงแขน กล้ามเนื้อมัดนี้ที่มีจุดเกาะต้น (origin) แยกเป็นสองจุดบริเวณไหล่ จึงเป็นที่มาของชื่อกล้ามเนื้อ ในภาษาลาติน ที่แปลว่า สองหัว ประกอบไปด้วย

ภาพที่ 3–20 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Biceps brachii

แหล่งที่มา https://www.rehabmypatient.com/elbow/biceps–brachii–tendinopathy



– จุดเกาะต้นด้านสั้น (short head) เกาะที่คอราคอยด์ โพรเซส (coracoid process) ของกระดูกสะบัก (scapula)

– จุดเกาะต้นด้านยาว (long head) เป็นเอ็นขนานที่พาดผ่านปลอกหุ้มข้อต่อกระดูกต้นแขนไปที่ปุ่มเหนือแอ่งกลีนอยด์ (supraglenoid tubercle) ของกระดูกสะบัก

ส่วนจุดเกาะปลายของกล้ามเนื้อแขนท่อนด้านหน้า อยู่ที่ปุ่มเรเดียส (radial tuberosity) และบางส่วนขยายเป็นเอ็นแผ่ไปเกาะกับพังผืดที่ส่วนต้นของปลายแขนเรียกว่า เอ็นแผ่ไบซิพิตัล (bicipital aponeurosis) ข้อต่อ 3 ข้อต่อที่กล้ามเนื้อมัดนี้เกาะอยู่คือ

– ข้อต่อกลีโนฮิวเมอรัล (glenohumeral joint) ที่บริเวณไหล่ ทำหน้าที่งอแขนท่อนบน

– ข้อศอก (elbow joint) ทำหน้าที่งอแขนท่อนล่างขึ้น (biceps curl) ซึ่งเป็นท่าทางการออกกำลังกายที่คนส่วนใหญ่ใช้ในการฝึกกล้ามเนื้อกล้ามเนื้อแขนท่อนด้านหน้า ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของข้อต่อข้อศอกนี้

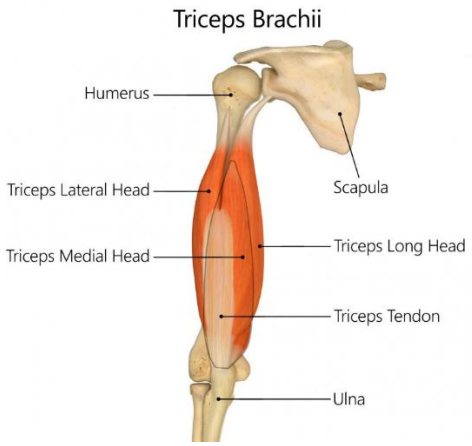
– ข้อต่อเรดิโออัลนาส่วนต้น (proximal radioulnar joint) ทำหน้าที่ร่วมกับกล้ามเนื้อปลายแขน (supinator) เพื่อหงายปลายแขนและมือ

9.2.2 กล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหลัง (triceps brachii)

เป็นกล้ามเนื้อที่มีหน้าที่ในการเหยียดปลายแขน ซึ่งเป็นการทำงานของข้อต่อข้อศอก (elbow extension) กล้ามเนื้อมัดนี้มีหัว 3 หัวโดยหัวที่ยาวที่สุดมีจุดเกาะต้นแยกไปเกาะที่กระดูกสะบัก (scapula) อีก 2 หัวที่เหลือจุดเกาะต้นอยู่ที่กระดูกต้นแขน (humerus) และมีจุดเกาะปลายที่กระดูกปลายแขนท่อนใน (ulna)

ภาพที่ 3–21 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Triceps brachii

แหล่งที่มา https://www.rehabmypatient.com/head/triceps-brachii



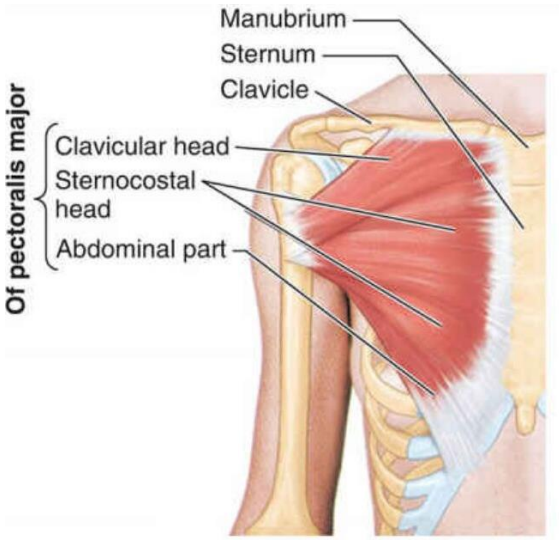
9.3 กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าอก

กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าอกเป็นกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ที่อยู่บริเวณหน้าอก เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้ร่างกายดูมีสัดส่วนและมีเสน่ห์ ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. กล้ามเนื้อหน้าอกมัดใหญ่ (pectoralis major) เป็นกล้ามเนื้อรูปพัดบริเวณหน้าอก มีแนวเกาะจากกลางลำตัวที่กระดูกหน้าอก (sternum) ไปยังกระดูกต้นแขน (humerus) วางตัวทับอยู่บนกล้ามเนื้อหน้าอกมัดเล็ก (pectoralis minor) ทำหน้าที่ช่วยสร้างสมดุลของร่างกายทำให้ไหล่คงรูปโดยการโดยการรั้งแขนมาทางด้านหน้า ช่วยในการหมุนเข้าด้านใน (internal rotation) หุบและงอแขน ผลัก ขว้าง การปีนป่าย ช่วยการหายใจเข้า ประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ

ภาพที่ 3-22 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Pectoralis major

แหล่งที่มา https://www.anatomynote.com/human-anatomy/shoulder-natomy/pectoralis-major-clavicular-sternocostal-head-and-abdominal-part/



1.1 กล้ามเนื้อหน้าอกมัดใหญ่ส่วนบน (clavicular head) ยึดกับกระดูกไหปลาร้า (clavicle) และกระดูกต้นแขน (humerus) เราเรียกกล้ามเนื้อส่วนนี้กันติดปากว่า “อกบน”

เนื่องจากกล้ามเนื้อส่วนนี้มีหน้าที่หลักในการงอไหล่และช่วยในการยกแขนขึ้น การออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนากล้ามเนื้อส่วนนี้คือการฝึกด้วยน้ำหนักในท่าที่ใช้แขนผลักออกจากอกโดยปรับเก้าอี้เอียงขึ้น (incline bench presses)

1.2 กล้ามเนื้อหน้าอกมัดใหญ่ส่วนกลาง (sternocostal head) เป็นส่วนอยู่ถัดลงมาและมีขนาดใหญ่กว่ากล้ามเนื้ออกส่วนบน เกาะกับกระดูกหน้าอก (sternum) วางตัวเป็นแนวขวางไปจนถึงกระดูกต้นแขน (humerus) เราเรียกกล้ามเนื้อส่วนนี้ว่า “อกกลาง”

การออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนากล้ามเนื้อส่วนนี้คือการฝึกด้วยน้ำหนักในท่าที่ใช้แขนผลักออกจากอกโดยปรับเก้าอี้ปกติ

1.3 กล้ามเนื้อหน้าอกมัดใหญ่ส่วนล่าง (abdominal head) ยึดกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (พังผืด) ที่ห่อหุ้มกล้ามเนื้อหน้าท้อง (rectus sheath) ไปเกาะกับ กระดูกต้นแขน (humerus) เราเรียกกล้ามเนื้อส่วนนี้ว่า “อกล่าง”

การออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนากล้ามเนื้อส่วนนี้คือการฝึกด้วยน้ำหนักในท่าที่ใช้แขนผลักออกจากอกโดยปรับเก้าอี้เอียงลง (decline bench presses)

นอกจากนั้นหากต้องการพัฒนากล้ามเนื้อทั้ง 3 ส่วนไปพร้อม ๆ กัน ควรฝึกด้วยน้ำหนักในท่า (Butterfly) หรือ (Incline dumbbell fly) เนื่องจากการออกกำลังกายดังกล่าวเป็นท่าทางการฝึกที่ทำให้เกิดการหุบแขน (abduction) เข้าด้านใน มีการเคลื่อนไหวในระนาบขอบฟ้า (horizontal) การเคลื่อนไหวดังกล่าวทำให้กล้ามเนื้อทั้ง 3 ส่วนสลับกันหดและเกร็งเพื่อทำงานร่วมกันตลอดท่าทางการฝึก

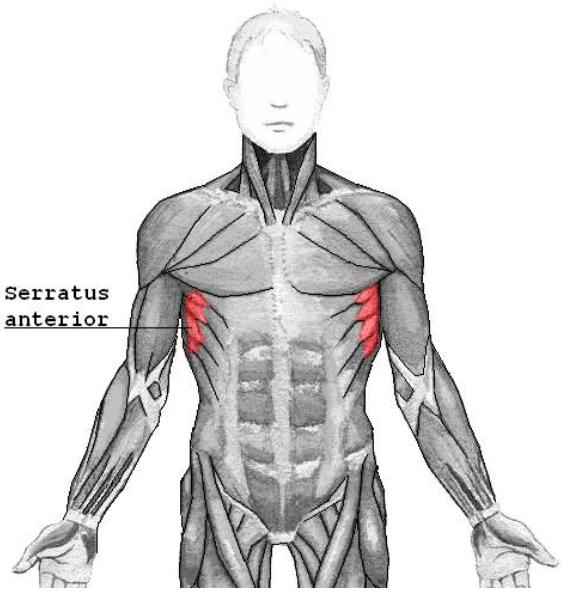
2. กล้ามเนื้อหน้าอกมัดเล็ก (pectoralis minor) เป็นกล้ามเนื้อที่ถูกใต้กลุ่มกล้ามเนื้อ Pectoralis major ยึดอยู่ระหว่างกระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกซี่โครงซี่ที่ 3, 4 และ 5 โดยเป็นกล้ามเนื้อขนาดเล็กมีหน้าที่ช่วยในการหายใจเป็นหลักจึงไม่เกี่ยวข้องมากนักในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายด้านความแข็งแรงของร่างกาย

3. กล้ามเนื้อหน้าอกบริเวณสีข้าง (serratus anterior) เป็นกล้ามเนื้อขนาดเล็กบริเวณซี่โครงใต้รักแร้ กล้ามเนื้อนี้จะปรากฏชัดในผู้ที่มีไขมันในร่างกายน้อยหรือในนักกีฬาที่ใช้ระบบพลังงานแบบแอโรบิกเป็นหลัก และเห็นได้ชัดในนักกีฬามวย จึงมักมีชื่อเรียกอีกชื่อว่ากล้ามเนื้อนักมวย (boxer’s muscle) มีจุดเกาะต้นอยู่บริเวณซี่โครง (rib) ซี่ที่ 1–9 และจุดเกาะปลายอยู่ที่ขอบกระดูกสะบัก (scapula) ด้านใน เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่ยึดกับกระดูกซี่โครงและกระดูกสะบักจึงมีหน้าที่ในการในการรักษาะกระดูกสะบักให้มีความมั่นคง ช่วยในการหมุนหรือยกสะบักขึ้นด้านบน (การยกแขนขึ้นด้านบน) (upward rotation)

ทั้งนี้ผู้ที่มีกล้ามเนื้อหน้าอกบริเวณสีข้างไม่แข็งแรง จะเพิ่มความเสียงที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บในกลุ่มกล้ามเนื้อหมุนหัวไหล่ เนื่องจากกล้ามเนื้อทั้ง 2 กลุ่มเกี่ยวข้องกับการทำงานของกระดูกสะบักเหมือนกัน โดยเรียกอาการที่เกิดจากกล้ามเนื้อไม่แข็งแรงอ่อนแอหรือเรียกว่าสะบักลอย (winged scapular) จะมีอาการบ่าตึงเนื่องจากต้องออกแรงช่วยมากขึ้นในการควบคุมสะบัก

ภาพที่ 3-23 แสดงกล้ามเนื้อ Serratus Anterior

แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Serratus_anterior_muscle#/media/File:Serratus_anterior.png



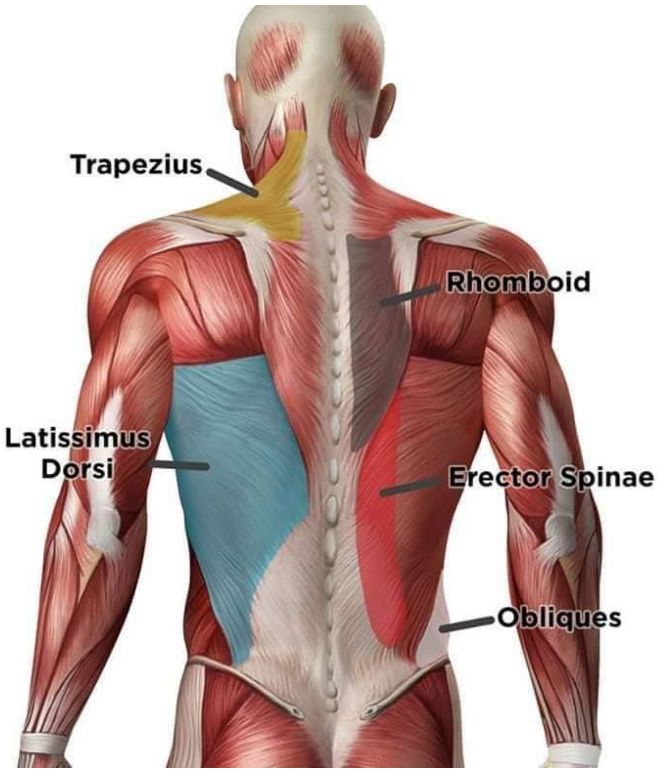
9.1.4 กลุ่มกล้ามเนื้อหลัง

กลุ่มกล้ามเนื้อหลังเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่ปกคลุมร่างกายส่วนหลังตั้งแต่ท้ายทอยลงไปถึงเอว แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือหลังส่วนบน (upper-back) และหลังส่วนล่าง (lower-back) กล้ามเนื้อหลังเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่พบอาการปวดหรือบาดเจ็บได้บ่อยโดยเฉพาะอาการในกลุ่มออฟฟิศซินโดรม (office syndrome) โดยจะพบทั้งผู้ที่ปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนบนและผู้ที่ปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง สาเหตุเกิดจากการมีกิจกรรมวัตรประจำวันที่ต้องนั่งเป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ไม่แข็งแรง หรือเกิดการเกร็ง แข็ง ตึง ทำให้เกิดอาการปวดเมื่อย ล้าหลัง ตั้งแต่บริเวณต้นคอ ไหล่ และการปวดกล้ามเนื้อหลังล่าง นอกจากนั้นอาการปวดหลังล่างอาจเกิดจากการที่ร่างกายทำงานหรือมีอริยบถที่ไม่ถูกต้อง เช่นการยกของหนักในท่าทางที่ไม่เหมาะสม การเอี้ยวตัว การที่ต้องก้ม ๆ เงย ๆ บ่อย ๆ เป็นต้น

ทั้งนี้อาการปวดหลังล่างอาจมีสาเหตุมาจากด้านอื่น ๆ ที่ไม่ไม่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อหลังเช่น ภาวะเส้นประสาทถูกกดทับ การเสื่อมของกระดูก ภาวะโภชนาการ น้ำหนักตัวที่มากเกินไป (Shirr et al., 2010) สำหรับผู้ที่ปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างจะมีอาการปวดที่เกิดขึ้นบริเวณตั้งแต่ใต้ชายโครง (กระดูกซี่โครงซี่ที่ 12) ไปจนถึงใต้แก้มก้น (Furlan et al., 2002; Posadzki& Lizis, 2011) สำหรับกล้ามเนื้อหลังที่สำคัญนั้นประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อหลัก ๆ 4 มัดคือ

ภาพที่ 3–24 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อหลัง

แหล่งที่มา https://www.facebook.com/physiotherapyfoundation/photos/pcb.577838479697889 /577836156364788/?type=3&theater



1. ทราพีเซียส (trapezius หรือ Traps) เป็นกล้ามขนาดใหญ่ที่ปกคลุมทั้งคอ ไหล่ และพื้นที่หลังส่วนบน ทำหน้าที่หลักในการ ยกไหล่ กดไหล่

2. รอมบอย (rhomboid) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้ชั้นของทราพีเซียส Trapezius มีหน้าที่สร้างความสมดุลให้กับร่างกายโดยการดึงสะบักเข้าหากลางลำตัว

3. แลททิสซิมุส ดอร์ไซ (latissimus dorsi) อยู่ถัดลงมาด้านล่างของกล้ามเนื้อ Trapezius เป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ที่สุดในบรรดากล้ามเนื้อหลังส่วนบนและใหญ่ที่สุดของร่างกายส่วนบนด้วย ทำหน้าที่ในการหุบแขนเข้าหาลำตัวและการเคลื่อนไหวไหล่

4. อีเร็คเตอร์สไปเน่ (erector spinae) เป็นกล้ามเนื้อที่วางตัวแตกต่างจากกล้ามเนื้อหลังส่วนบนมัดอื่น ๆ คือวางตัวเป็นแนวยาวตามแนวกระดูกสันหลัง มีหน้าที่ในการแอ่นหลัง และเอนตัวไปด้านข้าง

9.1.6 กลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (core muscle)

กลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่สำคัญมาก เนื่องจากมีหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพและความสมดุลของแกนกลางร่างกาย (Kim& Kwon, 2001; Yu& Park, 2013) ดังนั้นไม่ว่าจะมีกิจกรรมใดในชีวิตประจำวันกล้ามเนื้อแกนกลางจะต้องทำงานอยู่ตลอดเวลาเพื่อคอยรักษาความมั่นคงกับร่างกายทำให้กล้ามเนื้อและข้อต่อบริเวณต่าง ๆ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล้ามเนื้อแกนกลางประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อมัดสำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าท้อง (abdominal muscles) ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อสำคัญ 4 มัดคือ

1.1 ทรานสเวร์ซัส แอบโดมินิส (transversus abdominis/ TVA) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้กล้ามเนื้อ Rectus Abdominis วางตัวตามแนวขวางพันรอบกระดูกสันหลังเหมือนเข็มขัดที่รัดช่องท้องไว้ ทำหน้าที่ ช่วยประคองซี่โครงและสร้างความมั่นคงให้กับแกนกลางและอวัยวะภายในร่างกาย และเมื่อพูดถึงกล้ามเนื้อแกนกลางหลายคนจะนึกถึงกล้ามเนื้อมัดนี้เป็นอันดับแรก

บ่อยครั้งที่เรามักละเลยการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ Transversus abdominis เนื่องจากเข้าใจผิดว่าหากต้องการฝึกกล้ามเนื้อบริเวณท้อง ควรใช้ท่าทางการ Sit-up หรือท่า crunch ซึ่งในความเป็นจริงแล้วท่าทางดังกล่าวเป็นการบริหารกล้ามเนื้อ Rectus abdominis ส่วนท่าทางการบริหารกล้ามเนื้อ Transversus abdominis ที่ง่ายและเป็นที่นิยมกันมากที่สุดคือท่า Plank การออกกำลังกายในท่า Sit-up หรือท่า crunch หากไม่ได้บริหารกล้ามเนื้อ Transversus abdominis ด้วยอาจทำให้เกิดอาการปวดหลัง และการบริหารกล้ามเนื้อ Transversus abdominis ด้วยท่า Plank เป็นประจำ จะสามารถแก้อาการปวดหลังได้เป็นอย่างดีด้วย

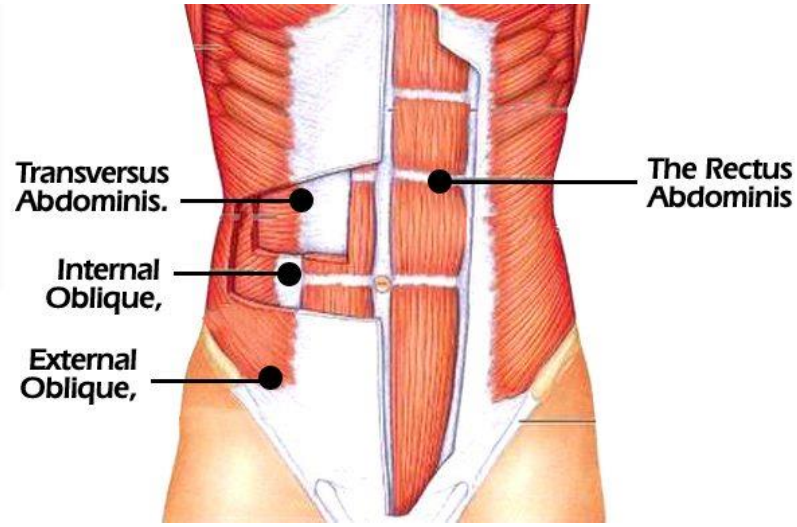
1.2 เรคตัสแอบโดมินิส (rectus abdominis) กล้ามเนื้อมัดนี้เป็นกล้ามเนื้อที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดมัดหนึ่ง เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้ร่างกายดูมีสัดส่วนสวยงาม จึงนิยมเรียกเล่น ๆ กันว่าซิกแพค (six packs) มีแนววางตัวทับอยู่ด้านบนของกล้ามเนื้อ ทรานสเวร์ซัส แอบโดมินิส ทำหน้าที่ในการงอตัวท่าทางการออกกำลังกายสำหรับการบริหารกล้ามเนื้อมัดนี้คือท่า ครัช (crunch)

1.3 เอกซ์เทอร์นัล โอบลิค (external oblique) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหน้าพาดเป็นแนวเฉียงออกไปด้านข้างของลำตัว ทำหน้าที่ในการเอียงลำตัว, บิดลำตัว และงอตัว

1.4 อินเทอร์นัล โอบลิค (internal oblique) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ลึกลงมาใต้ชั้น เอกซ์เทอร์นัล โอบลิค พาดตัวเป็นแนวเฉียงตรงข้ามกับกัน ทำให้ที่ช่วยเสริมการทำงานของกล้ามเนื้อ เอกซ์เทอร์นัล โอบลิค สามารถออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อมัดนี้ด้วยท่า ครอสโอเวอร์ครันช์ (crossover crunch)

ภาพที่ 3-25 กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าท้อง

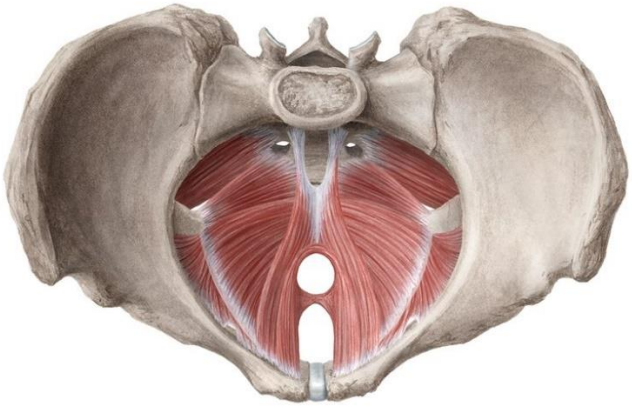
แหล่งที่มา https://wiki-fitness.com/15-exercises-mid-oblique-abs/



2. กล้ามเนื้ออุ้งเชิงกราน (pelvic floor) เป็นกล้ามเนื้อที่เชื่อมกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบริเวณใต้กระดูกเชิงกรานยึดกับกระดูกหัวหน่าวทางด้านหน้าและกระดูกสันหลังบริเวณก้นกบหรือกระเบนเหน็บมีหน้าที่ในการควบคุมการกลั่นปัสสาวะ อุจจาระและลมในลำไส้ เช่นในขณะที่เราไอหรือจามกล้ามเนื้อนี้จะหดตัวเพื่อกลั่นไม่ได้เราปัสสาวะหรืออุจจาระโดยไม่ได้ตั้งใจ นอกจากนั้นยังมีหน้าที่การรักษาสมดุลและพยุงอวัยวะในช่องท้อง

ภาพที่ 3-26 แสดงกล้ามเนื้ออุ้งเชิงกราน

แหล่งที่มา https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/muscles-of-the-pelvic-floor



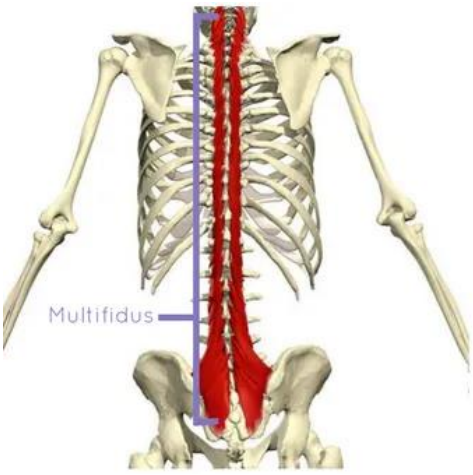
หากกล้ามเนื้อนี้ไม่แข็งแรงทำให้เกิดการปัสสาวะหรืออุจจาระเมื่อมีการเพิ่มแรงดันในช่องท้องอย่างไม่ตั้งใจเช่นในขณะที่ ไอหรือจาม หรือมีการออกแรงจากการออกกำลังกาย มีอาการการกลั้นปัสสาวะไม่ค่อยได้ หรือทำให้ความรู้สึกทางเพศลดลง

3. มัลติฟิดัส (multifidus)

เป็นกล้ามเนื้อขนาดเล็กแต่มีความยาวเกาะตามแนวกระดูกสันหลังตั้งแต่ต้นคอลงมาถึงกระดูกเชิงกราน ทำหน้าที่ในการช่วยยึดและรักษาแนวข้อต่อกระดูกสันหลัง ช่วยลดแรงที่จะมากระทำกับแนวกระดูกสันหลังจากการออกกำลังกายหรือการทำกิจวัตรประจำวัน กล้ามเนื้อมัดนี้ควรได้รับการบริหารเป็นประจำ เพื่อลดอาการเกร็งหรือตึงซึ่งอาจก่อให้เกิดอาการเจ็บหรือปวดหลัง ท่าทางการออกกำลังกายที่เป็นที่นิยมเช่นท่าแมวและวัว (cat and cow) และ ท่าเบิร์ดด็อก (bird dog)

ภาพที่ 3-27 แสดงกล้ามเนื้อ Multifidus

แหล่งที่มา https://www.thousandfoldlotus.com/strengthen-multifidus/



4. กล้ามเนื้อกระบังลม (diaphragm) เป็นกล้ามเนื้อที่กั้นระหว่างช่องอกและช่องท้อง ทำหน้าที่ช่วยในการหายใจ สามารถฝึกได้โดยการควบคุมการหายใจเข้าออกให้ถูกวิธี

นอกจากนี้กล้ามเนื้ออีเร็คเตอร์สไปเน่ ซึ่งกล่าวถึงไปแล้วในข้อก่อนหน้านี้ และกล้ามเนื้อในกลุ่มกล้ามเนื้องอข้อสะโพก (hip flexors) ซึ่งจะได้กล่าวถึงในข้อต่อไปยังนับเป็นกล้ามเนื้อในกลุ่ม (core muscle) ด้วย

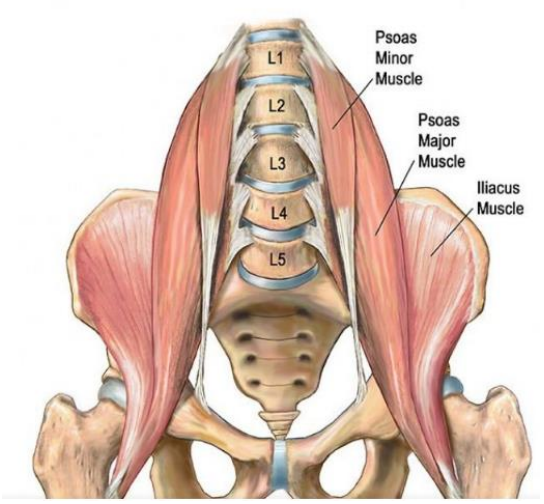
9.1.7 กลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (hip flexors)

กล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพกเป็นกล้ามเนื้อกลุ่มตรงข้ามกับกลุ่มกล้ามเนื้อ Hip Extension กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อหลายมัดบริเวณสะโพก ต้นขา และกระดูกเชิงกราน โดยเกาะยึดอยู่ทั้งบริเวณก้น ขาหนีบและต้นขาเข้าด้วยกัน โดยมีหน้าที่ พับ หรือ งอ สะโพกมาทางด้านหน้า ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อมัดสำคัญ ๆ คือ

1. กลุ่มกล้ามเนื้ออิลิโอโซแอส (iliopsoas) เกิดจากกล้ามเนื้อ 2 มัดรวมกัน ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อโซแอส (psoas) และกล้ามเนื้ออิเลียคัส (iliacus)

ภาพที่ 3-28 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก

แหล่งที่มา https://br.pinterest.com/pin/799811215061020505/?d=t&mt=signup



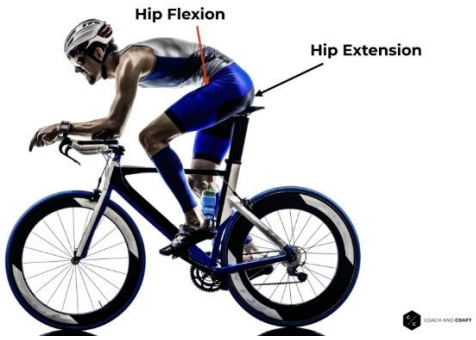
กล้ามเนื้อโซแอสจะมีจุดเกาะต้นอยู่ที่ กระดูกสันหลังส่วนกลางข้อที่ 12 (T12) และกระดูกสันหลังส่วนล่างข้อที่ 1-5 (L1-L5) ส่วนอิเลียคัส มีจุดเกาะต้นที่กระดูกเชิงกราน โดยกล้ามเนื้อทั้งสองรวมตัวกันเป็นกล้ามเนื้ออิลิโอโซแอส พาดผ่านเชิงกรานด้านหน้า และลงมายึดติดกับปุ่มกระดูกด้านในของกระดูกต้นขา หน้าที่หลักของกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก คือการดึงลำตัวและต้นขาเข้าหากันบริเวณสะโพก นอกจากนั้นเนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่เชื่อมระหว่างกระดูกสันหลังและร่างกายส่วนล่างจึงมีหน้าที่สร้างความสมดุลของร่างกายโดยการถ่ายน้ำหนักตัวลงไปที่ข้างทั้ง 2 ด้าน และมีหน้าที่หดตัวเพื่อให้เกิดงอสะโพกซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane) ที่แทรกอยู่ในแทบจะทุกอิริยาบทและกิจกรรมทางการของร่างกาย ทั้งการนั่ง การยืน การเดิน การวิ่ง การขี่จักรยาน

การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและวิถีชีวิตในปัจจุบัน เป็นสาเหตุให้คนส่วนใหญ่มีอาการผิดปกติของกลุ่มกล้ามเนื้ออิลิโอโซแอสมากขึ้น เนื่องจากร่างกายไม่ค่อยมีกิจกรรมที่ต้องเคลื่อนไหว ทำให้นั่งติดต่อกันเป็นเวลาหลายชั่วโมง การนั่งเป็นเวลานาน ๆ ส่งผลให้กล้ามเนื้อโซแอส มีการหดรั้งอยู่ตลอดเวลา เกิดอาการตึงตัวแต่ไม่แข็งแรงเป็นปัจจัยให้เกิดกลุ่มอาการ ออฟฟิศซินโดรม เช่น การปวดที่หน้าสะโพกหรือช่องท้อง มีอาการร้าวลงมาที่หน้าขา หรือมีอาการปวดหลังแล้วร้าวมาขาด้านหน้าหรือที่ขาหนีบ

ภาพที่ 3-29 แสดงลักษณะการทำงานของร่างกายแบบงดและยืดสะโพก (hip flexion and hip extension)

แหล่งที่มา https://coachandcraft.com/blog/hip-flexor-tight-weak/





2. กลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ (quadriceps)

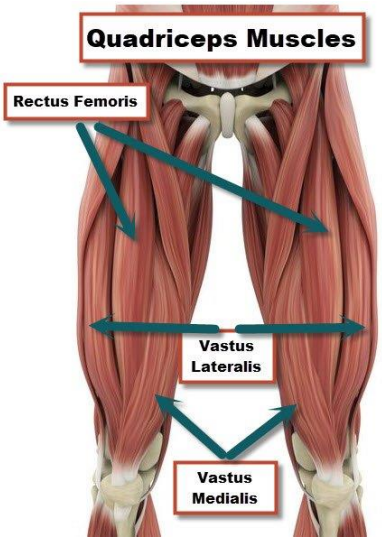
ในบรรดากล้ามเนื้อกลุ่มควอดริเซ็บทั้งที่ 4 มัด กล้ามเนื้อมัดที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดในการงอสะโพก คือกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอร์ริส (rectus femoris) แต่เนื่องจากควอไดร์เซ็บ ประกอบขึ้นจากกล้ามเนื้อหลัก 4 มัด ผู้เขียนจึงขอใส่รายละเอียดของกล้ามเนื้อทั้ง 4 มัดไว้ในส่วนนี้พร้อมกันเลย

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่า ควอไดร์เซ็บ คือกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ที่บริเวณต้นขา และจะเป็นรวมเป็นเส้นเอ็นของกลุ่มกล้ามเนื้อในชื่อควอไดร์เซ็บ ฟีเมอร์ริส (quadriceps femoris) ผ่านกระดูกสะบ้า กลายมาเป็นเส้นเอ็นกระดูกสะบ้าของหัวเข่า ยึดกับกระดูกหน้าแข้ง (tibia) มีหน้าที่ในการเหยียดเข่า หรือการเหยียดขาตรง หรือการยืดขา (extensor of the knee) โดยการควบคุมผ่านเส้นประสาทฟีเมอร์รัล (femoral nerve) จาก L1, L2, L3, L4 ประกอบไปด้วย (Pastaa et al., 2010)

2.1 วาสตัส มีเดียส (vastus medius) มีจุดกำเนิดหรือจุดเกาะต้น (origin) อยู่ที่กระดูกฟีเมอร์ (femur) หรือกระดูกต้นขา มีตำแหน่งอยู่ข้างในของกระดูกต้นขาหรืออยู่ด้านในสุดของกลุ่มกล้ามเนื้อ ควอไดร์เซ็บ มีจุดเกาะปลาย (insertion) อยู่ที่กระดูกสะบ้า (patella) ทำหน้าที่ในการสร้างสมดุลให้หัวเข่าเนื่องจากจุดเกาะเปลายอยู่บริเวณด้านใกล้กลางของกระดูกสะบ้า

ภาพที่ 3-30 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ

แหล่งที่มา https://www.joionline.net/trending/content/knee-anatomy

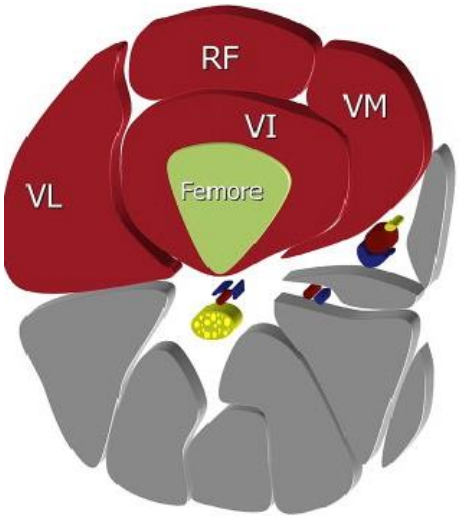


2.2 วาสตัส แลทเทอราลิส (vastus lateralis) มีจุดกำเนิดหรือจุดเกาะต้น (origin) อยู่ที่กระดูกฟีเมอร์ (femur) มีตำแหน่งอยู่ด้านนอกสุดของกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ มีจุดเกาะปลาย (insertion) อยู่ที่ขอบกระดูกสะบ้า (patella)

2.3 วาสตัส อินเตอร์มีเดียส (vastus intermedius) มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางของกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ และมีตำแหน่งที่อยู่ลึกลงไปเพราะถูกทับด้วยกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเมอร์ริส ทำให้ไม่สามารถมองเห็นหรือสังเกตได้ จำเป็นจะต้องดูจากเทคนิคการถ่ายภาพตัดขวาง มีจุดเกาะต้น (origin) อยู่ที่กระดูกฟีเมอร์ (femur) มีจุดเกาะปลาย (insertion) อยู่ที่ฐานของกระดูกสะบ้า

ภาพที่ 3-31 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ โดยใช้เทคนิคภาพตัดขวาง

อ้างอิง (Pastaa et al., 2010)



2.4 เรกตัส ฟีเมอร์ริส (rectus femoris) เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงกลางของกล้ามเนื้อต้นขา มีขนาดใหญ่มองเห็นได้ชัด และอยู่บนกล้ามเนื้อวาสตัสอินเตอร์มีเดียส มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ด้านหน้าของกระดูกเชิงกราน ปุ่มกระดูกหน้าสุดด้านล่างบริเวณขอบบนของกระดูกไอเลียม (anterior superior iliac spine, ASIS) ยาวเป็นแนวตรงไปยึดเกาะกับลูกสะบ้า มีบทบาทหลักในกลุ่มกล้ามเนื้อ ในการช่วยเสริมการงอหรือพับสะโพกมาด้านหน้า (hip flexion)

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่ากลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ หรือกลุ่มควอดส ส่วนใหญ่มีจุดเกาะต้นและจุดเกาะปลายอยู่บริเวณกระดูกเชิงกราน กระดูขา และหัวเข่า กล้ามเนื้อนี้จึงเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเข่าโดยตรง เนื่องจากมีหน้าที่ในการงอและยืดเหยียดข้อต่อหัวเข่าและช่วยสร้างความมั่นคงความสมดุลให้กระดูกสะบ้าอยู่ในแนวตรง หากกล้ามเนื้อควอดสไม่แข็งแรง จะสร้างปัญหาสุขภาพให้เกิดขึ้นบริเวณหัวเข่า โดยเฉพาะในกิจกรรมหรือการออกกำลังกายที่หัวเข่าต้องทำงานมากขึ้นเช่นการลุก-นั่ง การขึ้น-ลง บันได ซึ่งกลุ่มอาการดังกล่าวจะพบมากขึ้นในกลุ่มผู้สูงอายุ ที่มีกล้ามเนื้อนี้ไม่แข็งแรงหรืออ่อนแรง (ภัชภิชา แก้วสุวรรณสุข, 2562)

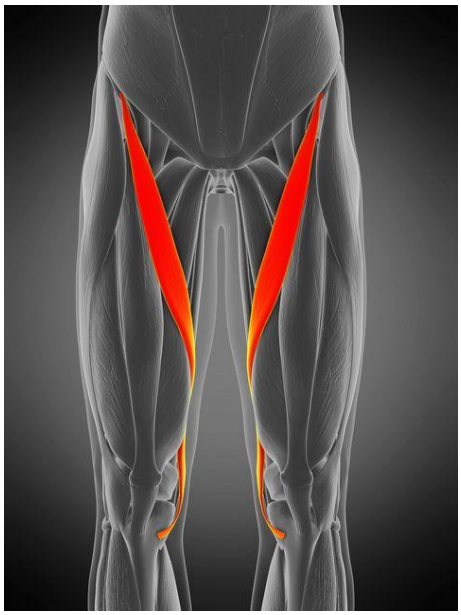
3. ซาร์โทเรียส (Sartorius)

กล้ามเนื้อซาร์โทเรียส เป็นกล้ามเนื้อที่ยาวที่สุดในร่างกาย มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ด้านนอกของกระดูกสะโพกแล้วพาดผ่านกลุ่มกล้ามเนื้อควอไดร์เซ็บ มายังที่จุดเกาะปลายซึ่งอยู่

บริเวณด้านในของกระดูกหัวเข่า มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของสะโพกและเข่า โดยมีหน้าที่พับขาและงอหัวเข่า

ภาพที่ 3-32 แสดงกล้ามเนื้อซาร์โทเรียส

แหล่งที่มา https://befitglitz.com/how-to-train-your-sartorius-muscle/

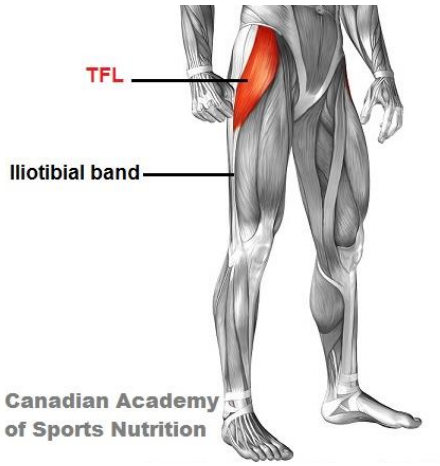


4. ทีเอฟแอล (tensor fasciae latae หรือ TFL)

ทีเอฟแอล เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านข้างของสะโพก มีจุดเกาะอยู่ที่ส่วนหน้าของกระดูกเชิงกราน และเชื่อมต่อกับไอทีแบนด์ (IT Band/ iliotibial band) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความหนา มีจุดเกาะบริเวณสะโพกส่วนบนเรื่อยลงมาถึงด้านข้างหัวเข่า ไอทีแบนด์จะเชื่อมต่อกับ ทีเอฟแอล กลูเตียสแม็กซิมัส (gluteus maximus) กลูเตียสมีเดียส (gluteus medius) แฮมสตริง (hamstring) และควอไดร์เซ็บ ที่บริเวณหัวเข่าทีเอฟแอล มีหน้าที่ในการกางและงอสะโพก รวมไปถึงการหมุนขาเข้าด้านใน

ภาพที่ 3-33 แสดงกล้ามเนื้อทีเอฟแอล และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันไอทีแบนด์

แหล่งที่มา https://www.caasn.com/hip-pain-tight-tensor-fasciae-latae.html



ปัจจุบันพบอาการผิดปกติของร่างกายที่เกิดจากการทำงานที่ผิดปกติของกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก เป็นจำนวนมาก นอกจากอาการเจ็บหลังล่าง (lower back pain) ที่มาจากการที่กล้ามเนื้ออิลิโอโซแอส หดตึงตัวเป็นเวลานาน ยังพบอาการเจ็บเข่าเมื่อวิ่งหรือเดินเร็วเนื่องจากความไม่สมดุลในการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก

ในการเดินเร็วหรือการวิ่งหากกล้ามเนื้อโซแอสไม่แข็งแรง จะทำให้เรกตัส ฟีเมอร์ริส ซึ่งเกาะอยู่ระหว่างสะโพกและเข่าต้องหดตัว (shortening) มากขึ้น ทำให้เกิดอาการเจ็บเข่าเวลาวิ่ง นอกจากนั้นยังอาจก่อให้เกิดอาการเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างและเชิงกราน นอกจากนั้นหากโซแอสไม่แข็งแรง จะทำให้เรายกเข่าได้ไม่สูงหรือน้อยลง การออกแรงในการเหยียดสะโพกในการเดินหรือการวิ่งก็ไม่สามารถทำได้เต็มที่

กิจวัตรที่ต้องนั่งเป็นเวลานาน ๆ ทำให้กลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพกมีการหดตัวมากเกินไป การหดตัวดังกล่าวอาจส่งผลกับท่าทางของเราในระยะยาว ไม่ว่าจะเป็นการยืนหรือการเดิน การหดตัวที่มากเกินไปจะส่งผลให้กล้ามเนื้อตึงตัวโดยเฉพาะกล้ามเนื้อสะโพกส่วนหน้า ส่งผลให้เกิดการลำตัวไปด้านหน้าในลักษณะของการงอสะโพก (hip flexion) และเพื่อชดเชยลักษณะดังกล่าว เวลาที่เรานั่งหรือยืนจึงจำเป็นจะต้องแอ่นหลังช่วย (spine extension) เพื่อให้ตัวตั้งตรง การแอ่นหลังเพื่อช่วยให้นั่งหรือยืนหลังตรงจะทำให้กล้ามเนื้ออีเร็คเตอร์สไปเน่ เกิดการหดตัวและอาจเป็นที่มาของการบาดเจ็บหลังส่วนล่าง

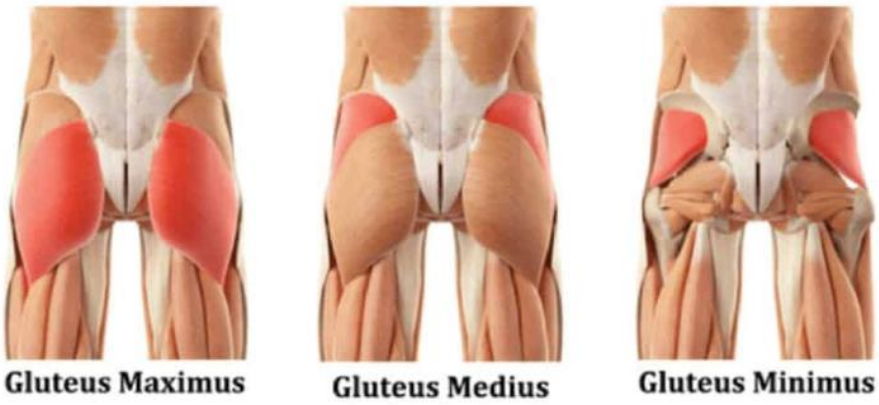
9.1.8 กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกและกางสะโพก (hip extensor, hip abductor)

กลุ่มกล้ามเนื้อกลูเตียส (gluteus) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่บริเวณสะโพกหรือก้น ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ 3 มันคือ กลูเตียสแม็กซิมัส (gluteus maximus) กลูเตียสมีเดียส (gluteus medius) และ กลูเตียสมินิมัส (gluteus minimus) ร่วมกันทำหน้าที่ในการหดตัวเพื่อสร้างการเคลื่อนไหวของขา

ปกติแล้วกลูเตียสแม็กซิมัส จะเป็นกล้ามเนื้อหลักที่ใช้ในการเหยียดสะโพก นอกจากนั้นยังมีหน้าที่ในการหมุนออกด้านนอกหรือด้านข้าง ส่วนกลูเตียสมีเดียส และ กลูเตียสมินิมัส ทำหน้าที่กางขา (hip abduction) และหมุนขาเข้าด้านใน

ภาพที่ 3-34 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อกลูเตียส

แหล่งที่มา https://tgr.run/2020/11/22/gluteus-medius-activation-and-stretching-for-injury-free- running/



กล้ามเนื้อกลูเตียสแม็กซิมัส ถือเป็นกล้ามเนื้อมัดที่ใหญ่และหนักที่สุดในร่างกาย ในปัจจุบันจะพบผู้ที่มีอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก ที่มีสาเหตุเดียวกับกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (hip flexor) เนื่องจากวิถีชีวิตที่ต้องนั่งเป็นเวลานาน ๆ การนั่งเป็นเวลานาน ๆ ทำให้กล้ามเนื้องอสะโพกหดตัวสั้นอยู่ตลอดเวลาทำให้กล้ามเนื้อมีความตึง และส่งผลให้กล้ามเนื้อกลุ่มเหยียดสะโพก ไม่แข็งแรงตามไปด้วย เป็นที่มาของอาการปวดหลังล่าง (lower back pain) หรืออาการปวดร้าวลงที่ขา

9.1.8 กลุ่มกล้ามเนื้อขาด้านหลัง (hamstring)

แฮมสตริง (hamstring) เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อขาด้านหลัง เนื่องจากมีจุดเกาะที่

บริเวณเข่าและข้อต่อสะโพก จึงมีหน้าที่ในการงอเข่า (knee flexion), และเหยียดสะโพก (hip extension กล้ามเนื้อกลุ่มนี้ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อ 4 มัดคือ

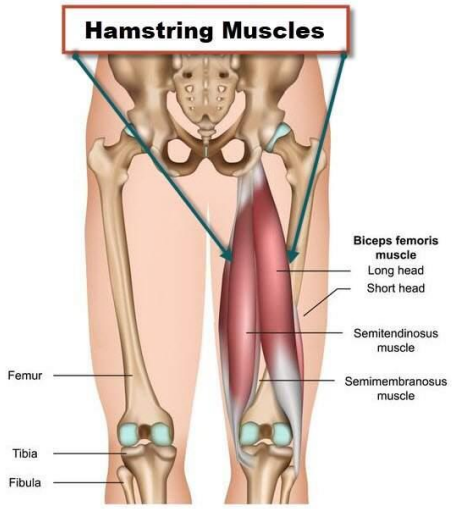
– เซมิเทนดิโนซัส (semitendinosus)

– เซมิเมมบราโนซัส (semimembranosus)

– ไบเซปส์ ฟีเมอร์ริส (biceps femoris) แยกเป็นกล้ามเนื้อหัวยาว (long head) กล้ามเนื้อหัวสั้น (short head)

ภาพที่ 3-35 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อ Hamstring

แหล่งที่มา https://www.joionline.net/trending/content/knee-anatomy



กล้ามเนื้อขาด้านหลังมีหน้าที่ในการงอหัวเข่า (knee flexion) ซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อทุกมัด เตะขาไปด้านหลังซึ่งเป็นการเหยียดสะโพก (hip extension) ในการเคลื่อนไหวนี้ซึ่งในกรณีนี้กล้ามเนื้อหัวสั้นของไบเซปส์ ฟีเมอร์ริส จะไม่ได้ทำงาน

เนื่องจากกล้ามเนื้อกลุ่มนี้เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่และยาว ทำให้เกิดอาการตึงแต่ไม่แข็งแรงได้ง่าย ทั้งนี้โดยเฉพาะผู้ที่มีกล้ามเนื้อหลังและก้นไม่แข็งแรง สำหรับอาการบาดเจ็บของกลุ่มกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ จะมีอาการเจ็บข้อพับเข่า (hamstring strain) ส่วนใหญ่พบในผู้ที่ชอบออกกำลังกายด้วยการวิ่ง โดยมีอาการปวดมากบริเวณข้อพับเข่า ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างกล้ามเนื้อกับเส้นเอ็นและง่ายต่อการฉีกขาด

สาเหตุของอาการเจ็บข้อพับเข่า อาจมาจากหลายปัจจัยเช่น

– กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า มีความแข็งแรงมากกว่ากล้ามเนื้อขาด้านหลัง ทำให้การออกแรงไม่สมดุลกัน เนื่องจากกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังจะถูกกระชากในเวลา ที่

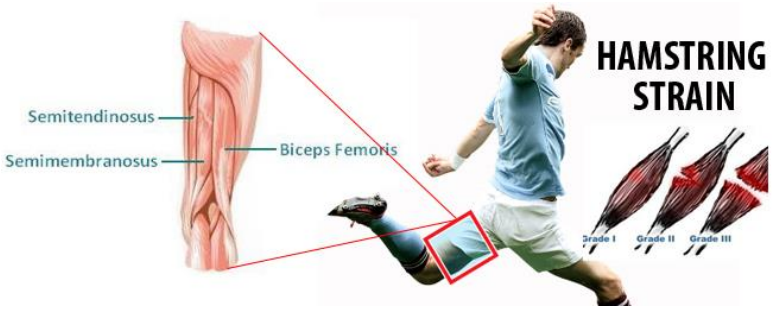
กล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าทำงาน เพราะไม่มีความแข็งแรงมากพอในการต้านแรงจากกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า

– กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังตึงมากจนขาดความยืดหยุ่นทำให้ง่ายต่อการเกิดอาการบาดเจ็บ

– การออกกำลังกายที่หนักหรือบ่อยเกินไปโดยเฉพาะการวิ่งหรือการงอเข่า โดยไม่มีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อส่วนที่เกี่ยวข้องเพียงพอ หรือการหยุดวิ่งทันทีหลังจากวิ่งเร็วทำให้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลังหดตัวอย่างรวดเร็ว

ภาพที่ 3-36 แสดงสาเหตุการเกิดอาการเจ็บข้อพับเข่า

แหล่งที่มา https://www.medyhealth.com/blog/hamstring-injury--causes-symptoms-and-treatment-109



9.1.10 กลุ่มกล้ามเนื้อน่อง: Calf Muscle

เมื่อพูดถึงกล้ามเนื้อน่อง หลายคนจะนึกถึงคำว่า แกสตรอคนีเมียส (gastrocnemius) แต่ในความเป็นจริงแล้ว แกสตรอคนีเมียส คือชื่อของกล้ามเนื้อมัดหนึ่งที่อยู่บริเวณด้านหลังปลายขาหรือน่อง ซึ่งประกอบจากกล้ามเนื้อมัดต่าง ๆ และรวมเรียกว่ากลุ่มกล้ามเนื้อไตรเซปซูราย (triceps surae) ที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 3 มัดคือ

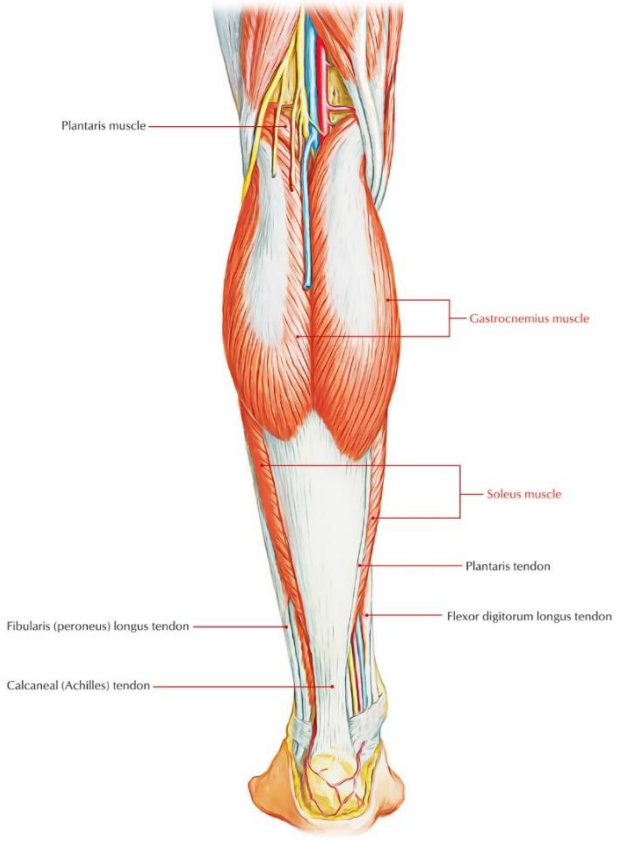
1. กล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียส (gastrocnemius) เป็นกล้ามเนื้อที่มีสองหัวหัวด้านนอก (lateral head) มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ปุ่มกระดูกต้นขาด้านนอก (lateral condyle of femur) ส่วนหัวด้านใน (medial head) มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ปุ่มกระดูกต้นขาด้านใน (medial condyle of femur) มีหน้าที่ในการหน้าที่ในการงอเข่าและเหยียดข้อเท้า

2. กล้ามเนื้อแพลนทาริส (plantaris) มีหน้าที่ในการหน้าที่ในการงอเข่าและเหยียดข้อเท้า

3. กล้ามเนื้อโซเลียส (soleus) มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ ซึ่งจุดเกาะต้น (origin) จะอยู่บริเวณกระดูกหน้าแข้ง มีหน้าที่ในการที่ในการเหยียดข้อเท้า

ภาพที่ 3–37 แสดงกลุ่มกล้ามเนื้อไตรเซปซูราย

แหล่งที่มา https://www.earthslab.com/anatomy/triceps-surae/



กล้ามเนื้อทั้ง 3 จะมีส่วนหัวกล้ามเนื้อที่เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสีขาวที่ยึดกล้ามเนื้อกับกระดูก (aponeurosis) และรวมตัวกันเป็นเอ็นรอยหวาย (achilles tendon) ที่สอดยึดเข้าไปในกระดูกส้นเท้า (calcaneus) ที่ใต้ฝ่าเท้า การทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อไตรเซปซูราย เป็นการทำงานในระนาบหน้า – หลัง (sagittal plane) และระนาบขอบฟ้า (transverse/ horizontal plane) เพื่อการรักษาสมดุลของฝ่าเท้า เช่น การงอฝ่าเท้า การเดินการวิ่ง การควบคุมร่างกายให้สามารถทรงตัวในการกระโดด

ทั้งนี้พบว่าการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อน่องในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาจะพบอาการบาดเจ็บบริเวณกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียส ได้บ่อยเนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่มีความยาวและยึดติดกับทั้งหัวเข่าและข้อเท้า ทั้งนี้การบาดเจ็บจะเกิดแตกต่างกันไปตามการออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาเช่น การวิ่ง มักพบอาการบาดเจ็บบริเวณเอ็นร้อยหวาย ทั้งนี้อาการบาดเจ็บบริเวณกล้ามเนื้อน่องส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในขณะที่มีการเพิ่มความเร็วในการวิ่งในระยะเวลาสั้น ๆ หรือการกระโดดที่ใช้แรงมาก ๆ (Fields& Rigby, 2016) สำหรับในผู้ที่เล่นกีฬาเทนนิสจะพบอาการที่เรียกว่า

อาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อแกสตรอคนีเมียสบริเวณหัวกลาง (medial head) เรียกอาการแบบนี้ว่า “tennis leg”

10. พังผืด (fascial)

พังผืดเป็นศัพท์ทางกายวิภาคที่ใช้อธิบายถึงระบบเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดคอลาเจน (collagenous connective tissue) ที่ปกคลุมและยึดโยงแผ่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ทั่วร่างกาย (Adstrum et al., 2016)

ระบบพังยืดเป็นเหมือนผ้ายืดชีวภาพบาง ๆ ที่ห่อหุ้มกล้ามเนื้อเนื้อและอวัยวะต่าง ๆ เอาไว้ภายใต้ชั้นผิวหนัง มีลักษณะเป็นตาขายหรือเส้นใยแมงมุมคล้าย ๆ เส้นใยตาข่ายที่ปกคลุมเนื้อส้มเมื่อปลอกผลส้มออกมา ด้วยเหตุที่พังผืดเป็นเหมือนเส้นใยที่ปกคลุมอวัยวะและกล้ามเนื้อทำให้มีบทบาทในการเคลื่อนไหวเนื่องจากพังผืดประกอบขึ้นจากเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีคุณสมบัติในการยืดและหดตัวคล้าย ๆ หนังสติ๊กหรือสปริง จึงทำงานในการเคลื่อนไหวอย่างช้า ๆ เพื่อช่วยลดแรงต้านจากภายเนื้อเยื่อหรือกล้ามเนื้อ

การที่ระบบพังผืดครอบคลุมทุกโครงสร้างของร่างกาย จึงทำให้เกิดความต่อเนื่องของโครงสร้างและหน้าที่กับทุกเนื้อเยื่อและอวัยวะ เนื้อเยื่อพังผืดจะกระจายตัวไปยังระบบต่าง ๆ ทั่วร่างกาย โดยการพันและแทรกซึม เป็นสิ่งที่ค้ำจุนในกับระบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระแสเลือด เนื้อเยื่อกระดูก ร่วมไปถึงสมอง และกล้ามเนื้อโครงร่าง พังผืดจะมีชั้นที่แตกต่างและมีความลึกหลายระดับตั้งแต่ผิวหนังไปจนถึงกระดูก ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่าเมคาโนเมตาบอลิสามมิติ (three-dimensional mechano-metabolic structure) (Bordoni et al., 2017) การที่ระบบพังผืดแทรกซึมและล้อมรอบอวัยวะ กล้ามเนื้อ กระดูก และเส้นใยประสาททั้งหมด ทำให้ร่างกายมีโครงสร้างการทำงานและให้สภาพแวดล้อมที่ช่วยให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกายทำงานในลักษณะบูรณาการ ซึ่งเป็นคำจำกัดความที่กว้างที่สุดของระบบพังผืด (Bordoni et al., 2021)

ถึงแม้จะเป็นเส้นใยบาง ๆ ที่ห่อหุ้มและปกคลุมอวัยวะต่าง ๆ ไปทั่วร่างกาย แต่ความหนาของพังผืดในแต่ละจุดนั้นจะแตกต่างกันไป โดยเฉพาะในบางจุดที่กล้ามเนื้อมีความตึงตัวสูงอันเนื่องมาจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจากกิจวัตรประจำวันที่ต้องทำท่าทางบางอย่างซ้ำ ๆ เช่นการต้องนั่งโต๊ะทำงานหรือวิถีชีวิตที่นั่งเล่นโทรศัพท์หรือคอมพิวเตอร์ทั้งวัน หรือที่เราเรียกว่าภาวะออฟฟิศซินโดรม และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรัง

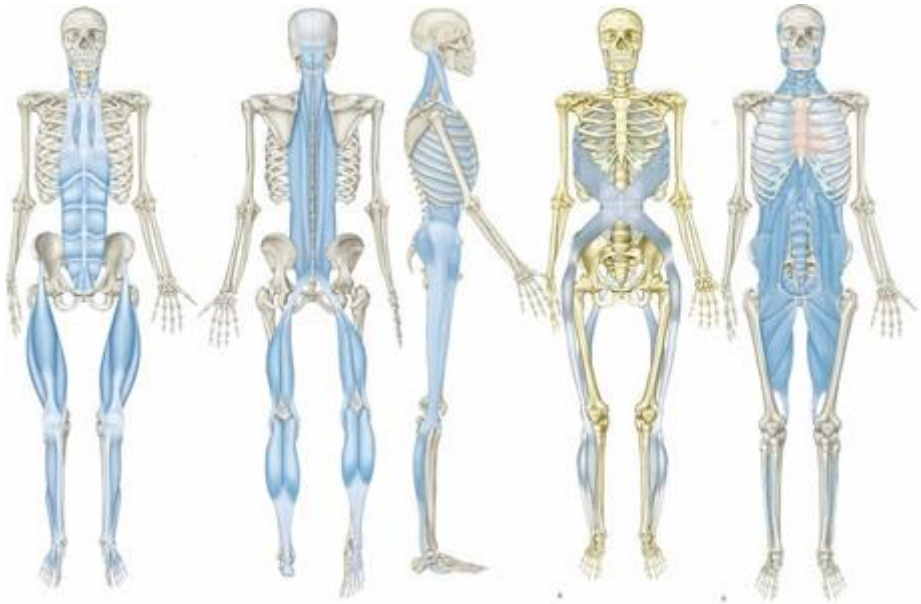
11. กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังที่เกิดจากพังผืด (myofascial pain syndrome/ MPS)

เป็นกลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังที่เกิดจากพังผืด (myofascial) เกิดการหดเกร็งตัวเป็นปมแข็งกลายเป็นจุดกดเจ็บบนกล้ามเนื้อ (myofascial trigger points/ MTrPs) จะมีอาการปวดร้าว หรือมีอาการของระบบประสาทอัตโนมัติที่เกี่ยวเนื่องจากจุดกดเจ็บ บริเวณกล้ามเนื้อมัดใดมัดหนึ่งมีลักษณะเป็นปมของกล้ามเนื้อ ไวต่อการสัมผัสและมีอาการเจ็บปวดเมื่อสัมผัส ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้มาก

เกินไป เพราะกล้ามเนื้อยืดตัวจากความเครียดซ้ำ ๆ จากท่าทางที่ไม่ดีในชีวิตประจำวัน (office syndrome) ทำให้เกิดภาวะจุดกดเก็บที่กล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นจากการตึงของเส้นใยกล้ามเนื้อหรือแถบของพังผืด (Marieb& Hoehn, 2013) นอกจากนั้นแล้วจุดกดเจ็บบนกล้ามเนื้อยังมาจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อที่รุนแรงจากอุบัติเหตุ การผ่าตัด ปัจจัยความเครียดทางจิตใจ การบาดเจ็บเพียงเล็กน้อยเป็นต้น อาการปวดร้าว (referred pain) และจุดกดเจ็บบนกล้ามเนื้ออาจพบร่วมกับภาวะภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งตัว (muscle spasm) ด้วย (วิมล ศรีวิชา, 2559)

ภาพที่ 3-38 แสดงแนวพังผืดที่ปกคลุมอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย

แหล่งที่มา https://bodyworksclinic.org/fascia-our-extraordinary-system/

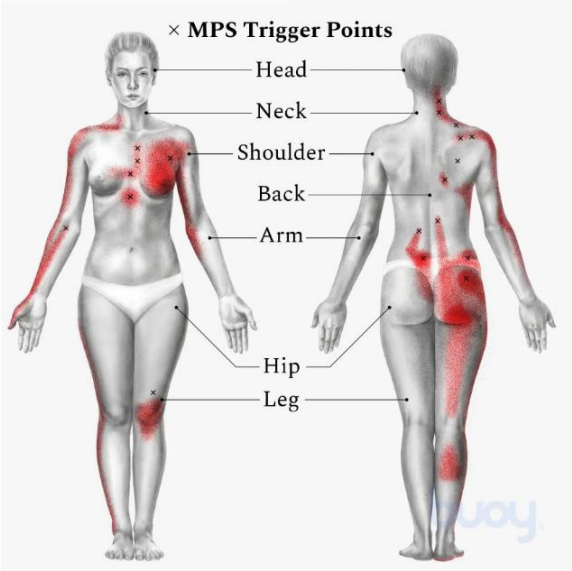


กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรัง มักเกิดขึ้นบริเวณกล้ามเนื้อโครงร่างที่เกี่ยวข้องกับการทรงตัว (postural tonic muscles) เช่น กล้ามเนื้อหลัง (erector spinae) กล้ามเนื้อโพก (gluteus) และกลุ่มกล้ามเนื้อคอ (posterior cervical) ที่พบว่ามีอาการปวดเรื้อรังได้ (Minerbi& Vulfsons, 2018) ทั้งนี้พบว่าประชากรในทุกกลุ่มสามารถที่จะเกิดอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังได้ ทั้งในผู้ที่ออกกำลังกายและเล่นกีฬา ผู้ที่มีกิจวัตรประจำวันที่ต้องประกอบกิจกรรมทางกายตลอดเวลา ผู้สูงอายุ ผู้ที่ประกอบอาชีพที่ต้องใช้กิจกรรมทางกายร่างกายมาก นอกจานั้นอาการฟกช้ำ เคล็ดขัดยอก และความเครียด อาจกระตุ้นการเกิดอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังแบบเฉียบพลันได้ อาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังอาจเริ่มต้นจากการบาดเจ็บไม่มากแต่มีอาการบาดเจ็บซ้ำ ๆ หรือการใช้งานของกล้ามเนื้อมากเกินไป (overload) ซึ่งในระยะยาวจะนำไปสู่อาการแบบเรื้อรังซึ่งสามารถรักษาได้ด้วยการออกกำลังกายให้กลุ่มกล้ามเนื้อ

ที่ไม่แข็งแรงมีการใช้งานเพื่อแก้ไขความไม่สมดุลของกล้ามเนื้อ การนวดและการยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อคลายจากการตึงตัว หรือการรักษาโดยการฝังเข็ม (Xiaoqiang, Shusheng& Qiangmin, 2014)

ภาพที่ 3-39 แสดงตำแหน่งของร่างกายที่มักเกิดอาการ MPS Trigger Points

แหล่งที่มา https://www.buoyhealth.com/learn/myofascial-pain-syndrome#definition



12. กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อเรื้อรังอื่น ๆ

1. การปวดหลังล่างจากกลุ่มกล้ามเนื้อ (quadratus lumborum/ QL) ทำงานมากเกินไป เนื่องจากกล้ามเนื้อกลุ่มนี้มีหน้าที่ในการรักษาความมั่นคงให้กับกระดูกสันหลังโดยเฉพาะหลังส่วนล่าง ทั้งเวลาที่ยืน เดินหรือนั่ง ดังนั้นการทำงานที่ต้องยืนหรือนั่งนาน ๆ โดยเฉพาะผู้ที่ต้องทำงานนั่งโต๊ะจะทำให้กล้ามเนื้อเกร็งค้างตลอดเวลาจนเกิดการตึงตัวหรือเกิดการอักเสบ โดยอาจมีอาการปวดหลังบริเวณเอวด้านข้างและอาจมีอาการร้าวลงกระเบนเหน็บ (SI-joint) งานวิจัยของผู้แต่งที่ศึกษาความชุกของอาการปวดหลังล่างในบุคลากรทางการแพทย์ พบว่าผู้ที่มีพฤติกรรมที่ต้องอยู่ในท่านั่งหรือยืนนาน ๆ จะมีอาการปวดหลังล่างมากกว่าผู้ที่ทำงานในแบบอื่น ๆ (Limpisophon et al., 2023) อีกทั้งกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ยังมีหน้าที่ในการช่วยแอ่นหลังล่าง ดังนั้นหากมีการหดตัวหรือทำงานมากเกินไปอาจทำให้เกิดภาวะหลังแอ่น (hyperlordosis) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาการปวดหลังล่างอาจมีสาเหตุมาจากด้านอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อหลังเช่น ภาวะเส้นประสาทถูกกดทับ การเสื่อมของกระดูก ภาวะโภชนาการ น้ำหนักตัวที่มากเกินไป (Shirr et al., 2010) สำหรับผู้ที่ปวดกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างจะมีอาการปวดที่เกิดขึ้นบริเวณ

ตั้งแต่ใต้ชายโครง (กระดูกซี่โครงซี่ที่ 12) ไปจนถึงใต้แก้มก้น (Furlan et al., 2002; Posadzki& Lizis, 2011)

2. กลุ่มอาการกล้ามเนื้อสะโพกเบียดเส้นประสาท (piriformis syndrome) พบมากในผู้ที่ต้องนั่งทำงานทั้งวัน เนื่องจากกล้ามเนื้อพิริฟอร์มิส (piriformis) เกิดการเกร็งตัวจนไปเบียดเส้นประสาททำให้เกิดอาการปวดสะโพกร้าวลงขา (sciatica pain) มีอาการปวดลึก ๆ รอบ ๆ สะโพก และมีอาการชาหรือร้าวลงขาด้านหลัง เมื่อต้องลุกหรือนั่งหรือเดิน

3. อาการสลักเพชรติด (sacroiliac joint dysfunction/ SI–Joint) มีอาการปวดสะโพกหรือต้นขาหรืออาจเกิดการร้าวจากสะโพกไปขา

4. อาการผังผืดกดทับเส้นประสาทข้อมือ (carpal tunnel syndrome/ CTS) พบมากขึ้นในปัจจุบันโดยเฉพาะผู้ที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์หรือผู้ที่เล่นเกมส์บ่อย ๆ จะมีอาการชาบริเวณนิ้วโดยจะเป็นมากเวลาที่ต้องใช้ข้อมือหรือหยิบจับสิ่งของ สาเหตุเกิดจากการอักเสบบริเวณข้อมือเนื่องจากการทำงานซ้ำ ๆ ส่งผลให้เกิดแรงกดไปที่เส้นประสาทที่ฝ่ามือ (median nerve)

13. การวัดขนาดของร่างกาย

การวัดขนาดของร่างกายในทางวิทยาศาสตร์การกีฬา เป็นการวัดเพื่อประเมินผลของการฝึกที่มีต่อการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ โดยทั่วไปจะใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำ เช่นเครื่องอัลตร้าซาวด์ (ultrasound) หรือการทำ เอ็มอาร์ไอ (MRI)

ภาพที่ 3–40 แสดงการใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์วัดขนาดของกล้ามเนื้อ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา มหาวิทยาลัยพะเยา





13.1 การวัดขนาดของร่างกายด้วยมิติเส้นรอบวง (circumferential dimension)

เนื่องจากการใช้เครื่อง อัลตร้าซาวด์ (ultrasound) หรือการทำ เอ็มอาร์ไอ (MRI) จำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงและอุปกรณ์ที่มีความสิ้นเปลือง การวัดขนาดของร่างกายด้วยมิติเส้นรอบวง ซึ่งได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้ประเมินผลการของการออกกำลังกายที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อ และเป็นการวัดที่ง่าย สะดวก ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา และสามารถทำได้ในทุกเพศและทุกกลุ่มอายุ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงขนาดของกล้ามเนื้อ ในจุดที่สำคัญ ๆ คือ คอ (neck) แขนท่อนบน (upper arm) แขนทอนล่าง (forearm) อก (chest) เอว (waist) สะโพก (hips) ต้นขา (thigh) และน่อง (calf) ซึ่งจะทำการวัดโดยใช้หน่วยเป็นเซนติเมตรหรือนิ้วมีวิธีในการวัดดังนี้ (Verducci, 1980; สบสันติ์ มหานิยม, 2555; Firoozi et al., 2020)

1. แขนส่วนบนและส่วนล่าง วัดจากเส้นรอบของแขนส่วนบนขณะงอแขนทำมุมมากที่สุด (biceps circumference) โดยวัดจากส่วนที่กว้างมากที่สุด และวัดจากเส้นรอบวงแขนส่วนล่าง (forearm circumference) ขณะเหยียดแขนบริเวณที่กว้างมากที่สุด

ภาพที่ 3-41 แสดงการวัดขนาดแขนส่วนบนและส่วนล่าง





2. อก วัดจากเส้นรอบอกที่ระดับรักแร้ (chest circumference at scye) ในขณะหายใจออก

ภาพที่ 3-42 แสดงการวัดเส้นรอบอก



3. เอว วัดจากเส้นรอบเอวผ่านสะดือในขณะหายใจออก

ภาพที่ 3-43 แสดงการวัดเส้นรอบเอว



4. **สะโพก** วัดจากเส้นรอบสะโพกผ่านหัวหน่าวด้านหน้า

ภาพที่ 3-44 แสดงการวัดเส้นเส้นรอบสะโพก



5. **ขาส่วนบน** วัดจากเส้นรอบวงขาส่วนบน (upper thigh circumference) บริเวณที่กว้างที่สุด

ภาพที่ 3-45 แสดงการวัดเส้นรอบวงขาส่วนบน



6. **น่อง** วัดจากเส้นรอบน่อง (calf circumference) ช่วงที่กว้างที่สุด

ภาพที่ 3-46 แสดงการวัดเส้นรอบน่อง



สรุป

ระบบทางสีรรวิทยาและกายวิภาคศาสตร์เป็นพื้นฐานที่สำคัญของสมรรถภาพทางกาย เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะกล้ามและกระดูกของร่างกายซึ่งมีหน้าที่โดยตรงในการคลื่อนไหว เพื่อให้เกิดกิจกรรมทางกายในแบบต่าง ๆ การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่อจึงเป็นสิ่งที่ต้องเรียนรู้และคำนึงถึงในการดูแล ส่งเสริมและการพัฒนาสมรรถภาพทางกาย เพื่อให้สามารถใช้ชีวิตได้อย่างมีคุณภาพชีวิตที่ดี

บรรณานุกรม

คณะกรรมการและคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. 2563. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2563. สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ.วี. โปรเกรสซีฟ กรุงเทพมหานคร.

ภัชภิชา แก้วสุวรรณสุข. (2562). Strengthen the Quadriceps เสริมสร้างความแข็งแรงให้ต้นขาด้านหน้า. หนังสือพิมพ์ Post Today วันที่ 19 ม.ค. 2562.

วิมล ศรีวิชา. (2559). การรักษาทางกายภาพบำบัดในผู้ป่วยที่มีอาการปวดกล้ามเนื้อและพังผืด (Myofascial Pain Syndrome). Hua Hin Sook Jai Klai Kangwon Journal. ปีที่ 1ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2559.

สบสันติ์ มหานิยม. (2555). ผลของการฝึกด้วยน้ำหนักที่มีต่อสมรรถภาพทางกายและสัดส่วนร่างกายของนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการฝึกด้วยน้ำหนัก หมู่837,839และ 850. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

แสงหล้า พลนอก. (2552). การประเมินระบบกระดูก กล้ามเนื้อ. โครงการตำราคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

หนังสือพิมพ์ผู้จัดการ. (2560). จริงหรือที่เขาว่า “มนุษย์ทุกคนล้วนเป็นญาติกัน”? กับบรรพบุรุษของคนแซ่ลิ้ม. ฉบับวันที่ 15 พฤษภาคม 2560

Adstrum, S., Hedley, G., Schleip, R.& et al. (2016). Defining the fascial system. Journal of Bodywork and Movement Therapies. 21(1): 173–177.

An illustrated guide. (2020). Mammal anatomy, New York: Marshall Cavendish. p. 129

Awtry, E.H.& Balady, G J. (2007). "Exercise and Physical Activity". In Topol, Eric J. (ed.). Textbook of Cardiovascular Medicine (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkin. p. 83

Bordoni, B., Marelli, F., Morabito, B.& Sacconi, B. (2017). The indeterminable resilience of the fascial system. J Integr Med. 2017 Sep;15(5):337–343.

Bordoni, B., Mahabadi, N.& Varacallo, M. (2021). StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): July 22, 2021. Anatomy, Fascia.

Bonnet, N.& Ferrari, S. L. (2010). Exercise and the skeleton: How it work and what it really does IBMS BoneKEy: 7, 235–248 (2010)

Clark, M.A., Lucet, S.C., McGill, E.& et al. (2018). NASM Essentials of Personal Fitness Training, 6th Edition. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning.

Costill, D. L.& Wilmore, J. H. (2004). Physiology of Sport and Exercise. Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Chen, F.C.& Li, W.H. (2001). Genomic divergences between humans and other hominoids and the effective population size of the common ancestor of humans and chimpanzees. Am. J. Hum. Genet. 68: 444–456.

Cureton, K.J., Tomporowski, P.D., Singhal, A.& et al. (2009). Dietary quercetin supplementation is not ergogenic in untrained men. J Appl Physiol. 2009. 107:1095–104.

Dumke, C.L., Nieman, D.C., Utter, A.C.& et al. (2009). Quercetin's effect on cycling efficiency and substrate utilization. Appl Physiol Nutr Metab. 2009

Davis J.M., Carlstedt, C.J., Chen, S.& et al. (2010). The dietary flavonoid quercetin increases VO_2max and endurance capacity. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2010. 20:56–62.

Davis, J.M., Murphy, E.A., Carmichael, M.D.& Davis, B. (2009). Quercetin increases brain and muscle mitochondrial biogenesis and exercise tolerance. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2009. 296: R1071–7.

Fields, K. B., & Rigby, M. D. (2016). Muscular calf injuries in runners. Current sports medicine reports, 15(5), 320–324.

Firoozi, H., Arazi, H.& Asadi, A. (2020). Effects of a resistance training program on muscular Performance adaptations: comparing three vs. four times per week. Biomedical Human Kinetics. 12: 149–156.

Furlan, D.A., Brosseau, L., Imamura. M.& Irvin, M. (2002). Massage for low back pain: A systematic Review within the Framework of the Cochrane Collaboration Back Review Group. Spine; 27 (17): 1896–1910.

Guyton, A. C.& Hall, J.E. (2011). Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology (12thed.). Philadelphia: Saunders/Elsevier. p3.Kim, Suhn–Yeop., Kwon, Jae–Hoak. Lumbar stability exercises using the sling system. J of Kor Acad Orth Manu Ther. 2001; 7:23–39.

Jayaweera, S. (2024). Sheldon's Body Types Vs. Sociology of Body: Revisiting Somatoform Theory through a Social Constructionist View. The Journal of Desk Research Review and Analysis – JDRRA. 1(1): 01–22.

Liu, C.J., Shiroy, D.M., Jones, L.Y.& et al. (2014). Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. European Review of Aging and Physical Activity. 11: 95–106.

Marieb, E.N.& Hoehn, K.N. (2013). Human anatomy & physiology. Pearson Education. p. 133.

Marcolin, G., Panizzolo, F.A., Petrone, N.& et al. (2018). Differences in electromyographic activity of biceps brachii and brachioradialis while performing three variants of curl. Peer J. 6:

e5165.

McConkey, E.H.& Varki, A. (2005). Thoughts on the future of great ape research. Science 309: 1499–1501.

Minerbi, A.& Vulfsons, S. (2018) Challenging the Cinderella Hypothesis: A New Model for the Role of the Motor Unit Recruitment Pattern in the Pathogenesis of Myofascial Pain Syndrome in Postural Muscles, Rambam Maimonides Medical Journal, 9; 3: 1–8.

Neuman, D.A. (2010). Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation. St. Louis, MO: Mosby/Elsevier.

Ordovas, J.M., Kaput, J.& Corella, D. (2007). Nutrition in the genomics era: Cardiovascular disease risk and the Mediterranean diet. Mol Nutr Food Res. 2007. 51:1293–9.

Ortega, R.M. (2006). Importance of functional foods in the Mediterranean diet. Public Health Nutr. 2006. 9:1136–40.

Oliveira, L.F., Matta, T.T., Alves, D.S. & et al. (2009). Effect of the shoulder position on the biceps brachii emg in different dumbbell curls. J Sports Sci Med. 8(1): 24–9.

Pastaa, G., Nannib, G., Molinic, L.& et al. (2010). Sonography of the quadriceps muscle: Examination technique, normal anatomy, and traumatic lesions. Journal of Ultrasound. 13(2): 76–84

Posadzki, P., Lizis, P.& Hagner–Derengowska, M. (2011). Pilates for low back pain: A systematic review. Complement Ther Clin Pract 2011; 17: 85–89.

Prosser, C. L. (1991). Comparative Animal Physiology, Environmental and Metabolic Animal Physiology (4th ed.). Hoboken, NJ: Wiley–Liss. p1.

Puterman, E., Lin, J., Blackburn, E.& et al. (2010). The power of exercise: buffering the effect of chronic stress on telomere length. PLoS One. 2010 May 26;5(5).

Trinkaus, E. (2005). "Early Modern Humans". Annual Review of Anthropology. 34: 207–30.

Shenoy, S. F., Chowanadisai, W., Sharman, E., Keen, C.L.& et al. (2011). Biofactors in food promote health by enhancing mitochondrial function. California Agriculture. 65(3): 141–147.

Shirr, R., Karppinen, J., Leino–Arjas, P.& et al. The association between obesity and low back pain: A Meta–analysis. Am. J. Epidemiol, 171: 135–154.

Telford, A., Malpeli, R., Whittle, R.& et al., (2017). Nelson physical education VCE units 1 & 2. South Melbourne, Vic. : Nelson Cengage Learning.

Limpisophon, T., Pabpai, S., Rugbumrung, M.& Rukbumrung, T. (2023) Prevalence and Job Behavioral Risk factors cause Low Back Pain among Nursing staff in Tertiary Care Hospital.

Kurdish Studies. 11(02): pp. 1698–1708.

Urits, I., Burshtein, A., Sharma, M.& et al. (2019). Low Back Pain, a Comprehensive Review: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment. Curr Pain Headache Rep. 23(3): 23.

Verducci, F. (1980). Measurement concepts in physical education, St.Louis: The C.V. Mosby Company.

Xiaoqiang, Z., Shusheng, T.& Qiangmin, H. (2014) Understanding of Myofascial Trigger Points, Chinese Medical Journal. 127; 24: 1–7.

Yu, Seong–Hun.& Park, Seong–Doo. (2013). The effects of core stability strength exercise on muscle activity and trunk impairment scale in stroke patients. J Exerc Rehabil. 9(3): 362–367.

บทที่ 4
การเคลื่อนไหวและการประยุกต์ใช้
Movement and Application

การเคลื่อนไหวของร่างกายเกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายด้านต่าง ๆ โดยตรง การเคลื่อนไหวของร่างกายเป็นการทำงานร่วมกันของระบบทางสรีรวิทยาที่ทำให้เกิดท่าทางและกิจกรรมซึ่งจะเกี่ยวพันกับกระดูก กล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และระบบพังผืด การทำความเข้าใจการเคลื่อนไหวของร่างกายจำเป็นจะต้องใช้ความรู้และหลักการทางกายวิภาคศาสตร์เพื่อการวิเคราะห์ท่าทางของการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เพื่อที่จะได้สามารถออกกำลังกายและการเล่นกีฬา ได้อย่างเหมาะสม ทำให้การออกกำลังกายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพช่วยพัฒนาสมรรถภาพทางกายให้ดียิ่งขึ้น

ในการทำความเข้าใจเรื่องการเคลื่อนไหวของร่างกาย เราจำเป็นจะต้องทราบพื้นฐานท่าทางและการทำงานของร่างกายที่เกี่ยวข้องเช่น การหยิบ การจับ การบีบ โดยการใช้แขนส่วนล่าง (forearm) การยกของขึ้นจะเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อแขนส่วนบน (biceps) ซึ่งกล้ามเนื้อที่ทำงานมากที่สุดคือ การผลัก การดัน การดึงของเข้าหาตัวจะเป็นกล้ามเนื้อบริเวณอก (pectoralis) โดยอาจจะมีกลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณหลังทำงานช่วย การทรงตัวการรักษาสมดุลของร่างกายจะเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางและกลุ่มสะโพก การเดิน การวิ่ง จะเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อบริเวณต้นขาสะโพก ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็นกลุ่มงอและเหยียดสะโพก (hip flexor and hip extensor) เป็นต้น การทำความเข้าใจการทำงานของร่างกายจะสามารถทำให้เราวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเพื่อเป็นพื้นฐานในการออกกำลังกายและเล่นกีฬาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. การเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน (fundamental movement)

การเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐานถือเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำกิจกรรมทางกาย การออกกำลังกายและการเล่นกีฬา เนื่องจากเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่จะประกอบเป็นการเคลื่อนไหวของกิจกรรมที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ (locomotor) เช่นการเดิน วิ่ง หรือกระโดด หรือกิจกรรมที่ใช้ร่างกายสัมผัสกับอุปกรณ์การออกกำลังกายเช่นการจับ การเตะ การตี หรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสมดุลในการเคลื่อนไหว (Barnett et al., 2016; Hulteen et al., 2018)

ปัจจุบันมีวิธีการจัดรูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐานหลายวิธีการ ทั้งนี้ผู้เขียนจะขอเลือกวิธีการที่จัดรูปแบบการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐานไว้เป็น 7 รูปแบบ เนื่องจากเห็นว่าเป็นการจำแนกท่าทางพื้นฐานตามการเคลื่อนไหวของการทำกิจกรรมทางกายที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้ง่ายและชัดเจนที่สุด

1.1 รูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐาน 7 รูปแบบ (7 movement patterns exercise)

รูปแบบการเคลื่อนไหว 7 รูปแบบในการออกกำลังกายนั้น เป็นรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่การทำงานของร่างกาย (functional movement) การเคลื่อนไหวทั้ง 7 รูปแบบจะเป็นพื้นฐานของการออกกำลังกายในท่าทางต่าง ๆ โดยเฉพาะการออกกำลังกายแบบฟังก์ชันนอลเทรนนิ่ง (functional training) (Nguyen, 2016; Jessica, 2016)

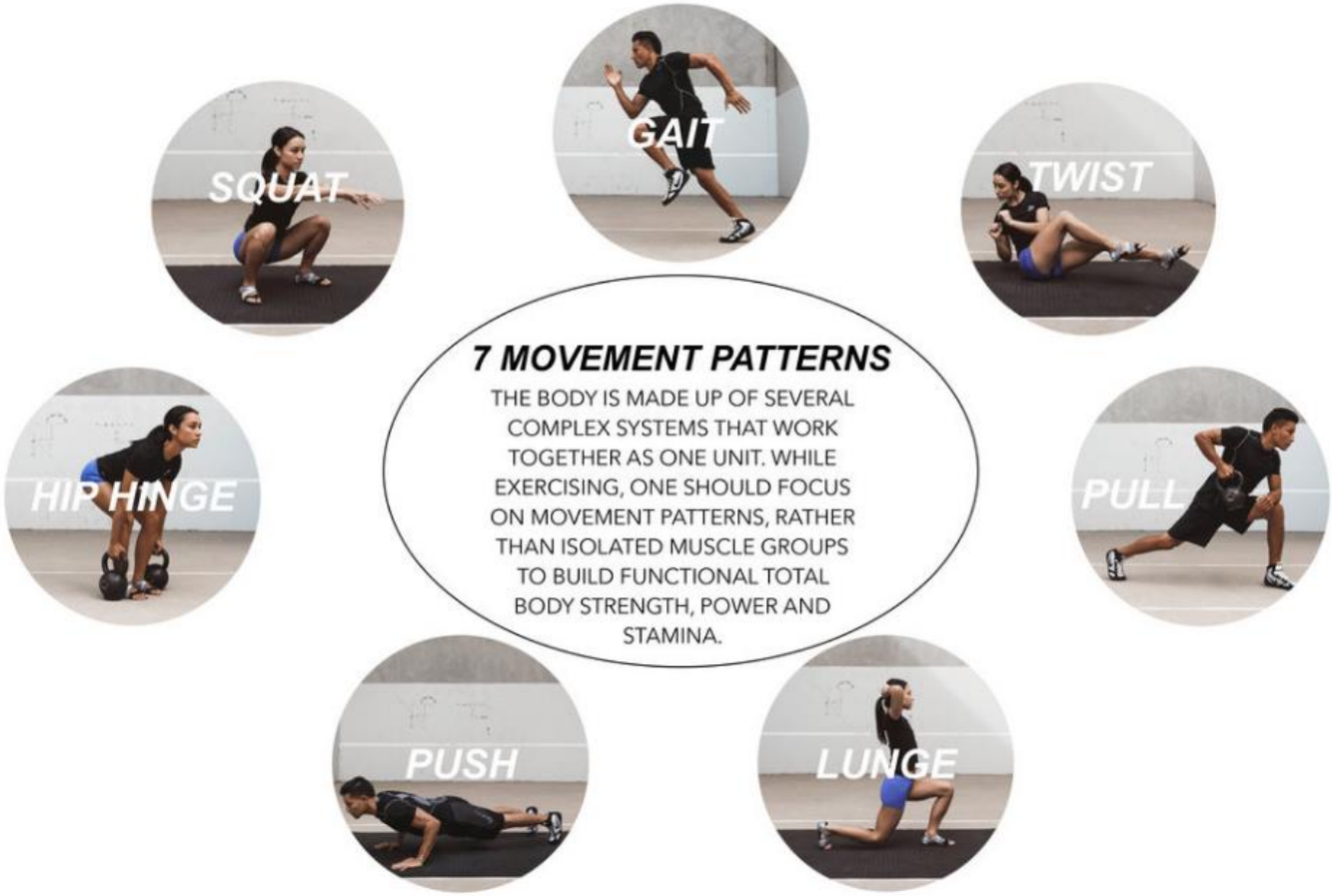
การฝึกฟังก์ชันนอลเทรนนิ่ง (functional training)

จากการสำรวจของ ACSM Worldwide Fitness Trends พบว่าการฝึกฟังก์ชันนอลเทรนนิ่ง เป็นการฝึกออกกำลังกายที่นิยมและอยู่ในลำดับต้น ๆ ของเทรนการออกกำลังกายทั่วโลกมาตั้งแต่ปี 2567 จนถึงปีปัจจุบัน (Newsome& et al., 2024; Camhi& et al., 2026) เนื่องจากเป็นการฝึกออกกำลังกายที่จำลองรูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐานหรือการใช้งานของร่างกายในชีวิตประจำวันกับอุปกรณ์ต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการส่งผลต่อการประกอบกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้ดี ช่วยพัฒนาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (joint) การทำงานประสานกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (muscle coordination) สร้างความแข็งแรงและความอดทนของร่างกายในการประกอบกิจวัตรประจำวัน ช่วยป้องกันอาการบาดเจ็บจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน (Cook, 2006; Dipietro et al., 2019; Newsome et al., 2024; Wang et al., 2024) ทำให้การดำเนินชีวิตประจำวันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีรูปแบบการเคลื่อนไหวในการฝึกร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญ ๆ ก็คือ การย่อ การพับตัว การพลัก การดัน การดึง และการหมุน ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวที่ใช้เพื่อการททดสอบเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน (FMS–test) ซึ่งประกอบไปด้วยการก้าว–เดิน การย่อตัว การก้าวไป–กลับ การผลัก และการหมุน เป็นต้น (Cook, 2006; Dipietro et al., 2019) และเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหว พื้นฐาน 7 รูปแบบ (7 movement patterns exercise) ดังนั้นผู้แต่งจึงขอแนะนำการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน 7 รูปแบบ อย่างที่กล่าวมาแล้วตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การย่อตัว (squat)
2) การพับสะโพกหรือลำตัว (hip–hinge)
3) ก้าวไป–กลับ (lunge)
4) การก้าว–เดิน หรือการวิ่ง (gait)
5) การผลักหรือการดัน (push)
6) การดึง (pull)
7) การหมุน (rotation & twist)

ภาพที่ 4–1 รูปแบบการเคลื่อนไหว 7 รูปแบบ

แหล่งที่มา https://www.wellforculture.com/sevenbasicmovements



1. การย่อ–ยกตัว (squat)

การย่อและยกลำตัว หรือการลุก–นั่ง เป็นท่าทางพื้นฐานที่สุดในชีวิตประจำวันของมนุษย์ตั้งแต่ตื่นนอนจนถึงเข้านอน เนื่องจากเป็นการเคลื่อนไหวร่างกายในการเปลี่ยนอิริยาบถหนึ่งสู่อิริยาบถหนึ่ง การที่จะทำการเคลื่อนไหวร่างกายในการย่อ–ยกลำตัวได้ดี ร่างกายจะเป็นจะต้องมีกล้ามเนื้อแกนกลางและขาที่มีความแข็งแรงและสมดุล และมีการเคลื่อนไหวของหัวเข่าที่มีความมั่นคง (Pauli et al., 2016)

ตัวอย่างการประยุกต์ท่าทางการออกกำลังกายที่การเคลื่อนไหวในรูปแบบย่อ–ยก ที่ชัดเจนที่สุดคือการทำท่าทางการออกกำลังกายที่มีชื่อว่า สควอท (squat) ซึ่งเป็นชื่อเดียวกับท่าทางในการเคลื่อนไหวนี้ในภาษาอังกฤษ ท่าทางการออกกำลังกายนี้ถือเป็นท่าที่ดีที่สุดท่าหนึ่ง เนื่องจากร่างกายจะมีการย่อและยกตัว ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความแข็งแรงของต้นขาด้านหน้า สะโพก หลังส่วนล่าง ควบคู่ไปกับสมดุลของการทรงตัวที่ดี ท่านี้เป็นท่าทางการออกกำลังกายที่ดีในการพัฒนาร่างกายส่วนล่าง ไม่ว่าจะเป็นกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า สะโพก กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และกลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก (hip flexors) นอกจากผลที่มีต่อกล้ามเนื้อโดยตรงแล้วยังพบอีกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยท่าสควอท สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อและปอด (Jeon& et al., 2018) มีประสิทธิภาพในการลดร้อยละของไขมันในร่างกาย เพิ่มมวลกล้ามเนื้อ เพิ่มค่าการใช้ของออกซิเจนหลังการออกกำลังกาย และเพิ่มกระบวนการเผาผลาญแบบแอโรบิกซึ่งใช้พลังงานจากไขมันเป็นส่วนใหญ่ (Serin& Ziyagil, 2020)

ภาพที่ 4–2 รูปแบบการเคลื่อนไหวแบบสควอท





สควอท เป็นท่าหลักของรูปแบบการเคลื่อนไหวนี้ โดยมีความลึกในการย่อตัวเพื่อฝึกหลัก ๆ 3 แบบคือ

1. ฮาล์ฟสควอท (half squat) เป็นท่าเบื้องต้นสำหรับผู้เริ่มฝึก ความลึกในการย่อไม่มาก ใช้เพื่อฝึกท่าทางให้ถูกต้องสำหรับการฝึกแบบอื่น ๆ ต่อไป องศาในการเคลื่อนไหวของเข่าเมื่อเทียบกับแนวลำตัวในท่านี้มากกว่า 90 องศา

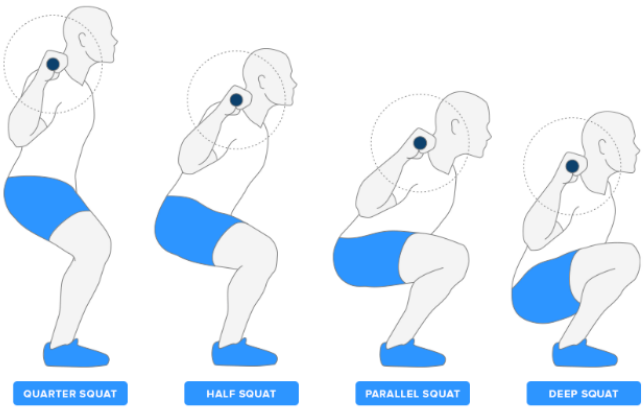
2. พาราแรลสควอท (parallel squat) หรือสควอชขนานพื้น หรือสควชเก้าอี้ เป็นความลึกที่มีขนาดพอ ๆ กับการย่อตัวลงนั่งเก้าอี้คือมีองศาของเข่าเมื่อเทียบกับแนวลำตัวประมาณ 90 องศา หรืออาจมากกว่าหรือน้อยกว่าไม่มากนัก

3. ดีฟสควอท (deep/ full squat) เป็นความลึกของการย่อตัวมากที่สุดในการฝึกสควอท มีองศาของเข่าเมื่อเทียบกับแนวลำตัวน้อยกว่า 90 องศา

พบว่าการฝึกแบบพาราแรลสควอท และดีฟสควอทมีประสิทธิภาพในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายจากการทดสอบแรง 1RM การทดสอบกระโดดแนวดิ่ง (คาน์เตอร์มูฟเมนต์/ countermovement jump การวิ่ง 20 เมตร และการทดสอบวินเกต (wingate tests) ได้ดีกว่า การฝึกแบบฮาล์ฟสควอท และพบว่าผู้ที่ฝึกในท่าฮาล์ฟสควอทมีรายงานการเจ็บหัวเข่า และความรู้สึกของการเคลื่อนไหวที่ไม่สบายมากกว่าการฝึกแบบอื่น (Pallarés et al., 2020) การฝึกแบบดีฟสควอทมีประสิทธิภาพมากกว่าการฝึกแบบฮาล์ฟสควอท ในการพัฒนากล้ามเนื้อแขนขาส่วนล่าง ยกเว้นกล้ามเนื้อเรคตัสฟีเอร์มริส (rectus femoris) และเอ็นร้อยหวาย (Kubo et al., 2019)

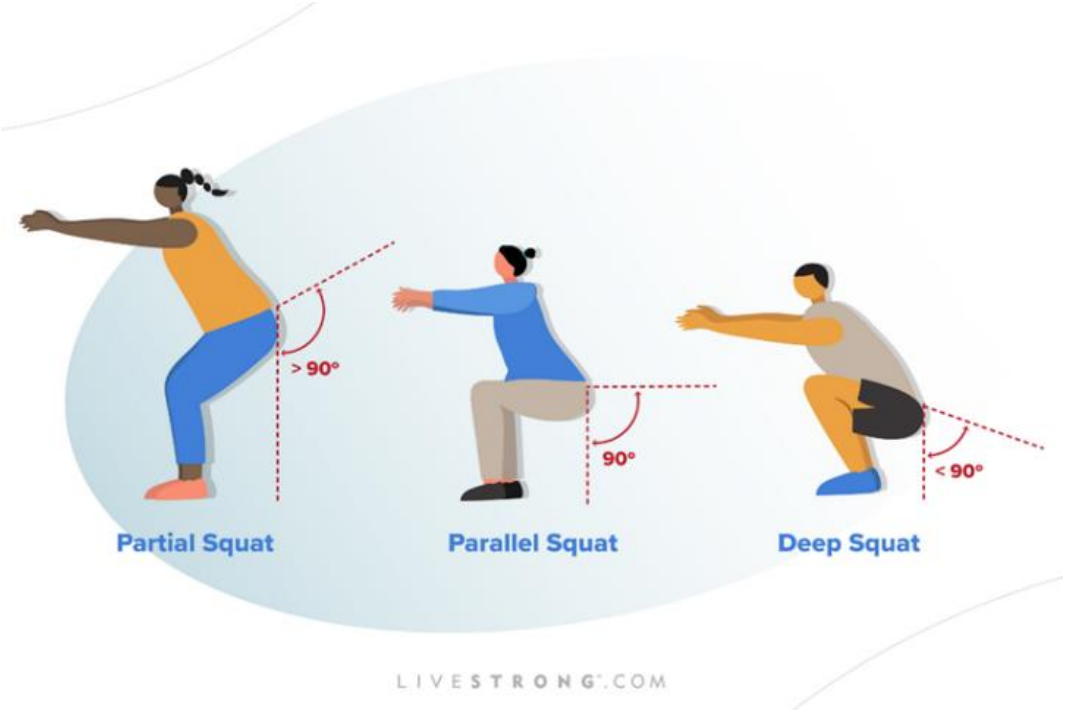
ภาพที่ 4-3 รูปแบบการออกกำลังกายในท่าสควอท

แหล่งที่มา https://legionathletics.com/how-deep-to-squat/



ภาพที่ 4–4 รูปแบบการออกกำลังกายในท่าสควอท

แหล่งที่มา https://www.livestrong.com/article/13725033–deep–squat–vs–regular–squat/



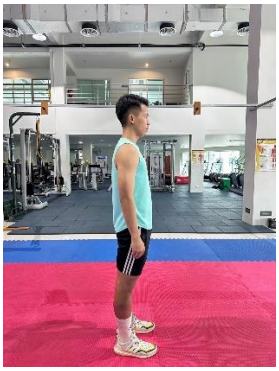
จากภาพที่ 4 –3 และ 4–4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบมุมและองศาการเคลื่อนที่ของร่างกายส่วนล่างที่ทำท่าสควอทในแบบต่าง ๆ ทำให้อาจมีข้อกังวลว่าการฝึกดีฟสควอทจะทำให้ผู้ฝึกมีอาการบาดเจ็บโดยเฉพาะอาการบาดเจ็บที่บริเวณเข่า แต่จากรายงานการศึกษาวิจัยที่ศึกษานักกีฬายกน้ำหนักซึ่งจะต้องฝึกซ้อมและแข่งขันในท่าดีฟสควอทอยู่เป็นประจำ พบว่านักกีฬายกน้ำหนักที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง 1,109 คนอายุระหว่าง 12–20 ที่เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาในระดับชาติหรือนานาชาติ ไม่พบอาการบาดเจ็บที่บริเวณเข่าในระดับที่ต้องผ่าตัดหรือเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล (Lavallee& Balam, 2010) จากรายงานการศึกษาที่กล่าวมาในทัศนะของผู้แต่ง ทำให้เชื่อได้ว่าการฝึกสควอทในความลึกของการย่อแบบดีฟสควอท สามารถสร้างความแข็งแรงของขาในกลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องได้ดีกว่าการย่อแบบความลึกอื่น ๆ และถึงแม้ว่าอาจจะมีรายงานอาการบาดเจ็บที่เข่าในผู้ฝึกอยู่บ้าง แต่จากมุมมองของผู้แต่ง มีหลักฐานเพียงพอที่จะชี้ให้เห็นในทางกายวิภาคศาสตร์และการฝึกว่า การเคลื่อนไหวของข้อเข่าในท่าดีฟสควอทที่องศาต่ำกว่า 90 องศาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการฝึกได้ดีกว่าการย่อแบบอื่น

นอกจากนั้นแม้ว่าการทำท่าสควอท โดยการจำกัดการเคลื่อนไหวของเข่าเพื่อไม่ให้เลยปลายเท้าจะสามารถช่วยลดแรงและความเครียดที่เข่าในขณะที่ทำการฝึกได้ แต่การจำกัดการเคลื่อนไหวดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดแรงกระทำที่สะโพกและหลังล่างอย่างไม่เหมาะสม ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดในการทำท่าสควอทคือควรให้เข่าเลยปลายเท้าไปบ้างเล็กน้อย (Fry et al., 2003)

2. การพับสะโพกหรือลำตัว (hip-hinge)

รูปแบบการเคลื่อนไหวนี้เกิดขึ้นได้ตลอดในการดำเนินชีวิตประจำวัน เนื่องจากเราจะต้องก้มหรือโค้งงอตัวอยู่เป็นประจำ และการเคลื่อนไหวรูปแบบนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดอาการปวดหลังโดยเฉพาะการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง ท่าทางการออกกำลังกายที่เป็นตัวอย่างของการประยุกต์ การเคลื่อนไหวที่ดีที่สุดท่าหนึ่งคือท่าเดดลิฟต์ (deadlift) ผู้ที่จะทำท่านี้ได้อย่างถูกต้องจำเป็นจะต้องเรียนรู้พื้นฐานในการพับสะโพกโดยไม่ให้หลังงอ และต้องเรียนรู้การทำงานของร่างกายในท่านี้โดยใช้กล้ามเนื้อสะโพก (glutes) กล้ามเนื้อหลังส่วนหลัง (hamstrings) ร่วมกับกล้ามเนื้อหลัง นอกนั้นยังมีท่าทางการออกกำลังกายอื่น ๆ ที่อยู่ในกลุ่มนี้เช่นเคตเทิลเบลสวิง (kettlebell swing) และท่านอนยกสะโพก (glute bridge)

ภาพที่ 4-5 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบการพับสะโพกหรือลำตัว





Single Leg Deadlift





Glute Bridge







Kettlebell Swing

3. ก้าวไป-กลับ (lunge)

การเคลื่อนไหวแบบก้าวไป-กลับ มีลักษณะพิเศษคือเป็นการเคลื่อนไหวที่ขาข้างหนึ่งก้าวออกจากแกนกลางลำตัว ส่วนขาอีกข้างหนึ่งจะอยู่ที่จุดเดิม รูปแบบคือก้าวข้างหนึ่งไปและกลับไม่ว่าจะเป็นด้านหน้า ด้านข้าง หรือด้านหลัง ท่าทางการออกกำลังกายที่ประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวนี้คือท่าลันจ์ (lunge) ซึ่งเป็นชื่อเดียวกับท่าทางในการเคลื่อนไหวนี้ในภาษาอังกฤษ การออกกำลังกายแบบลันจ์ ทำให้ต้นขา (thigh) สะโพก (glutes) และน่อง (calf muscles) ทำงานมากขึ้นเนื่องจากต้องช่วยรักษาสมดุลและความมั่งคงของร่างกาย (Song et al., 2023) การออกกำลังกายดังกล่าวเป็นรูปแบบหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของขาได้ดี (Severin et al., 2017; Williams et al., 2021) พบว่าการออกกำลังกายแบบก้าวไปกลับด้านหน้า (forward lunge) สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (hamstring) และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิ่งเร็วได้ด้วย (Jönhagen et al., 2009).

การออกกำลังกายท่าหนึ่งที่มีความคล้ายคลึงกับการก้าวไปกลับด้านหน้า คือ ท่าสปลิทสควอท (split squat) ที่ดูคล้ายคลึงกับการก้าวไปกลับด้านหน้า แต่นั้นในความเป็นจริงแล้วท่าออกกำลังกายแบบท่าสปลิทสควอท เป็นการเคลื่อนไหวแบบสควอท เนื่องจากเท้าทั้งสองข้างยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมขณะเคลื่อนไหวร่างกายขึ้นลง ทั้งนี้ทั้งนั้นทั้ง 2 ท่าเป็นการออกกำลังกายที่เพิ่มความแข็งแรงขาได้ดีเหมือน ๆ กัน ท่าก้าวไปกลับด้านหน้าจะได้เปรียบในการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อเพื่อรักษาความมั่งคงและสมดุลของร่างกาย ในขณะที่ท่าสปลิทสควอทจะได้เปรียบตรงที่ร่างกายสามารถฝึกด้วยน้ำหนักที่มากกกว่าได้เนื่องจากความมั่นคงของท่าที่มีมากกว่า

ภาพที่ 4-6 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบก้าวไป-กลับ



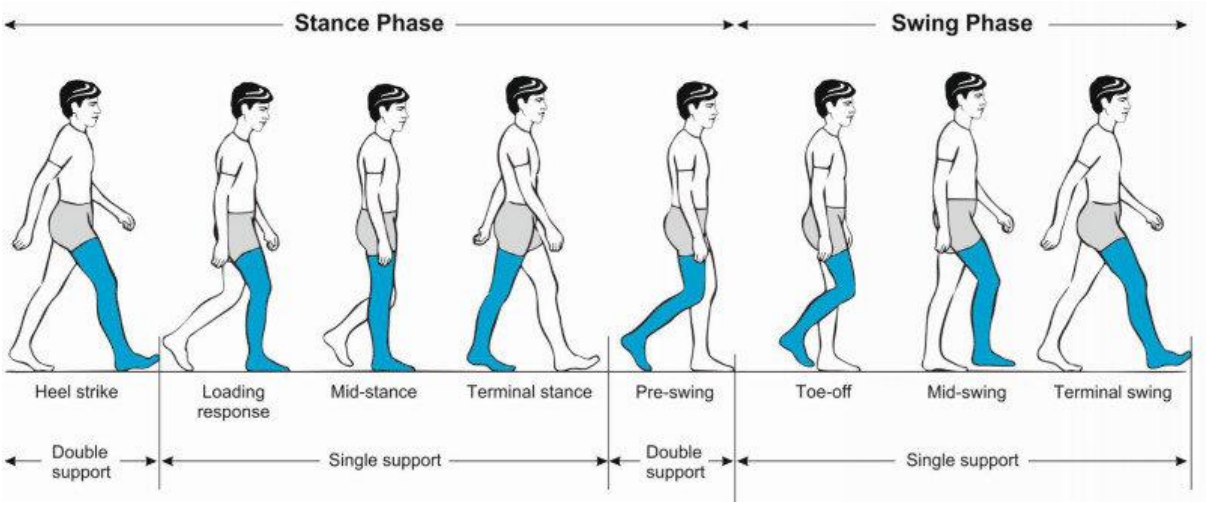
4. การเดิน การวิ่ง (gait)

การเดินหรือการวิ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่เป็นธรรมชาติมากที่สุดของมนุษย์ ในคนปกติจะมีการเดินและการวิ่งเป็นการเคลื่อนไหวที่สำคัญที่สุดในการใช้ชีวิตประจำวัน หากกล่าวเฉพาะการเดินจะเป็นการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่สุดในชีวิตประจำวัน แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการเคลื่อนไหวที่ซับซ้อนมากเนื่องจากเกี่ยวข้องกับระบบทางสรีรวิทยามากมาก นอกจากนั้นรูปแบบการเดินของแต่ละบุคคลยังได้รับอิทธิพลอย่างมากจากปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น อายุ บุคลิกภาพ อารมณ์ และยังรวมไปถึงปัจจัยทางสังคมวัฒนธรรม เช่น ผู้ที่อาศัยอยู่เมืองใหญ่จะเดินเร็วกว่าผู้ที่อยู่ในพื้นที่ชนบท (Ebersbach& et al., 2000; Pirker& Katzenschlager, 2017) นอกจากนั้นการเดินยังสามารถบ่งบอกความแข็งแรงและภาวะสุขภาพได้และการเดินเร็วยังมีความสัมพันธ์การมีอายุยืนยาว Studenski et al., 2011)

สำหรับรูปแบบการเคลื่อนไหวข้อนี้นอกเหนือจากการเดินและวิ่งตัวเปล่าแล้วยังรวมถึงการเดินโดยการแบก ยก หรือมีสัมภาระติดตัวไปด้วย และยังรวมถึงการผลักการลากจูงสิ่งของ ซึ่งการฝึกฟังก์ชันนอลเทรนนิ่งด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถออกแบบให้มีการทำงานของร่างกายคล้ายคลึงการทุก ๆ อิริยาบถที่เราเดินหรือวิ่งในชีวิตประจำวันได้

ภาพที่ 4–7 รูปแบบวงจรการเดิน

อ้างอิง (Pirker& Katzenschlager, 2017)



5. การผลักหรือการดัน (push)

การผลักหรือการดัน เป็นการออกกำลังกายที่ใช้กล้ามเนื้อหน้าอก ไหล่ และหลังแขน ในการทำงานส่วนกล้ามเนื้อใดจะถูกกระตุ้นหรือใช้งานมากกว่ากันนั้น ขึ้นอยู่กับมุมของแขนที่ออกแรงดัน ทั้งนี้การผลักหรือการดันจะพิจารณาการเคลื่อนที่ออกจากแนวกระดูกสันหลังส่วนอก (T-Spine/ Thoracic Spine) เป็นหลัก โดยธรรมชาติการผลักแบ่งเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ

5.1 การผลักในแนวนอน (horizontal pushing) เช่นการออกกำลังกายในท่าเบนช์เพรส (bench presses) หรือท่าดันพื้น (push-ups) ซึ่งใช้กล้ามเนื้อหน้าอกและไหล่เป็นหลัก

5.2 การผลักในแนนวตั้ง (vertical pushing) เช่นการออกกำลังกายในท่าโชล์เดอร์เพรส (shoulder presses) ซึ่งใช้กล้ามเนื้อไหล่และต้นแขนด้านหลังเป็นหลัก

ภาพที่ 4-8 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบการผลักหรือการดัน



ท่าดันพื้น

6. การดึง (pull)

การที่เราสามารถดึงสิ่งใดสิ่งหนึ่งเข้าสู่ร่างกายได้ แสดงว่าร่างกายต้องมีความแข็งแรงเพียงพอ เช่นเดียวกับการผลักหรือการดัน การดึงจะพิจารณาการเคลื่อนที่เข้าหาแนวกระดูกสันหลังส่วนอก (T-Spine/ Thoracic Spine) เป็นหลัก โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ

6.1 การดึงในแนวนอน (horizontal pulling) คือการออกกำลังกายประเภทท่าดึงน้ำหนักหรือวัตถุเข้าหาลำตัว (row) ทั้งหมด

6.2 การดึงในแนวตั้ง (vertical pulling) เช่นการออกกำลังกายในท่าที่ต้องดึงขึ้นดึงลง

การดึงทั้ง 2 ประเภทจะใช้กล้ามเนื้อหลัง (trapezius, latissimus dorsi, rhomboids, deltoid) ทำงานเป็นหลัก นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องใช้กล้ามเนื้อส่วนแขน (biceps, forearms) ประสานในการทำงาน

ภาพที่ 4-9 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบดึง

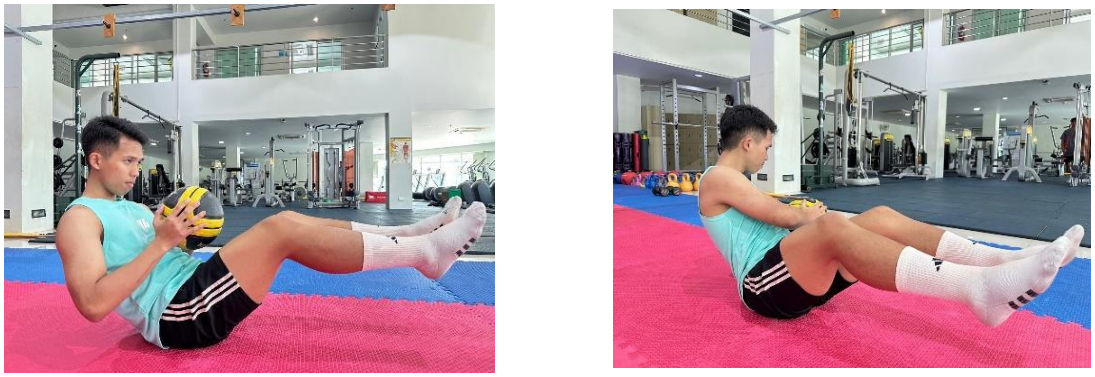


ท่าดึงข้อ

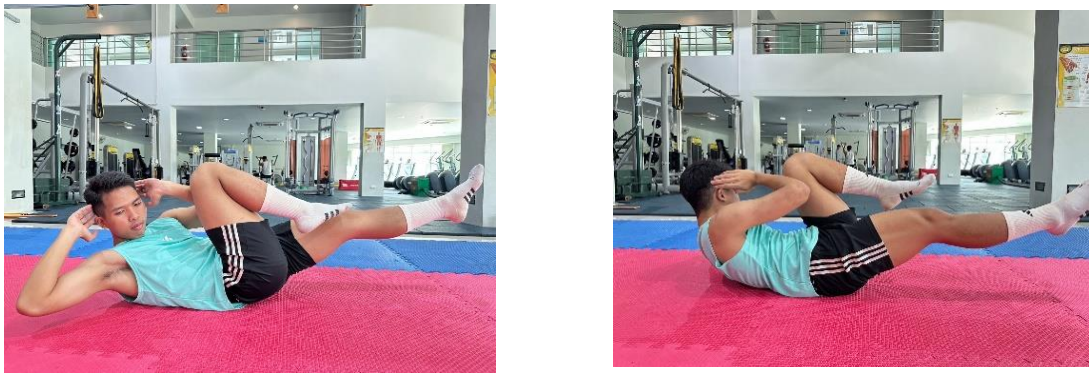
7. การหมุนหรือการบิด (rotation/ twist)

การหมุนหรือการบิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือการหมุนและการต้านการหมุนซึ่งต้องอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางเป็นสำคัญ

ภาพที่ 4–10 รูปแบบการเคลื่อนไหวในรูปแบบการหมุนหรือการบิด



Russian Twist



Bicycle Crunch



Floor Twist

2. การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหว

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าร่างกายมีรูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐานเพื่อประกอบกิจกรรมทางกายต่าง ๆ และจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนพื้นฐานเหล่านั้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบความพร้อมของร่างกายในการออกกำลังกาย

การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหวของร่างกายไม่ใช้การทดสอบสมรรถภาพทางกาย เนื่องจากการทดสอบสมรรถภาพทางกายคือการทดสอบประสิทธิภาพหรือความสามารถสูงสุดของระบบทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ แต่การทดสอบ ความพร้อมในการเคลื่อนไหว เป็นการทดสอบทักษะในการเคลื่อนไหวตามหน้าที่ (functional movement skills) ซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวที่สนับสนุนการเคลื่อนไหวอื่น ๆ ทั้งหมด และเกี่ยวข้องกับทักษะการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน (fundamental movement skills) (Duncan et al., 2013)

การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหวเป็นการประเมินความพร้อมของร่างกายจากการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่าง ๆ ว่าสามารถออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมทางกายได้โดยไม่เกิดอาการบาดเจ็บ (Kraus et al.,2014; Bonazza et al., 2017; Monaco& Schoenfeld, 2019) โดยเฉพาะการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อ เป็นวิธีการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพทางกายสามารถคัดกรองบุคคลที่มีความเสี่ยงของการบาดเจ็บหรือมีความผิดปกติในการเคลื่อนไหว ช่วยรักษาหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมทางกาย

การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหวมีหลายรูปแบบ หนึ่งในรูปแบบการทดสอบคือวิธีการที่เรียกว่า (The Functional Movement Screen/ FMS) ถูกคิดค้นขึ้นมาในปี 2014 โดย Gray Crook และคณะ เป็นแบบทดสอบรูปแบบการเคลื่อนไหว 7 อย่างของร่างกาย (Pacheco et al., 2013; Skotnicka et al., 2017; Cook et al., 2014) เพื่อประเมินการเคลื่อนไหวตามหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมท่าทาง (postural control) ความมั่งคง (stability) ความอ่อนตัว (flexibility) การทำงานประสานกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular coordination) และสมดุลการทรงตัว (balance) (Kuzuhara et al., 2018) ประกอบไปด้วยท่าทางในการทดสอบ 7 ท่าซึ่งส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับรูปแบบการเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน (7 moment)

1. Deep Squat
2. Hurdle Step
3. In-line Lunge
4. Trunk Stability Push-up
5. Active Straight-leg Raise
6. Rotary Stability
7. Shoulder Mobility

ถึงแม้ว่าการทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหวพื้นฐานและการทดสอบสมรรถภาพทางกายจะเป็นการประเมินที่แตกต่างกันไม่ใช่สิ่งเดียวกัน แต่พบว่าผู้ที่มีคะแนนการประเมินการทดสอบการเคลื่อนไหวพื้นฐานสูงจะมีค่าการทดสอบสมรรถภาพทางกายในด้านความคล่องตัว ความเร็ว ความแข็งแรงและความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจที่ดีด้วย (Fitton et al., 2022) เนื่องจากการทดสอบทั้ง 7 รูปแบบเป็นการทดสอบด้วยตำแหน่งและการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นท่าทางพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการออกกำลังกายและเล่นกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวซับซ้อนมากขึ้น และผู้ที่มีพื้นฐานการเคลื่อนไหวที่ดีทำให้สามารถเคลื่อนไหวในกิจกรรมที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Kiesel et al., 2007) ดังนั้นการประเมินความพร้อมในการเคลื่อนไหวจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ที่ประกอบวิชาชีพทางวิทยาศาสตร์การกีฬา (Fitton et al., 2022) ที่จะต้องรู้และมีทักษะในการประเมินเพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาโปรแกรมการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ทั้งนั้นวิธีการทดสอบและการประเมินผลสามารถอ่านได้ในหนังสือเล่มที่ 2

3. โครงร่างและการเคลื่อนไหวของร่างกาย

เมื่อร่างกายมนุษย์เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีกระดูกทั้งหมด 206 ชิ้น และกระดูกทุกชิ้นมีความสำคัญกับการเคลื่อนไหวในการทำกิจกรรมทางกายทั้งหมด ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้หลักการทางกายวิภาคศาสตร์เพื่อการออกกำลังกาย จำเป็นจะต้องเข้าใจระบบกระดูกและข้อต่อภายในร่างกายคือ

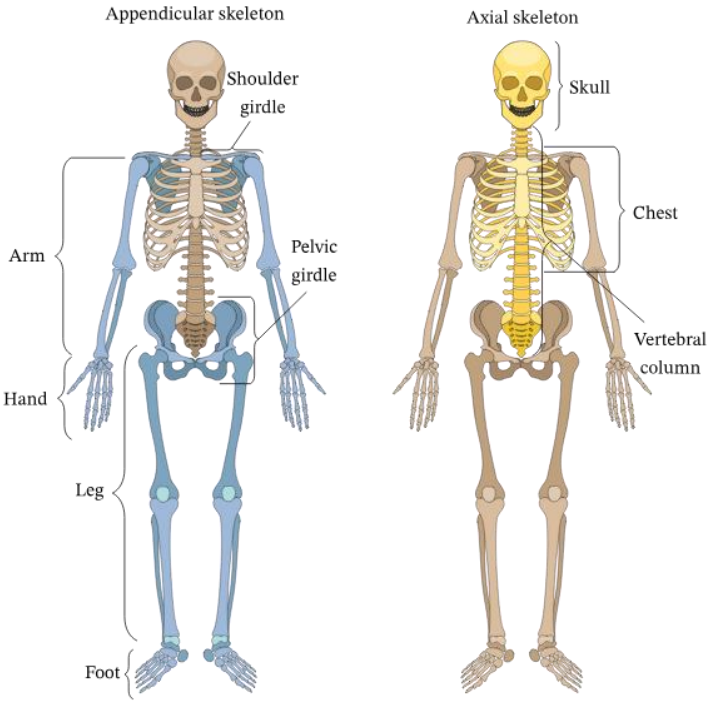
3.1 กระดูกแบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญ (Drake, et al., 2019) ได้แก่

1) กระดูกแกนกลางของร่างกาย (axial skeletal) 80 ชิ้น มีส่วนที่สำคัญได้แก่ ศีรษะ (skull) ลำคอ (neck) และลำตัว (trunk)

2) กระดูกรยางค์ (appendicular skeletal) 126 ชิ้น มีส่วนสำคัญคือแขน (รยางค์บน) และขา (รยางค์ล่าง) ของมนุษย์

ภาพที่ 4–11 แสดงกระดูกแกนกลางและกระดูกรยางค์ของร่างกาย

แหล่งที่มา https://www.nagwa.com/en/explainers/418179490595/



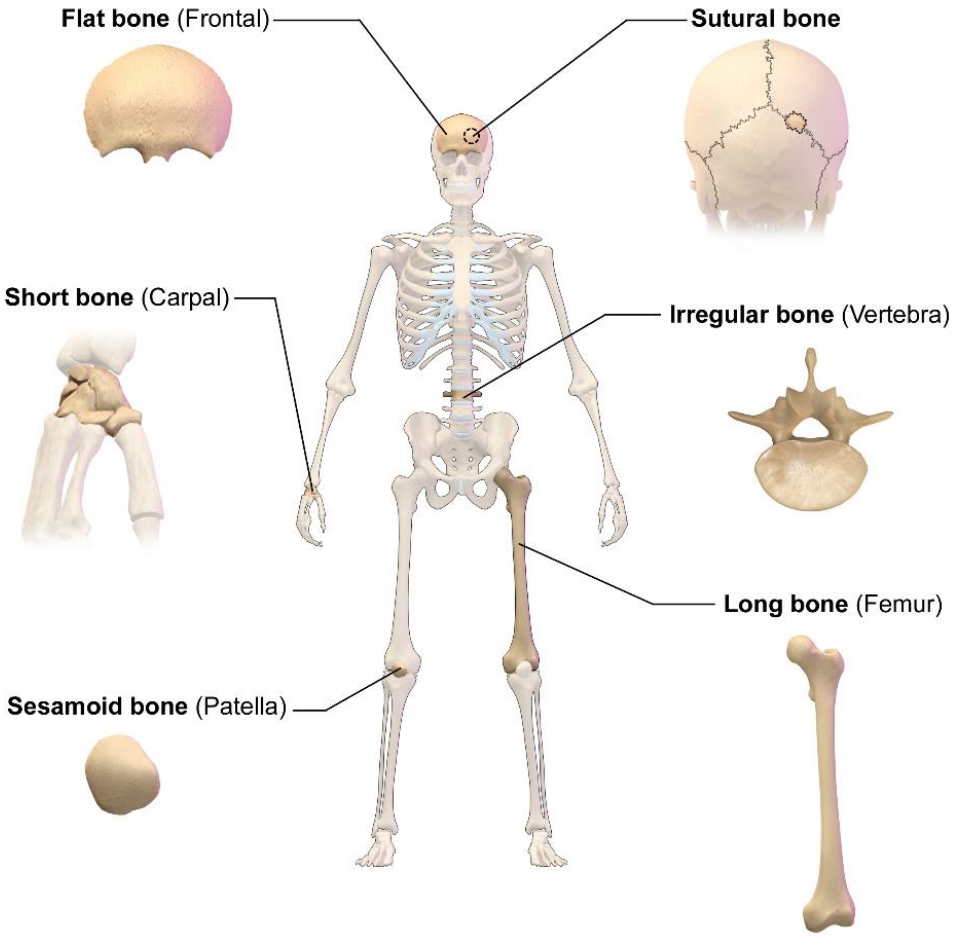
กระดูกรยางค์ (appendicular skeleton) 126 ชิ้น **กระดูกแกนกลาง (axial skeleton) 80 ชิ้น**

3.2 กระดูกแบ่งเป็น 5 ประเภทตามลักษณะรูปร่างชนิดคือ (Waugh& Grant, 2018)

1. กระดูกยาว (long bone)
2. กระดูกสั้น (shot bone)
3. กระดูกรูปร่างแบน (flat bone)
4. กระดูกรูปร่างไม่แน่นอน (irregular bone)
5. กระดูกในเอ็นกล้ามเนื้อ (sesamoid bone)

ภาพที่ 4–12 แสดงกระดูกประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะรูปร่าง

แหล่งที่มา https:// upload. wikimedia. org/wikipedia/ commons/7/77/Blausen_0229_ ClassificationofBones.png



3.3 กระดูกส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย

ร่างกายประกอบไปด้วยกระดูกทั้งหมด 206 ชิ้น ซึ่งแต่ละชิ้นมีบทบาทหน้าที่ของตัวเอง สำหรับในการออกกำลังกายและเล่นกีฬานั้นจะมีกระดูกหลายส่วนของร่างกายทำให้ที่สำคัญในการเคลื่อนไหวและรักษาสมดุลซึ่งผู้เขียนจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ที่สำคัญดังนี้

1. กระดูกแขนและไหล่ (arm and shoulder bones) ประกอบได้ด้วยกระดูกที่สำคัญคือ (clavicle humerus scapular)

2. กระดูกแขนท่อนล่างและมือ (forearm and hand bones) ประกอบไปด้วยกระดูกที่สำคัญคือ (radius ulnar carpals metacarpal phalanges)

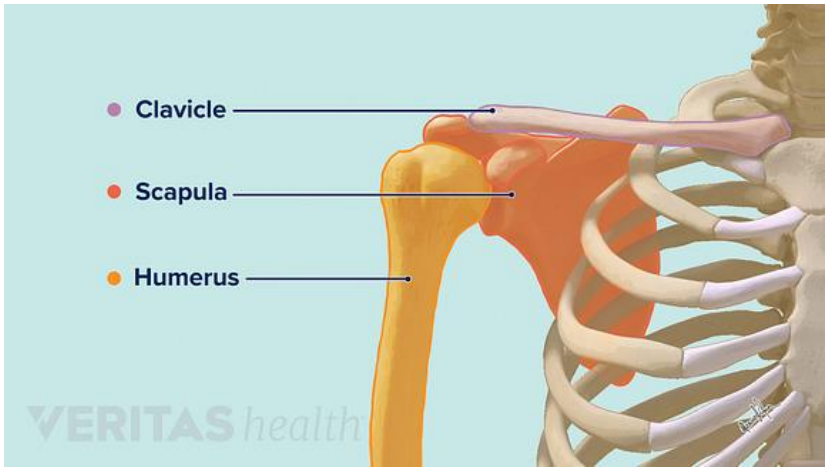
3. กระดูกสันหลังและทรวงอก (spine and thorax bones) ประกอบไปด้วยกระดูกที่สำคัญคือ (cervical thoracic lumbar sacrum coccyx sternum rib)

4. กระดูกเชิงกรานและต้นขา (pelvic and thigh bone) ประกอบไปด้วยกระดูกที่สำคัญคือ (sacrum coccyx ilium ischium pubis femur anterior superior iliac spine/ Asis posterior superior iliac spine/ Psis)

5. กระดูกหัวเข่า ขาและเท้า (knee leg and foot bones) ประกอบไปด้วยกระดูกที่สำคัญคือ (patella tibia fibula tarsals metatarsals phalanges)

ภาพที่ 4–13 แสดงกระดูกแขนและไหล่ (arm and shoulder bones)

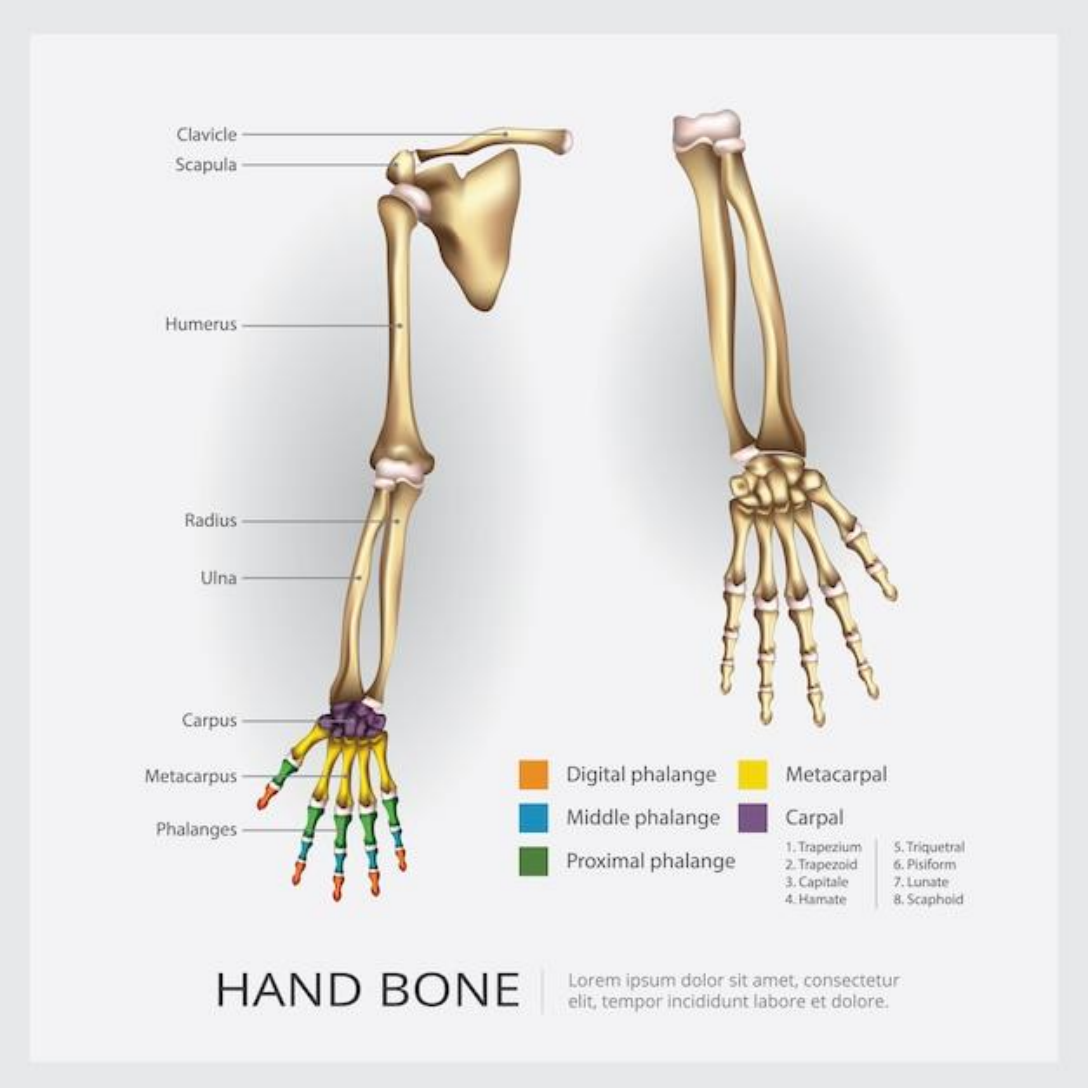
แหล่งที่มา https://www.sports–health.com/sports–injuries/shoulder– injuries/guide –shoulder–anatomy



กระดูกชิ้นที่สำคัญ: Clavicle, Humerus และ Scapular

ภาพที่ 4–14 แสดงกระดูกแขนและไหล่ (forearm and hand bones)

แหล่งที่มา https://www.pixtastock.com/illustration/65971653



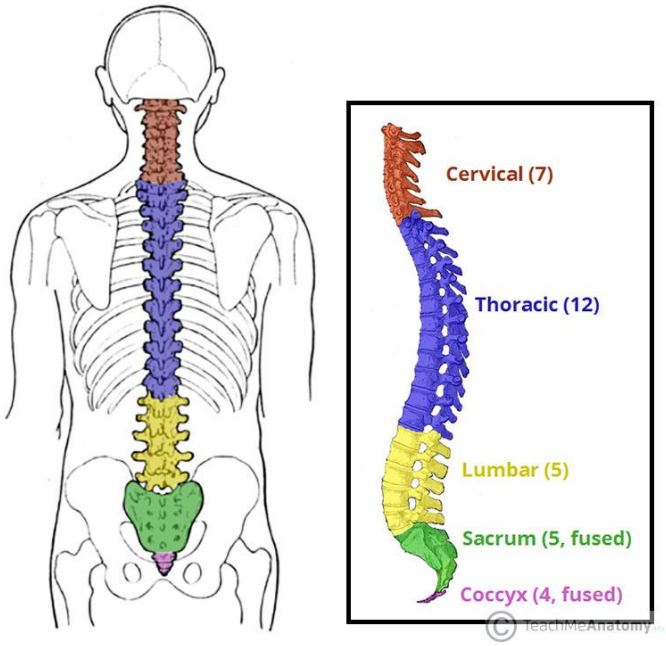
กระดูกชิ้นที่สำคัญ: Radius, Ulnar, Carpals, Metacarpal และ Phalanges

ภาพที่ 4–15 กระดูกสันหลังและทรวงอก (spine and thorax bones)

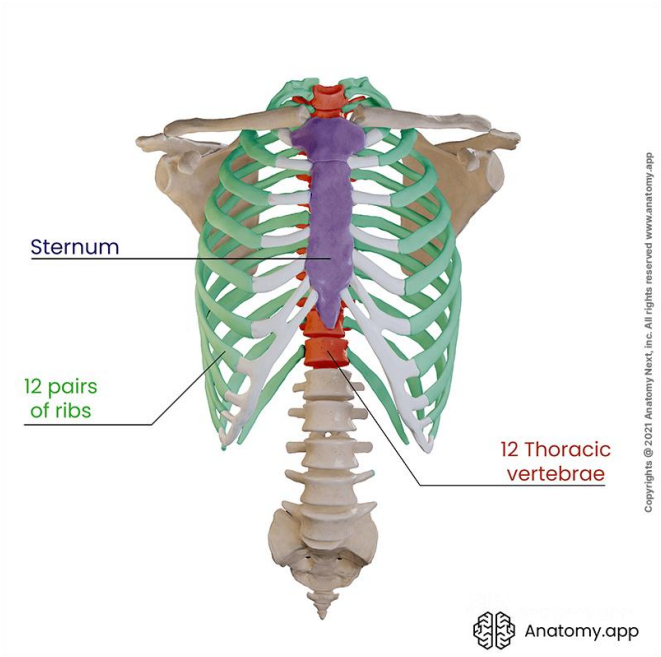
แหล่งที่มา **รูปที่ 1.** https://teachmeanatomy.info/back/bones/vertebral-column/

รูปที่ 2. https://anatomy.app/encyclopedia/rib-cage

รูปที่ 1. กระดูกสันหลัง: Cervical Thoracic Lumbar Sacrum Coccyx



รูปที่ 2. กระดูกทรวงอก: Sternum Rib

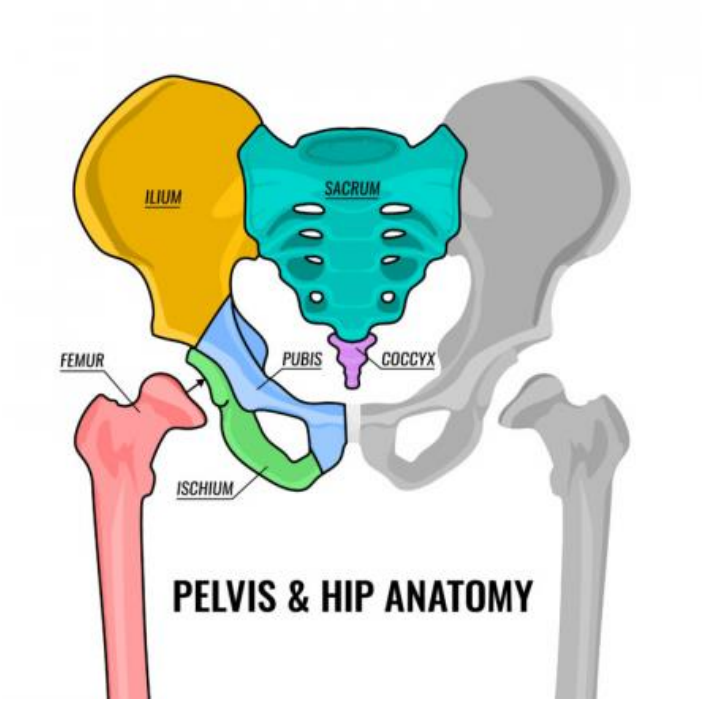


ภาพที่ 4–16 กระดูกเชิงกรานและต้นขา (pelvic and thigh bone)

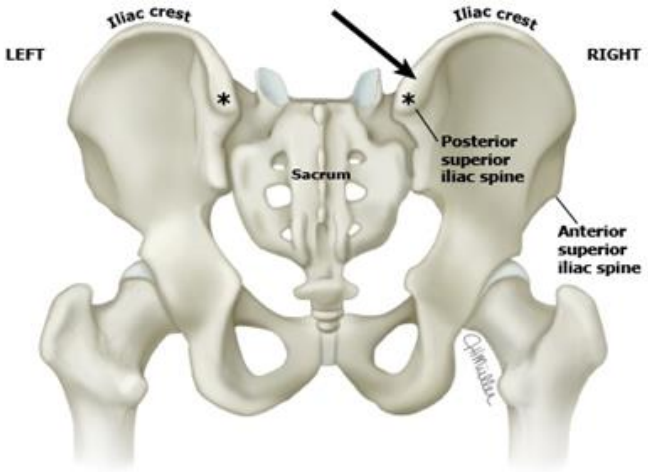
แหล่งที่มา **รูปที่** 1. https://teachmeanatomy.info/back/bones/vertebral–column/

รูปที่ 2. https://www.uptodate.com/contents/image/print?imageKey =HEME%2F78950

รูปที่ 1. กระดูกที่สำคัญ: Sacrum Coccyx Ilium Ischium Pubis Femur



รูปที่ 2. กระดูกที่สำคัญ: Anterior superior iliac spine/ Asis และ Posterior superior iliac spine

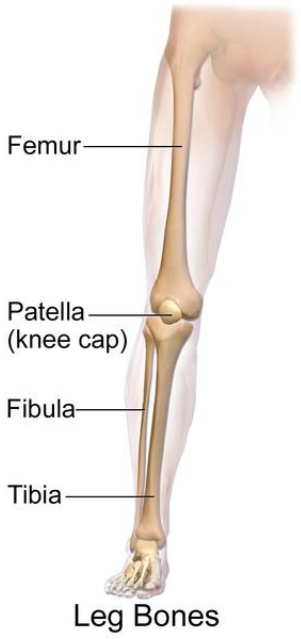


ภาพที่ 4–17 แสดงกระดูกหัวเข่า ขาและเท้า (knee leg and foot bones)

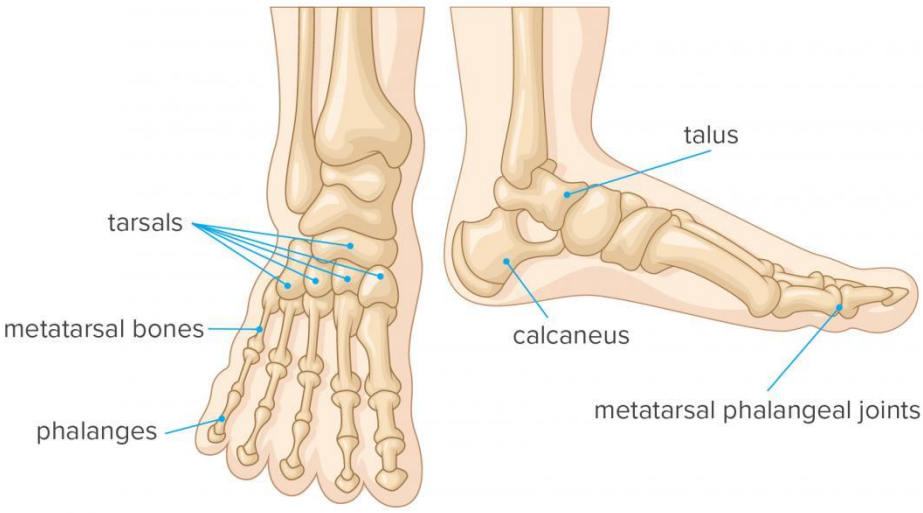
แหล่งที่มารูปภาพ: **รูปที่ 1.** https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blausen_0608_LegBones.png

รูปที่ 2. https://www.medicalnewstoday.com/articles/324336

รูปที่ 1. กระดูกหัวเข่าและขา: Patella Tibia Fibula



รูปที่ 2. กระดูกเท้า Tarsals Metatarsals Phalanges



4. ข้อต่อและการเคลื่อนไหว

การที่ร่างกายจะสามารถทำท่าทางต่าง ๆ ในการออกกำลังกายได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นจะต้องทำความเข้าใจการเคลื่อนไหวข้อต่อของร่างกาย ซึ่งข้อต่อแต่ละประเภทจะสามารถเคลื่อนไหวได้แตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างของข้อต่อเอง การเคลื่อนไหวร่างกายในทิศทางที่ฝืนธรรมชาติของตัวข้อต่อ อาจทำให้เกิดอาการบาดเจ็บซึ่งอาจเกิดขึ้นเฉียบพลันหรือเป็นต่อเนื่องในระยะยาวได้ โดยทั่วไปแล้วร่างกายของเรามีข้อต่ออยู่ 3 ประเภท (Danning, 2019) คือ

4.1 ข้อต่อแบบที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (immovable joints/ fibrous joint) เช่นข้อต่อ กะโหลกศีรษะ ข้อต่อระหว่างกระดูกซี่โครง (ribs) และกระดูกหน้าอก (sternum)

4.2 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (slightly moveable joint/ cartilaginous joint) เช่นข้อต่อที่เชื่อมส่วนกลางของกระดูกหน้าแข้ง (tibia) และกระดูกน่อง (fibula) หมอนรองกระดูกสันหลัง ข้อต่ออุ้งเชิงกรานกับหัวหน่าว (symphysis pubis)

4.3 ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก (freely moveable/ synovial joint) แบ่งออกได้อีกเป็น 6 ประเภท คือ

1. ข้อต่อแบบเบ้า (Ball and socket joint) ข้อต่อประเภทนี้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นอิสระ 3 มิติ เช่นหัวไหล่ (glenohumeral joint) ข้อสะโพก (hip joint) ข้อต่อกระดูกต้นขา (femur) กับกระดูกเชิงกราน

2. ข้อต่อแบบบานพับ (hinge joint) มีการเคลื่อนไหวคล้ายบานพับประตู เคลื่อนไหวได้เพียง 1 ระนาบ เฉพาะการเหยียดและงอ (extension and flexion) ทิศทางไปด้านหน้าและหลัง เช่น หัวเขา ขอศอก ข้อเท้า ข้อต่อระหว่างนิ้วมือและนิ้วเท้าเป็นต้น

3. ข้อต่อแบบเดือยหรือแบบหมุน (pivot joint or rotary joint) มีลักษณะที่กระดูกชิ้นหนึ่งสวมอยู่กับกระดูกอีกชิ้นหนึ่ง ข้อต่อในลักษณะนี้ทำให้สามารถเคลื่อนที่ให้ลักษณะหมุนได้ เช่นข้อต่อระหว่างกระดูกสันหลังบริเวณลำคอข้อที่1 และ 2 (atlantoaxial joint) ซึ่งทำให้มีการหมุนของศีรษะและลำคอได้

4. ข้อต่อแบบวงรี (ellipsoidal/ condylar joint) ข้อต่อชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับข้อต่อแบบเบ้าเคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบในลักษณะ หน้า–หลัง และด้านข้าง เช่นการเหยียด การงอ การกาง การหุบ ข้อต่อประเภทนี้เช่น เข่า ข้อมือ

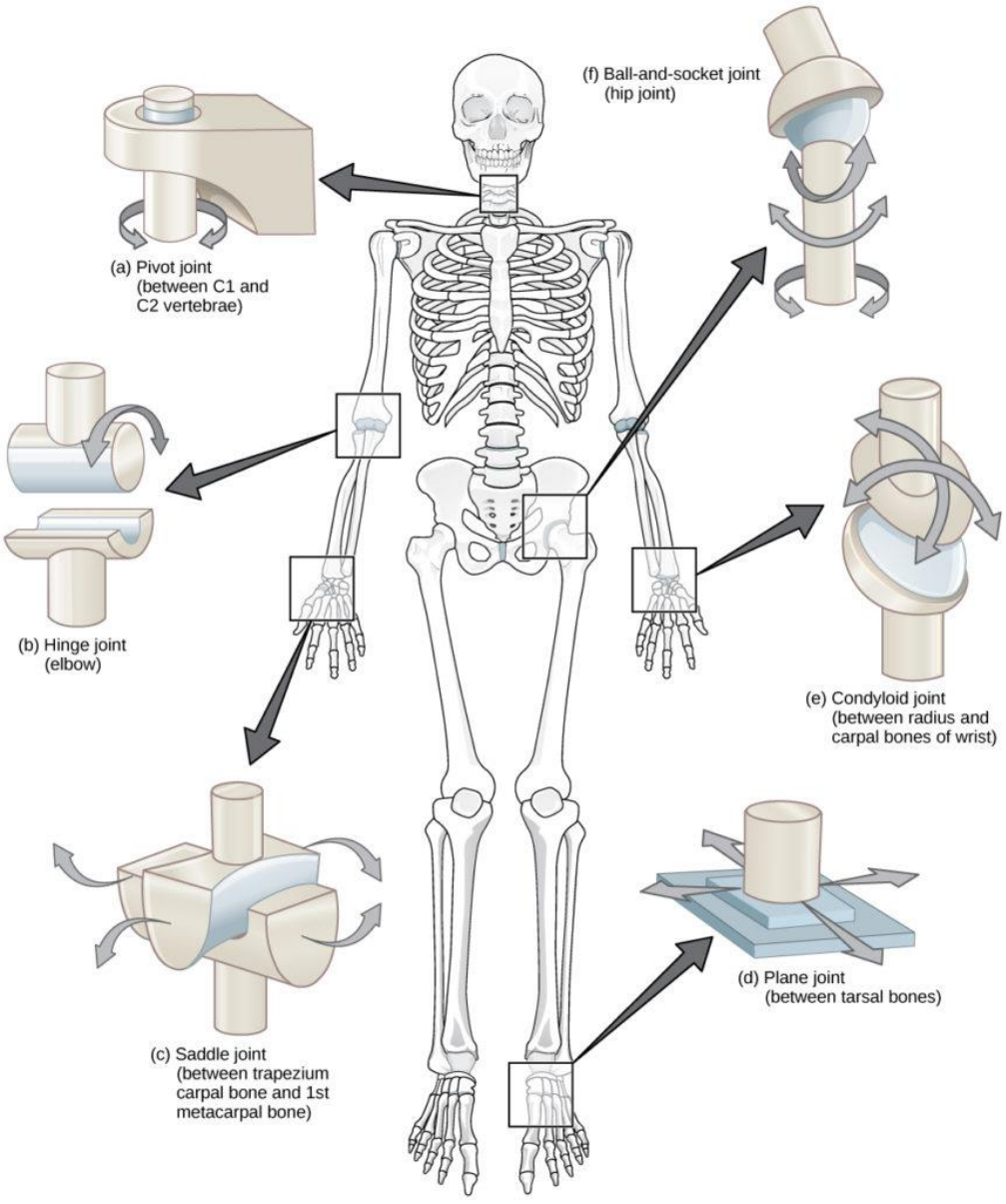
4.4 ข้อต่อแบบอานม้า (saddle joint) เป็นข้อต่อที่ปลายกระดูกชิ้นหนึ่งมีการเว้าโค้งอีกชิ้นหนึ่งมีลักษณะโค้งนูน ประกบกันกับส่วนเว้าของปลายกระดูกชิ้นแรกในแนวที่ต่างกัน เคลื่อนไหวได้ 2 ระนาบในลักษณะ หน้า–หลัง และด้านข้าง เช่นข้อต่อฝ่ามือ (carpometacarpal joint) ของนิ้วหัวแม่มือ ที่ทำหน้าที่งอพับนิ้วหัวแม่มือ

4.5 ข้อต่อแบบเลื่อน (gliding joint) เป็นข้อที่กระดูกชิ้นที่หนึ่งวางประกบหรือกดทับผิวของกระดูกอีกชิ้นหนึ่งในลักษณะแบบราบ ข้อต่อชนิดนี้จะไม่มีการเคลื่อนที่ไปด้านข้างหรือหมุนวน เนื่องจาก

มีเส้นเอ็นยึดกับกระดูกอื่น ๆ แต่จะเคลื่อนที่แบบด้านหน้าไปด้านหลัง เช่นข้อต่อระหว่างกระดูกข้อมือข้อเท้า

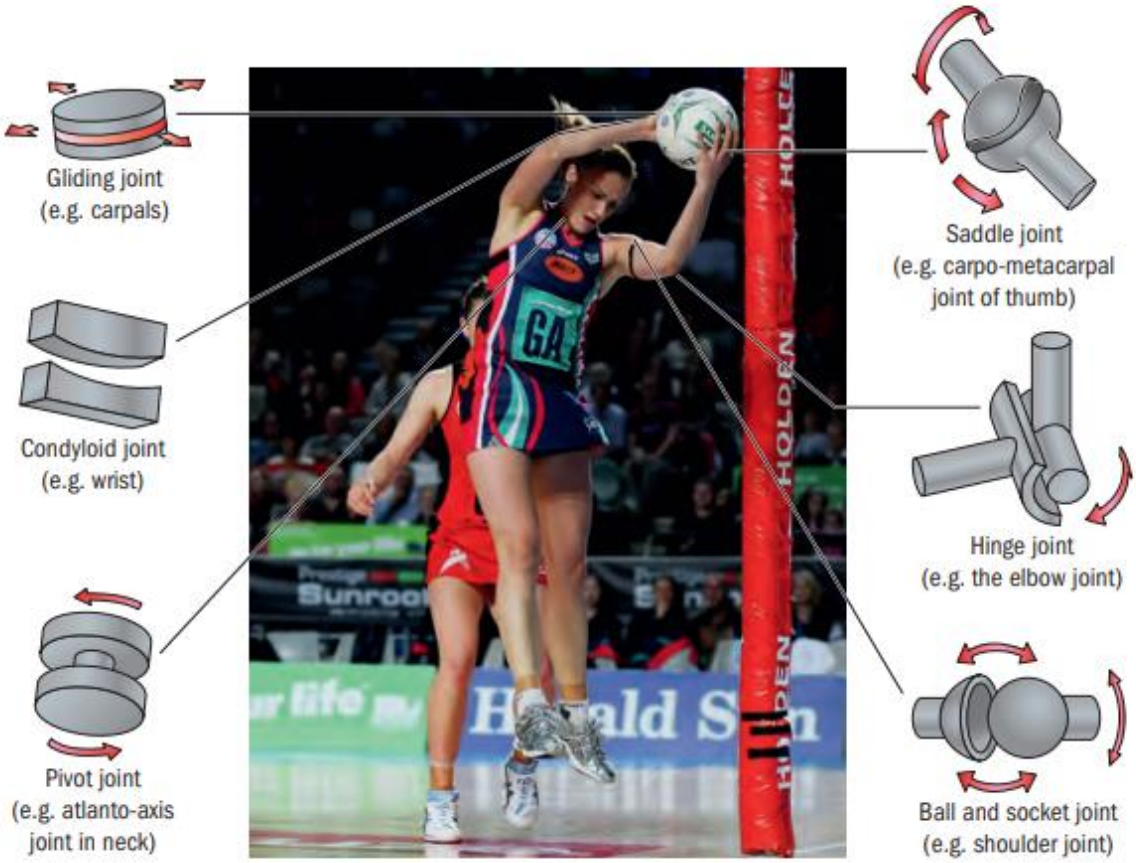
ภาพที่ 4–18 แสดงข้อต่อประเภทต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

แหล่งที่มา https://courses.lumenlearning.com/wm–biology2/ chapter/types–of–synovial –joints/



ภาพที่ 4–19 แสดงข้อต่อประเภทต่าง ๆ ทั่วร่างกายขณะเล่นกีฬา

อ้างอิง (Telford et al., 2017)



5. รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อต่อ

เมื่อเราทราบลักษณะการทำงานของข้อต่อแต่ละประเภทจะสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเพื่อออกแบบท่าทางการออกกำลังกายให้เกิดประสิทธิภาพและหลีกเลี่ยงอาการบาดเจ็บจากการฝึกได้ ข้อต่อบริเวณต่าง ๆ สามารถเคลื่อนไหวได้ดังนี้

5.1 คอ (neck) สามารถเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะ (flexion/ extension/ rotation/ lateral flexion (Puntumetakul et al., 2016) ตามภาพที่ 4–20

5.2 หน้าอก (ribs/ thorax) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (elevation – (inhalation)/ depression collapse – (exhalation)) ตามภาพที่ 4–21

5.3 สะบัก (scapula) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (elevation/ depression/ abduction/ adduction/ upward – rotation/ downward – rotation ตามภาพที่ 4–22

5.4 ไหล่ (shoulder) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion/ extension/ abduction/ adduction/ horizontal – abduction/ horizontal – adduction/ medial – rotation/ internal – rotation/ lateral – rotation (external rotation)) ตามภาพที่ 4–23

5.5 ข้อศอกและแขนท่อนล่าง (elbow and forearm) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion of elbow/ extension of elbow/ supination of forearm/ pronation of forearm) ตามภาพที่ 4–24

5.6 ข้อมือ (wrist) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion/ extension/ abduction/ adduction) (Werner& An, 1994, Gopura et al, 2016) ตามภาพที่ 4–25

5.7 สันหลัง (spine) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion/ extension/ lateral/ flexion/ rotation) ตามภาพที่ 4–26

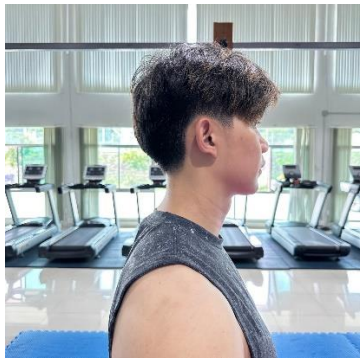
5.8 เชิงกราน (pelvis) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (anterior pelvis tilt – (downward rotation)/ posterior pelvis tilt – (upward rotation)/ lateral tilt (elevation)) ตามภาพที่ 4–27

5.9 สะโพก (hip) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion/ extension/ abduction/ adduction/ medial rotation – (internal rotation)/ lateral rotation – (external rotation)) ตามภาพที่ 4–28

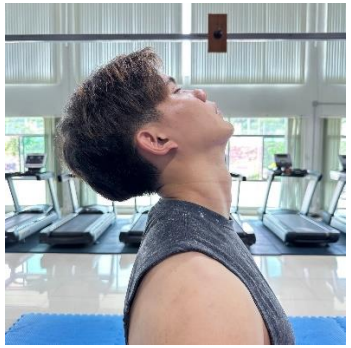
5.10 เข่า (knee) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (flexion/ extension/ medial – rotation of flexed knee/ lateral rotation of flexed knee) ตามภาพที่ 4–29

5.11 เท้า ข้อเท้าและนิ้วเท้า (foot, ankle and toes) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ (dorsiflexion of ankle/ plantarflexion of ankle/ inversion of foot/ eversion of foot/ flexion of toes/ extension of toes) ตามภาพที่ 4–30

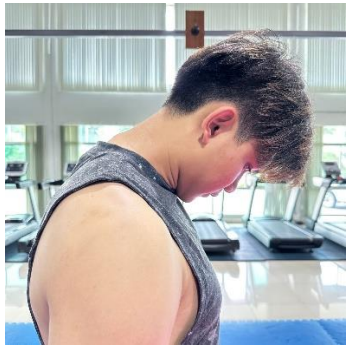
ภาพที่ 4–20 แสดงรูปแบบการเคลื่อนไหวของคอ (neck)



Neutral



Extension



Flexion



Right Lateral Flexion



Left Lateral Flexion



Right Rotation

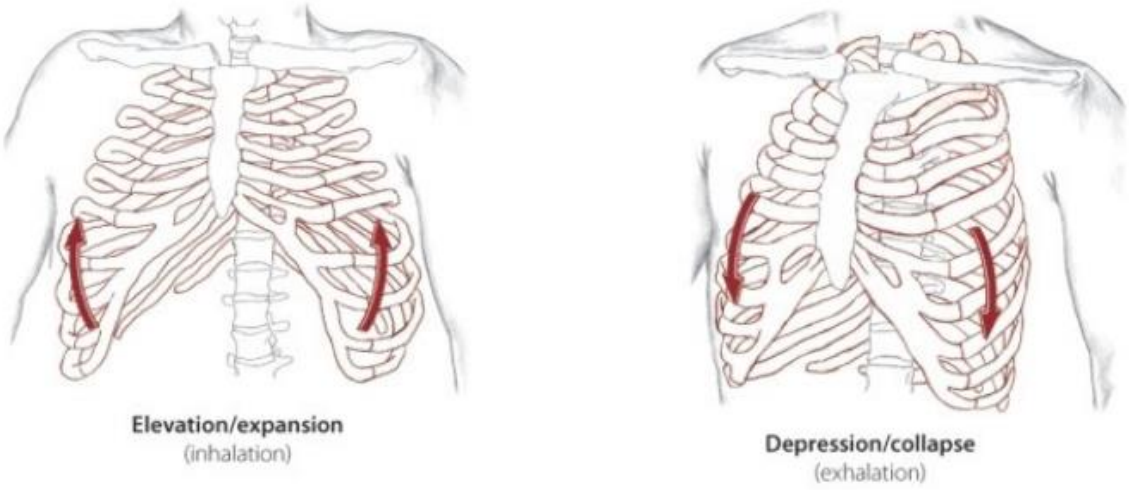


Left Rotation

คอสามารถเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Rotation/ Lateral Flexion

ภาพที่ 4–21 แสดงการเคลื่อนไหวของหน้าอก (ribs/ thorax)

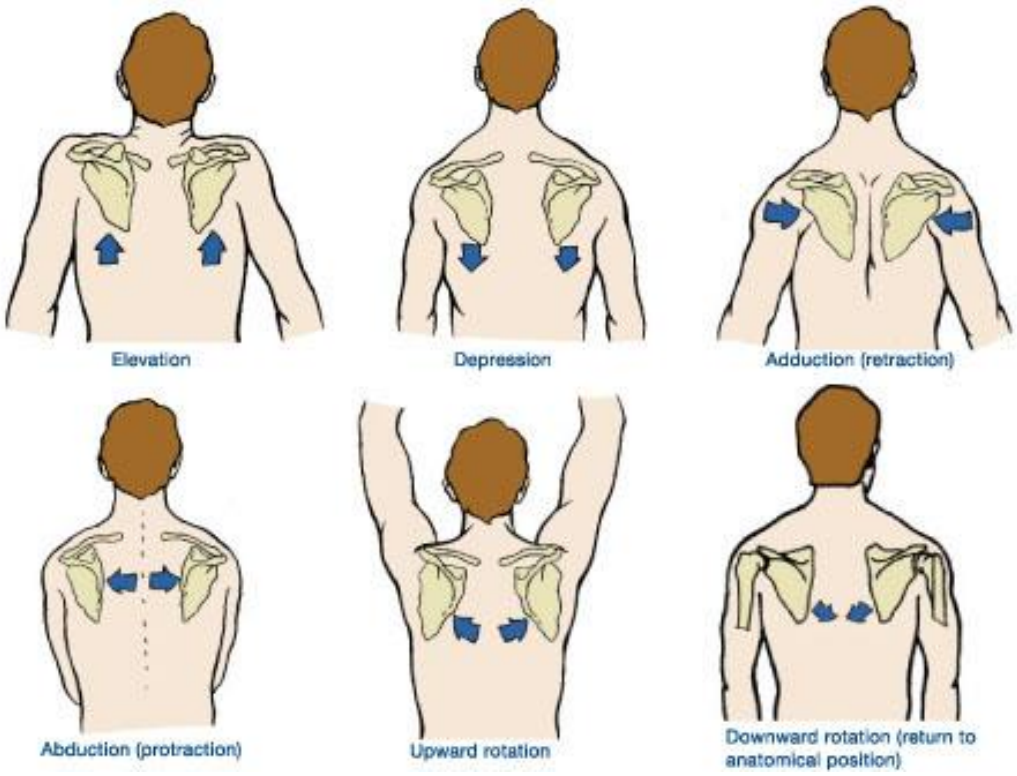
แหล่งที่มา https://slidetodoc.com/1–navigating–the–body–regions–of–the– body/



หน้าอกสามารถเคลื่อนไหวได้ ในลักษณะ Elevation (inhalation)/ Depression collapse (exhalation)

ภาพที่ 4–22 แสดงการเคลื่อนไหวของสะบัก (scapula)

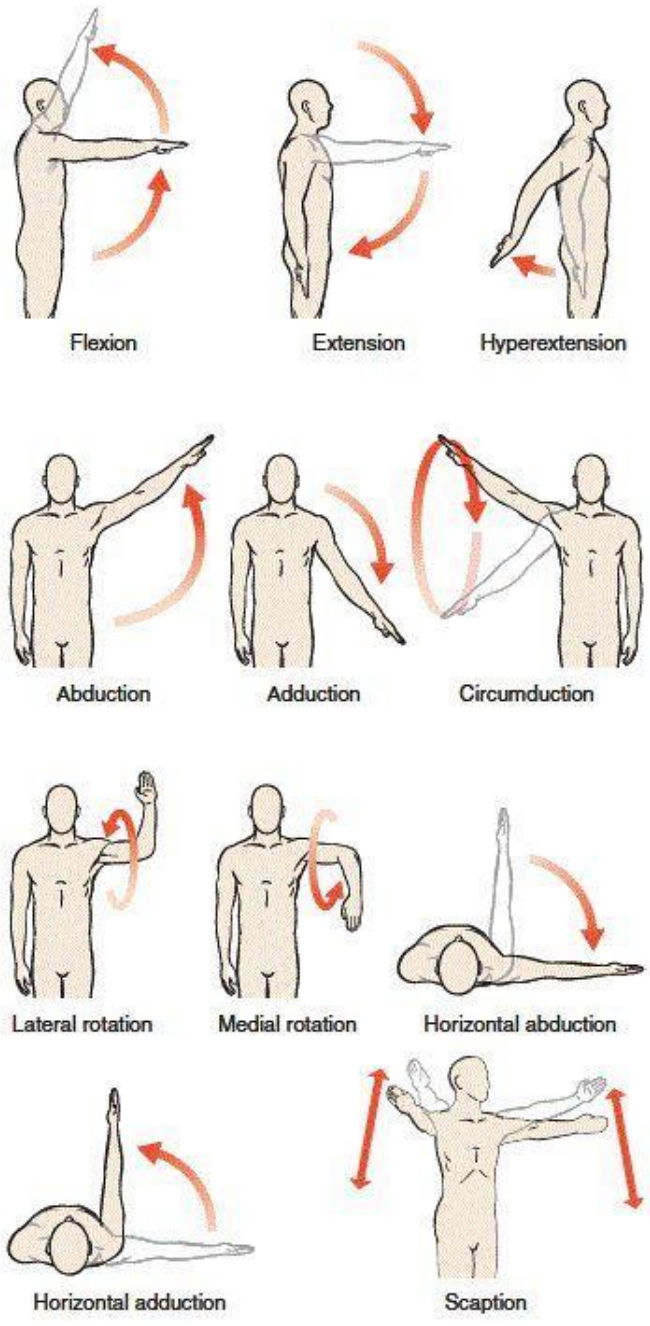
แหล่งที่มา https://sportsmedtexas.com/blog/scapular-retraction-and-scapular-protraction-exercises/



สะบัก สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Elevation/ Depression/ Abduction/ Adduction/ Upward rotation/ Downward rotation

ภาพที่ 4-23 แสดงการเคลื่อนไหวของไหล่ (shoulder)

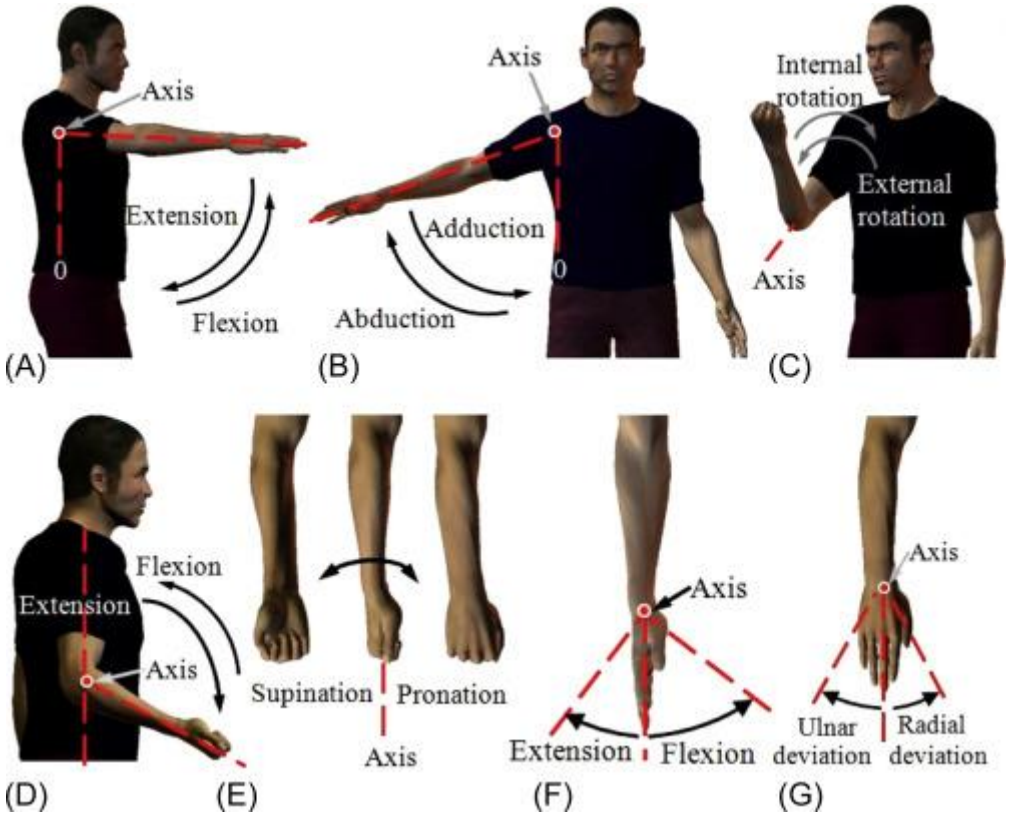
แหล่งที่มา https://passtheot.com/wp-content/uploads/2019/10/shoulder-joint-actions-2.jpg



ไหล่ (shoulder) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Abduction/ Adduction/ Horizontal abduction/ Horizontal adduction/ Medial rotation (internal rotation)/ Lateral rotation (external rotation)

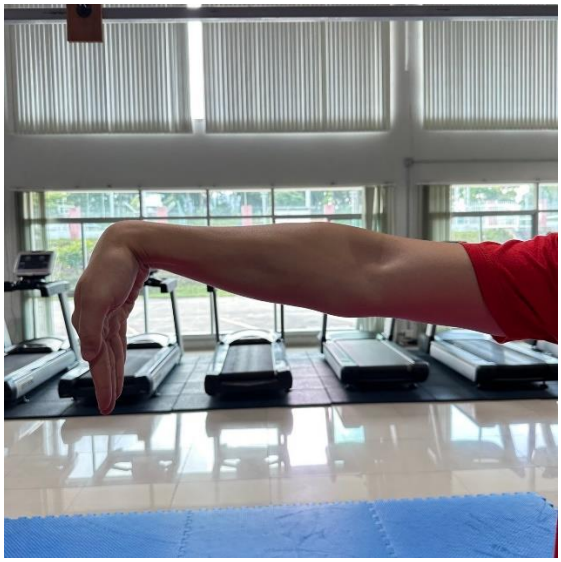
ภาพที่ 4–24 แสดงการเคลื่อนไหวของข้อศอกและแขนท่อนล่าง (elbow and forearm)

แหล่งที่มา (Gopura& et al. 2016)

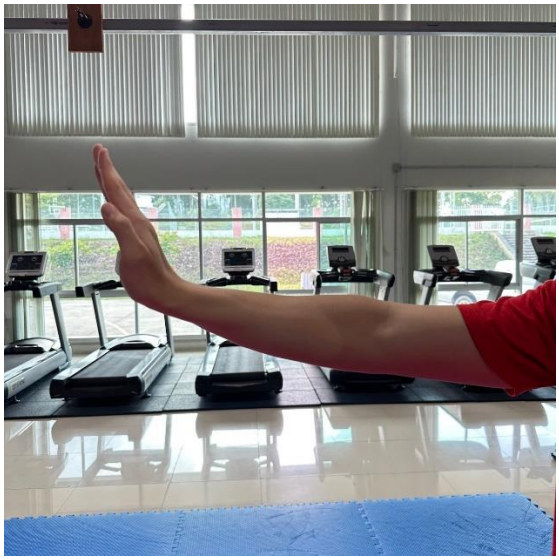


ข้อศอกและแขนท่อนล่าง (elbow and forearm) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion of elbow/ Extension of elbow/ Supination of forearm/ Pronation of forearm

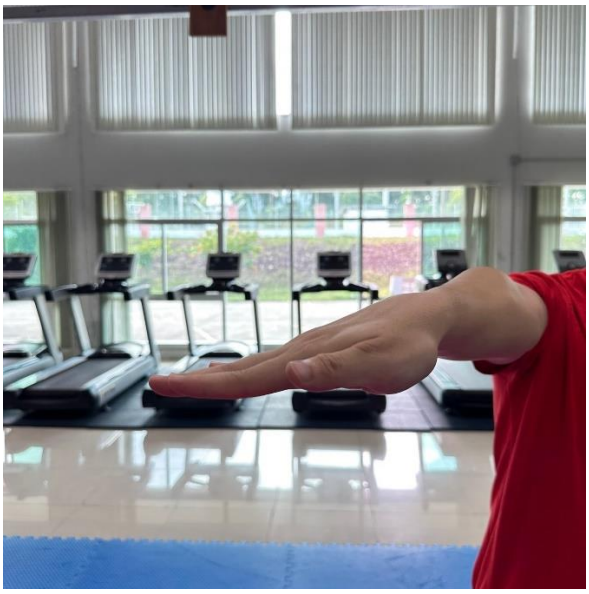
ภาพที่ 4–25 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อมือ (wrist)



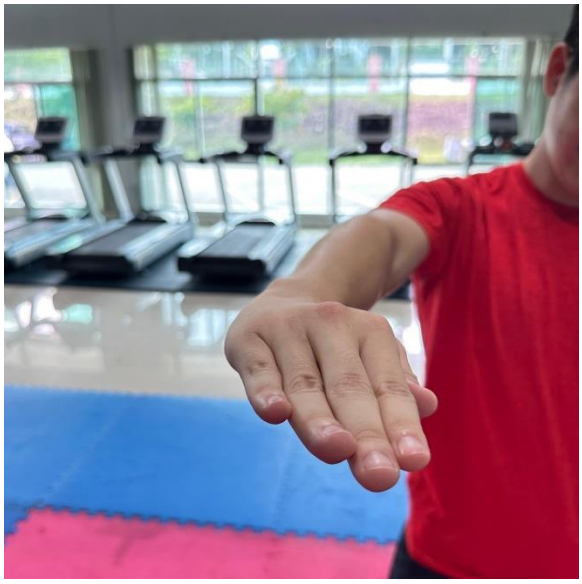
Flexion



Extension



Abduction



Adduction

ข้อมือ (wrist) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Abduction/ Adduction

ภาพที่ 4-26 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของสันหลัง (spine)



Flexion



Extension



Lateral flexion



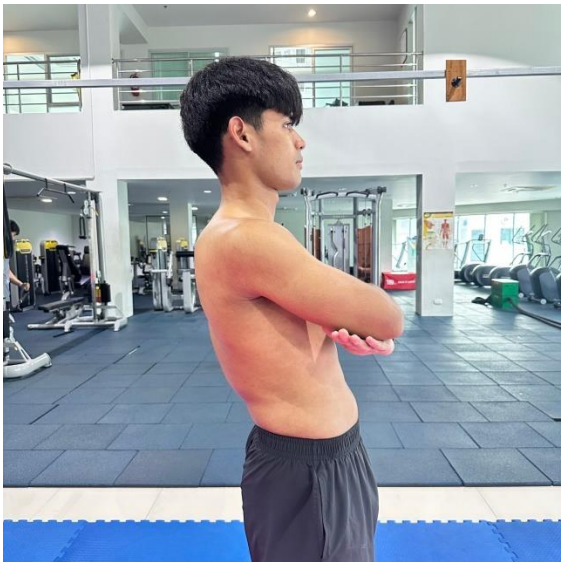
Rotation

สันหลัง (spine) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Lateral flexion/ Rotation

ภาพที่ 4–27 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของเชิงกราน (pelvis)



Anterior pelvis tilt (downward rotation)



Posterior pelvis tilt (upward rotation)



Lateral tilt (elevation)

เชิงกราน (pelvis) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Anterior pelvis tilt (downward rotation)/ Posterior pelvis tilt (upward rotation)/ Lateral tilt (elevation)

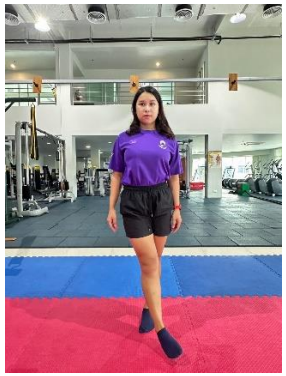
ภาพที่ 4-28 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของสะโพก (hip)



Flexion



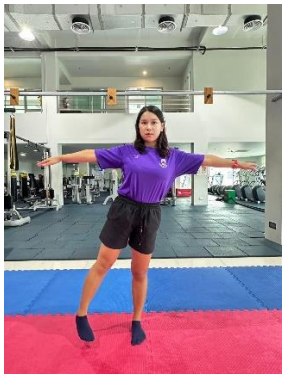
Extension



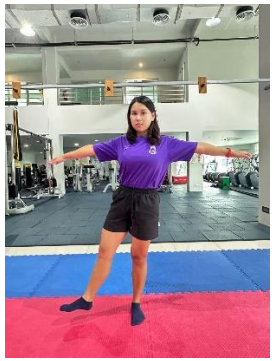
Adduction



Abduction



Medial rotation (internal rotation)



Lateral rotation (external rotation)

สะโพก (hip) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Adduction/ Abduction/ Medial rotation (internal rotation)/ Lateral rotation (external rotation)

ภาพที่ 4–29 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของเข่า (knee)



Flexion



Extension



Medial rotation of flexed knee



Lateral rotation of flexed knee

เข่า (knee) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Flexion/ Extension/ Medial rotation of flexed knee/ Lateral rotation of flexed knee

ภาพที่ 4-30 แสดงการประยุกต์รูปแบบการเคลื่อนไหวของเท้า, ข้อเท้าและนิ้วเท้า (foot, ankle and toes)



Dorsiflexion of ankle



Plantarflexion of ankle



Inversion of foot



Eversion of foot



Flexion of toes



Extension of toes

เท้า, ข้อเท้าและนิ้วเท้า (foot, ankle and toes) สามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะ Dorsiflexion of ankle, Plantarflexion of ankle, Inversion of foot, Eversion of foot, Flexion of toes, Extension of toes

7. กล้ามเนื้อและการเคลื่อนไหว

กล้ามเนื้อ (muscle) มาจากภาษาละตินแปลว่า หนูตัวเล็ก (Costill& Wilmore, 2004) กล้ามเนื้อถือเป็นระบบทางสรีรวิทยาที่สำคัญระบบหนึ่งของร่างกาย และถือเป็นระบบที่สำคัญอย่างมากสำหรับศาสตร์ทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย เพราะการฝึกไม่ว่าจะออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาล้วนแต่มุ่งเน้นความสำคัญไปที่การฝึกกล้ามเนื้อแทบทั้งสิ้น ร่างกายคนเราประกอบไปด้วยมวลกล้ามเนื้อประมาณร้อย 15 – 20 ของน้ำหนักตัว ทั้งนี้กล้ามเนื้อแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ คือ

7.1 ประเภทของกล้ามเนื้อในร่างกาย

7.1.1 กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)

เป็นกล้ามเนื้อรูปกระสวย มีลักษณะบาง ยาวเรียว เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary) ไม่สามารถควบคุมได้ เป็นส่วนประกอบผนังของอวัยวะภายใน (visceral organ) เช่น หลอดอาหาร หลอดลม กระเพาะอาหาร ลำไส้ หลอดเลือด เป็นต้น

7.1.2 กล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย (striated or skeletal muscle)

เป็นกล้ามเนื้อที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอก อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary) สามารถควบคุมได้ ยึดติดกับกระดูกโดยเอ็นกล้ามเนื้อ (tendon) มีหน้าที่หดตัวเพื่อเคลื่อนไหวกระดูกให้ร่างกายมีท่าทางและกิจกรรมต่าง ๆ ทำโดยทั่วไปผู้ชายประกอบด้วยกล้ามเนื้อโครงร่างร้อยละ 40–50 ส่วนผู้หญิงจะประกอบด้วยกล้ามเนื้อโครงร่าง 30–40 ประมาณกันว่าเมื่อร่างกายเคลื่อนไหวจะมีกล้ามเนื้อโครงร่างที่ทำงานพร้อม ๆ กันถึง 792 มัด กล้ามเนื้อลายประกอบไปด้วยน้ำร้อยละ 70 โปรตีนร้อยละ 25 และเกลือแร่ต่าง ๆ ร้อยละ 5

7.1.3 กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ ที่เป็นส่วนประกอบในหัวใจ เพื่อหดตัวทำให้หัวใจเต้น

7.2 ประเภทของกล้ามเนื้อโครงร่าง (types of skeleton muscle)

กล้ามเนื้อที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ คือกล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย ประกอบไปด้วยกล้ามเนื้อที่มีความเร็วในการหดตัวแตกต่างกันไป ตามชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด 3 ประเภทคือ

7.2.1 กล้ามเนื้อประเภทหดตัวช้า (slow twitch fiber / aerobic fiber / red fiber, endurance fiber, oxidative fiber) หรือ กล้ามเนื้อชนิดที่ 1 (type I fiber)

เป็นกล้ามเนื้อที่มีเส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก สีแดงเข้ม เนื่องจากมีหลอดเลือดฝอย (capillary) จำนวนมาก ภายในเซลล์ประกอบด้วยไมโตคอนเดรีย (mitochondria) และไมโอโกลบิน (myoglobin) ทำให้มีลักษณะเฉพาะในการขนส่งออกซิเจนได้ดี มีปริมาณไมโตคอนเดรีย

และไขมันสูง มีไกลโคเจนสะสมอยู่น้อย สีแดงที่เกิดขึ้นมาจากเลือดที่มาหล่อเลี้ยงมาก จึงเป็นที่มาของชื่อ (red fiber) การที่มีปริมาณไมโตคอนเดรีย ทำให้มีออกซิเจนอยู่ในเส้นใยกล้ามเนื้อสูง ความสามารถในการหดตัวช้า ใช้ออกซิเจนช่วยให้พลังงานในการหดตัว

กล้ามเนื้อชนิดนี้มีความสามารถในด้านความอดทนต่อความเหนื่อยล้า (Plotkin et al., 2021) นักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกายในทางแอโรบิก หรือเล่นกีฬาที่ใช้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจจะพบว่ามีเส้นใยกล้ามเนื้อประเภทนี้ในสัดส่วนที่มากกว่าประเภทอื่น ๆ

7.2.2 กล้ามเนื้อประเภทหดตัวเร็ว: Fast twitch fiber

1. กล้ามเนื้อชนิดที่ 2a: Type IIa, Intermediate, Fast oxidative glycolytic fiber มีสีแดงคล้ายกล้ามเนื้อ Type I มีการหายใจแบบใช้ออกซิเจน มี Mitochondria จำนวนมากและหลอดเลือดฝอย มีปริมาณทั้งไขมันและไกลโคเจนสูง สามารถหดตัวได้เร็วกว่ากล้ามเนื้อชนิดที่ 1

2. กล้ามเนื้อชนิดที่ 2x (2b): Type IIx (IIb), Fast twitch fiber / Fast glycolytic fiber/ Anaerobic Fiber Power Fiber เป็นกล้ามเนื้อที่มีสีจาง มีความสามารถในการหดตัวเร็ว Mitochondria และ Myoglobin น้อย มีไขมันน้อยแต่ไกลโคเจนมาก การสร้าง ATP จึงมาจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน ให้พลังงานได้จำกัดมีการสะสมของกรดแลคติกได้ง่ายทำให้เกิดการล้าได้เร็ว เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่อดทนแต่มีความแข็งแรงและพลังระเบิดสูง ใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานในการหดตัวเพียงอย่างเดียว ผู้ที่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่ต้องใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พลังและความเร็ว จะมีกล้ามเนื้อชนิดนี้อยู่ในปริมาณมาก เดิมที่กล้ามเนื้อมีชื่อว่า IIb โดยคำว่า Type IIx เป็นชื่อเรียกที่ถูกใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ

ผลของการฝึกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อ

การฝึกความอดทนส่งผลให้สัดส่วนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 (type I) เพิ่มขึ้น โดยอาจเพิ่มขึ้นเฉลี่ย (42.6% เป็น 48.6%) ในขณะที่การฝึกแรงต้านน้ำหนักสูงจะทำให้เกิดภาวะไฮเปอร์โทฟี (Hypertrophy) ในเส้นใยชนิดที่ 2 โดยพบความเปลี่ยนแปลงเส้นใยจาก IIx ไปเป็นแบบ IIa มากขึ้น (Plotkin et al., 2021; Arga A.&Arfah, 2026) ส่วนการฝึกแบบผสมผสาน ร่วมทั้งการฝึกหนักสลับช่วงพักความเข้มข้นสูง จะทำให้สัดส่วนของ IIa เพิ่มมากขึ้นและการพัฒนาของเส้นใยลูกผสม (Hybrid Fiber) และทำให้สัดส่วนเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 ลดลง ขณะที่การหยุดฝึก (Detraining) จะทำให้การปรับตัวเหล่านี้กลับคืนสู่สภาพเดิม (Plotkin et al., 2021) ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อเนื่องจากการฝึกนั้นเปลี่ยนแปลงเส้นใยจาก IIx ไปเป็นแบบ IIa คือการเปลี่ยนแปลงที่พบเห็นได้มากที่สุดจากการฝึกต่าง ๆ ในขณะที่การเปลี่ยนผ่านอย่างเต็มรูปแบบระหว่างกล้ามเนื้อชนิดที่ 1 ไปชนิดที่ 2 หรือชนิดที่ 2 ไปชนิดที่ 1 จำเป็นต้องอาศัยการฝึกที่เข้มข้นและระยะเวลานาน (Hu et al., 2024)

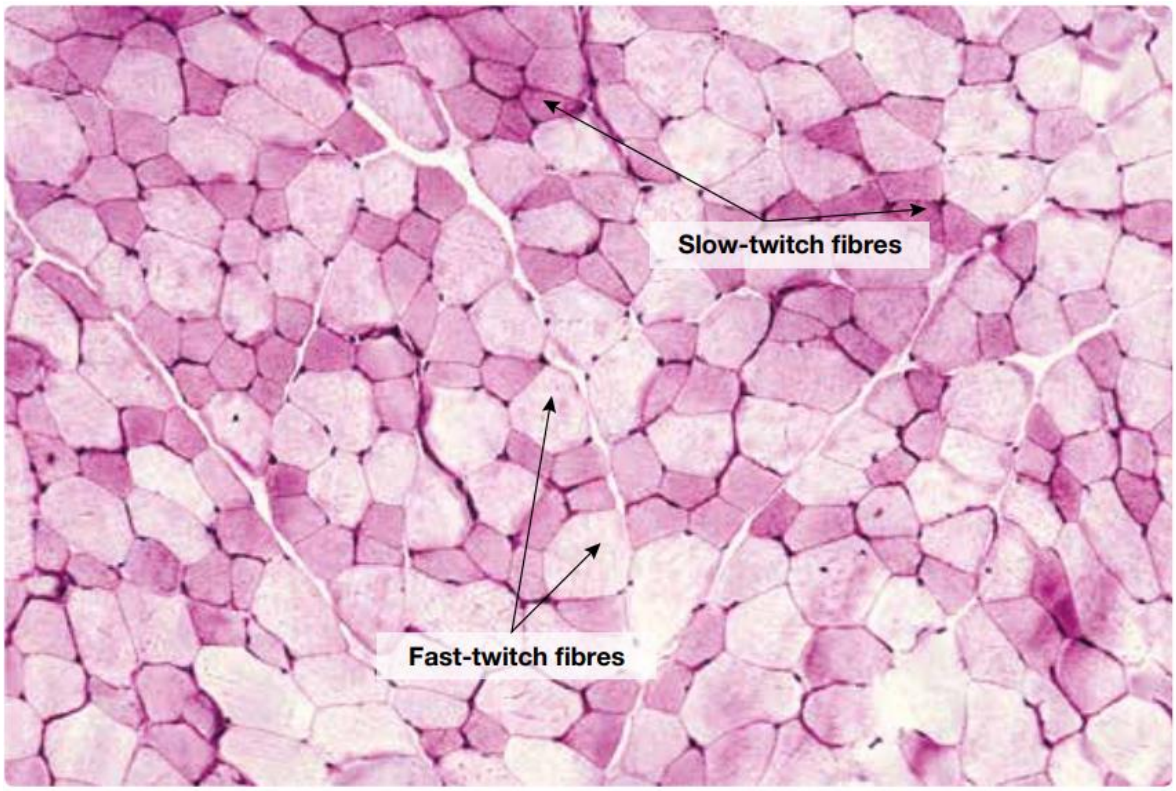
ตารางที่ 4–1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ

อ้างอิง (MacIntosh et al., 2006)

คุณสมบัติ	Type I	Type II a	Type IIx (b)
เส้นใยกล้ามเนื้อ	Slow Oxidative (SO)	Fast Oxidative/ Glycolytic (FOG)	Fast Glycolytic (FG)
Twitch Speed	Slow	Fast	Fast
Twitch Force	Small	Medium	Large
Resistance to fatigue	High	High	Low
Glycogen Content	Low	High	High
Red Color	Dark	Dark	Pale
Myoglobin	High	High	Low

ภาพที่ 4–31 ภาพตัดขวางกล้ามเนื้อแสดงลักษณะเส้นใยกล้ามเนื้อ

แหล่งที่มา https://cpb-ap-se2.wpmucdn.com/learn.stleonards.vic.edu.au/dist/7/166/files/2019/01/LIve-It-Up-Ch12-Chronic-Adaptations.pdf



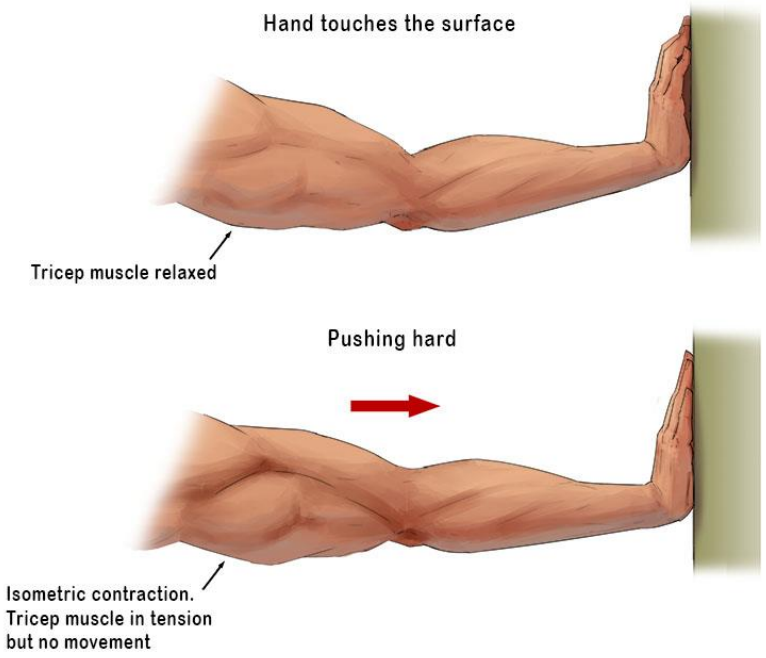
8. การหดตัวของกล้ามเนื้อ (muscle contraction)

ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวได้เนื้อจากมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งมีการหดตัวเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวในแบบต่าง ๆ (Santarém et al., 2023) ดังนี้

8.1 การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวของกล้ามเนื้อไม่มีการเปลี่ยนแปลง (isometric contraction/ static contraction)

คำว่า Iso แปลว่า เท่ากัน ส่วน Metric แปลว่า ความยาว เมื่อรวมกันจะได้หมายถึง “ความยาวเท่าเดิม” การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้ กล้ามเนื้อจะเกิดแรงตึง (tension) แต่มุมของข้อต่อและความยาวของกล้ามเนื้อจะไม่เปลี่ยนแปลง เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีความยาวของกล้ามเนื้อคงที่ เกิดขึ้นเมื่อร่างกายทำงานแบบการเกร็งของกล้ามเนื้อเพื่อต้านกับแรงต้านทาน

ภาพที่ 4–32 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบไอโซเมตริก คอนแทรคชั่น (isometric contraction)
แหล่งที่มา https://mammothmemory.net/sports/muscles/contraction/isometric– contraction.html



การหดตัวแบบไอโซเมตริก คอนแทรคชั่นนั้นมีรูปแบบทั้งการที่ร่างกายพยายามรักษาแรงเฉื่อย (inertial load) เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำเพื่อให้สามารถรักษาสมดุล หรือการที่ร่างกายออกแรงต้านแรงจากภายนอกเพื่อดัน ผลัก วัตถุต่าง ๆ (Garner et al., 2008) การหดตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อแรงต้านภายนอกมีค่ามากกว่าแรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ และ

ตลอดระยะเวลาของการหดตัวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวของกล้ามเนื้อเลย เช่นกล้ามเนื้อขาขณะที่ยืนในขณะที่พยายามจะยกของหนัก ๆ หรือกล้ามเนื้อแขนในขณะที่มีการดันผนังหรือกำแพง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีการเคลื่อนที่ของร่างกายหรือของวัตถุ จึงถือว่าไม่เกิดงาน การฝึกกล้ามเนื้อแบบ Isometric Exercise จะทำให้กล้ามเนื้อคงความแข็งแรงเอาไว้ได้ เป็นการฝึกกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดอาการล้าได้น้อย และยังสามารถฝึกกล้ามเนื้อต่าง ๆ ได้รวมถึงใช้ฝึกเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับนักกีฬาประเภทต่าง ๆ ได้ (Lum et al., 2021) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการฝึกด้วยการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้อาจไม่สามารถเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อได้ และนิยมใช้สำหรับผู้ป่วยในโรงพยาบาลเพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อ (Kraemer& Ratamess, 2004; Aragão et al., 2014) โดยมีข้อควรระวังคือการฝึกแบบนี้จะทำให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น จึงควรระวังให้ผู้ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง

8.2 การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวมีการเปลี่ยนแปลง (isotonic contraction/ dynamic contraction)

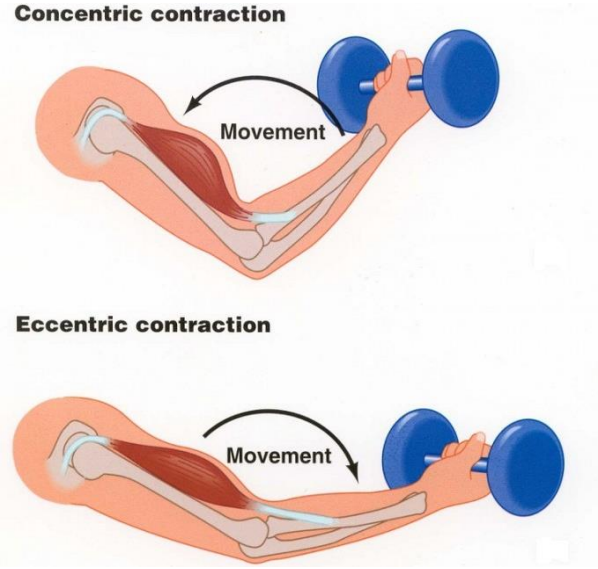
เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงสั้นลงหรือยาวขึ้น มีการเคลื่อนไหวของร่างกายทำให้เกิดงาน ซึ่ง 2 แบบ (Roig et al., 2009) คือ

1. การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า (concentric contraction/ shortening contraction) ทำให้น้ำหนักเคลื่อนเข้าหาลำตัว การหดตัวแบบนี้เกิดเมื่อแรงภายในกล้ามเนื้อมีค่ามากกว่าแรงต้านทานภายนอก ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ จึงถือว่ามีงานเกิดขึ้น ซึ่งก็คือการฝึกโดยทั่ว ๆ ไปเช่นการฝึกยกน้ำหนัก เป็นการหดสั้นลงของความยาวกล้ามเนื้อมัดที่ยกน้ำหนัก

2. การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (eccentric contraction/ lengthening contraction) การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อแรงภายนอกมีค่ามากกว่าแรงที่เกิดขึ้นจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ เป็นการทำงานโดยกล้ามเนื้อที่ควบคุมการเคลื่อนไหวชนิดที่ไปในทิศทางของแรงดึงดูดโลก เช่น เกิดขึ้นในขณะที่เดินลงทางที่สูง หรือการฝึกโดยกล้ามเนื้อมัดที่ทำงานจะเริ่มต้นการหดตัวไปสู่การคลายตัว การหดตัวของกล้ามเนื้อในลักษณะนี้จะเกิดแรงมากที่สุด รองลงมาเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Isometric และการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Concentric ตามลำดับ (Wilson, 1994) นอกจากนั้นยังพบว่าการฝึกแบบนี้จะช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรงมากกว่าการฝึกแบบ Isometric แต่ก็อาจเกิดการบาดเจ็บได้ง่ายกว่า นอกจากนั้นการฝึกชนิดนี้จะเพิ่มความดันโลหิต แต่จะน้อยกว่าการฝึกแบบ Isometric

ภาพที่ 4-33 แสดงการหดตัวของกล้ามเนื้อ

แหล่งที่มา https://www.nritarutya.com/mechanics-of-the-human-body/



8.3 การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความเร็วคงที่ (isokinetic contraction)

เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบมีความเร็วเชิงมุมคง ไม่ว่าแรงต้านหรือความหนักของงานจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ในการฝึกด้วยแรงต้านจะหมายถึงการออกกำลังกายที่ความเร็วคงที่ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงต้านอย่างไร หรือการออกกำลังกายชนิดอื่น ๆ เช่นการปั่นจักรยานที่ความเร็วรอบคงที่ 30 รอบ/ นาที หรือ 50 รอบ/ นาที ไม่ว่าความหนักจะมากขึ้นหรือน้อยลงความเร็วรอบในการปั่นจะเท่าเดิม (Koninckx et al., 2010; Fornusek et al., 2013) หรือการวิ่งบนลู่วิ่งโดยกำหนดความเร็วคงที่ และปรับความหนักโดยการเพิ่มหรือลดความชันบนลู่วิ่ง หรือการทำท่าสควทด้วยจังหวะขึ้นและลงที่ความเร็วคงที่

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องฝึกออกกำลังกายแบบความเร็วในการหดตัวกล้ามเนื้อคงที่ (isokinetic exercise machine/ isokinetic dynamometer เพื่อฝึกการหดตัวความเร็วหรือความเร็วเชิงมุมคงที่ (constant velocity of lengthening contraction) เครื่องมือดังกล่าวผู้ฝึกจะสามารถออกแรงได้เต็มที่ช่วยลดการบาดเจ็บ แต่เครื่องมือชนิดนี้มีราคาแพงมากและมีข้อจำกัดในการใช้งานจึงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ฝึกได้อย่างแพร่หลาย

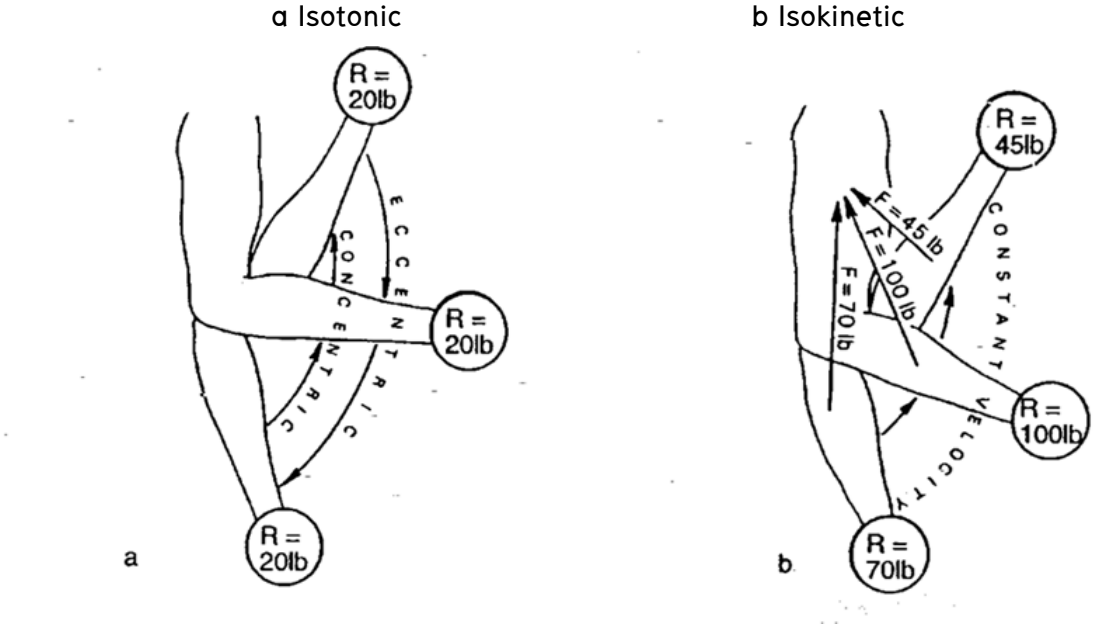
ภาพที่ 4–34 แสดงเครื่องการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบมีความเร็วคงที่

แหล่งที่มา https://www.dreamstime.com/photos–images/exercise–isokinetic.html



ภาพที่ 4–35 แสดงการเปรียบเทียบการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบต่าง ๆ Isotonic และ Isokinetic

แหล่งที่มา http://lsda.jsc.nasa.gov/scripts/mission/miss.aspx?mis_index=331



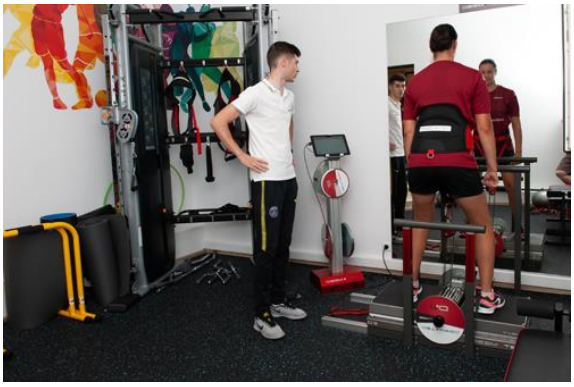
ภาพแสดงความแตกต่างของการหดตัวกล้ามเนื้อทั้ง 2 แบบ จะเห็นว่าการหดตัวแบบความยาวมีการเปลี่ยนแปลง ในทุก ๆ มุมการเคลื่อนไหวน้ำหนักของแรงต้านจะเท่ากันตลอดทำให้กล้ามเนื้อออกแรงในองศาต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน ส่วนการหดตัวแบบความเร็วคงที่ในแต่ละองศาการเคลื่อนไหวน้ำหนักของแรงต้านจะเปลี่ยนไป ทำให้กล้ามเนื้อออกแรงในทุก ๆ องศาได้เท่ากัน

8.4 การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบความเฉื่อยคงที่ (isoinertial contraction)

Inertial แปลว่าความเฉื่อย การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้จะคล้ายกับการหดตัวแบบ Isotonic แต่จะมีการรักษาแรงเฉื่อยให้คงที่ตลอดการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดความต้านทานคงที่และช่วยให้กล้ามเนื้อออกแรงสูงสุดได้ในทุกมุมของการเคลื่อนไหว จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ เพื่อรักษาความเฉื่อย (inertial) หรือแรงต้าน (resistance) ให้คงที่ตลอดการเคลื่อนไหว (constant inertia (resistance) ไม่ว่าจะเป็นช่วงที่กล้ามเนื้อทำงาน (effective contraction) หรือช่วงที่ผ่อนคลาย (relaxation) เพื่อให้กล้ามเนื้อออกแรงได้เต็มที่ในทุกมุมของการเคลื่อนไหว ช่วยสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้กลไกการทำงานของอุปกรณ์จะสร้างแรงต้านจากแรงเฉื่อยของล้อหมุนในอุปกรณ์การฝึก ซึ่งแรงหมุนจะถูกเร่งหรือชะลอตัวโดยแรงจากกล้ามเนื้อของผู้ฝึก ไม่ได้เกิดจากน้ำหนักภายนอก

ภาพที่ 4-36 แสดงอุปกรณ์การฝึกเพื่อให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบ Isoinertial

แหล่งที่มา https://www.superfit.ro/en/services/isoinertial-training/





แนวคิดการออกแบบอุปกรณ์เพื่อให้กล้ามเนื้อหดตัวแบบ Inertial มาจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักบินอวกาศอวกาศซึ่งเป็นที่ยอมรับว่า มีการสูญเสียกล้ามเนื้อและเกิดความผิดปกติของการทำงานร่วมกันของประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular functions) ซึ่งให้เกิดความกังวลหากนักบินอวกาศจะต้องอาศัยอยู่ในสภาวะไร้แรงโน้มถ่วงเป็นระยะเวลานาน ๆ เช่นการเดินทาง

ไปยังดาวเคราะห์ที่ห่างไกล และปัญหาดังกล่าวไม่อาจแก้ไขได้ด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Berg& Tesch, 1994; Tesch et al., 2017) หรือการยกน้ำหนักซึ่งทำได้ยากในอวกาศ พบว่าการฝึกร่างกายด้วยการใช้อุปกรณ์ Isoinertial สามารถเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (hypertrophy) เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานควบคู่ระหว่างประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular functions) และพัฒนาสมรรถภาพทางกายทั้งด้านความแข็งแรง, พลังและความเร็วทั้งในคนปกติและนักกีฬา (Tesch et al., 2004; Norrbrand et al., 2010; Gonzalo-Skok et al., 2016; Tesch et al., 2017; Fiorilli et al., 2020)

9. หน้าที่ของกล้ามเนื้อ

เพื่อให้เข้าใจบทบาทของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนไหว เราจำเป็นต้องรู้ว่าโดยปกติแล้วกล้ามเนื้อแบ่งหน้าที่เพื่อร่วมกันทำงานคือ

9.1 กลุ่มกล้ามเนื้อหลัก (agonist muscle/ prime moves) คือกล้ามเนื้อหลักที่มีการหดตัวเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวข้อต่อ ทำให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหวในท่าทางต่าง ๆ และมีการเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ต้องการ

9.2 กลุ่มกล้ามเนื้อตรงกันข้าม (antagonist muscle) คือกลุ่มกล้ามเนื้อมัดตรงข้ามกับกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก จะคลายตัวเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหว ทำหน้าที่เคลื่อนไหวข้อต่อในทิศทางตรงข้ามกลุ่มกล้ามเนื้อหลักเพื่อสร้างความสมดุลของแรง

9.3 กลุ่มกล้ามเนื้อเสริมความมั่นคง (stability/ stabilizer muscle) มีหน้าที่ในการทำงานประสานสัมพันธ (co- contraction) เพื่อให้ข้อต่อและร่างกายมีความสมดุลมั่นคง มีวงจร ที่เป็นกระบวนการในการเตรียมพร้อมของร่างกายก่อนการเคลื่อนไหว โดยการหดหรือเกร็งตัวเพื่อสร้างความมั่นคงก่อนจะมีการเคลื่อนไหวจริง (feedforward control) เป็นวงจรการทำงานอัตโนมัติ สลับกันไปต่อเนื่องในลักษณะการสร้างความมั่นคงในขณะที่ไม่มีการเคลื่อนไหวและขณะทำการเคลื่อนไหว (static and dynamic stabilization) (Sangwan et al., 2014)

อาจกล่าวได้ว่ากล้ามเนื้อกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในการรักษาความมั่งคงของร่างกาย รักษาความมั่นคงของข้อต่อ ช่วยความสมดุลของตำแหน่งของข้อต่อไว้ในขณะที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหว ทำหน้าที่ในการสร้างความพร้อมของร่างกายของการเคลื่อนไหวจริง

9.4 กล้ามเนื้อกลุ่มเคลื่อนไหว (movement/ mobilizer muscle) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนไหวเป็นหลักโดยเฉพาะกล้ามเนื้อกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหวแขนและขา

การเคลื่อนไหวของร่างกายไม่มีกล้ามเนื้อมัดไหนที่เป็นกลุ่มกล้ามเนื้อหลัก กลุ่มกล้ามเนื้อตรงกันข้าม กลุ่มกล้ามเนื้อเสริมความมั่นคง หรือ กล้ามเนื้อกลุ่มเคลื่อนไหว ตลอดเวลาหรือ 100 % เนื่องจากกล้ามเนื้อจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหน้าที่กันอยู่ตลอด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจจะมีกลุ่มกล้ามเนื้อบางกลุ่มที่ทำหน้าที่หลัก ๆ ในตัวของมันเองเช่น กลุ่มกล้ามเนื้อก้มคอมัดลึก (deep neck flexor) กลุ่ม

กล้ามเนื้อหัวไหล่ (rotator cuff) กล้ามเนื้อหลัง (trapezius) กล้ามเนื้อแนวขวางหน้าท้อง (transversus abdominis) กล้ามเนื้อก้นมัดกลาง (gluteus medius) ซึ่งทั้งหมดปกติจะทำหน้าที่เป็นหลักในการเป็นกลุ่มกล้ามเนื้อ Stabilizer Muscle

10. ความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อ (muscle imbalance)

ก่อนที่จะทำความเข้าใจว่าเหตุใดจึงก่อให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นของกล้ามเนื้อ เราจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจก่อนว่า กล้ามเนื้อแบ่งการทำงานหรือมีหน้าที่เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. กล้ามเนื้อที่ช่วยในการเคลื่อนไหว (dynamic/ phasic muscle)
2. กล้ามเนื้อที่ช่วยในการคงท่าทาง (tonic/ postural muscle)

10.1 กล้ามเนื้อที่ช่วยในการเคลื่อนไหว (dynamic/ phasic muscle)

กล้ามเนื้อที่ช่วยในการเคลื่อนไหว ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นกล้ามเนื้อประเภทหดตัวเร็ว (fast-twitch muscle fibers/ Type II) ซึ่งมีคุณสมบัติในการหดตัวได้เร็วและแรง และเป็นกล้ามเนื้อที่เหนื่อยและอ่อนแรงได้ง่าย (inhibited or weakness)

ตัวอย่างของกล้ามเนื้อในกลุ่มนี้เช่น กล้ามเนื้อหลังส่วนกลางและล่าง (mid and lower trapezius) กล้ามเนื้อด้านข้างอกรอบซี่โครงทำงาน ช่วยเวลายกแขน (serratus anterior) กล้ามเนื้อหลังแขน (triceps) กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนกลาง (rectus abdominis) กล้ามเนื้อหน้าท้องส่วนใน (transverse abdominis) ก้น (glutes) เป็นต้น

10.2 กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการรักษาท่าทาง (tonic/ postural muscle)

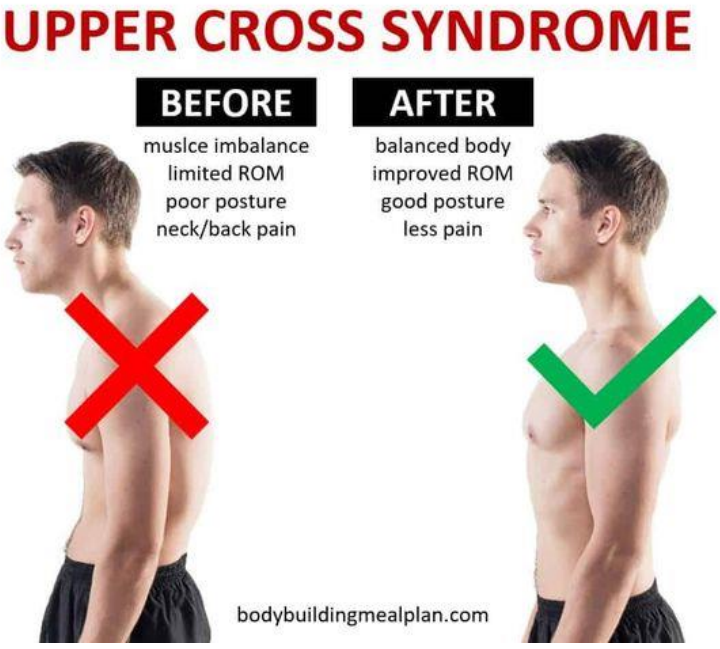
กล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการคงท่าทาง ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็นกล้ามเนื้อประเภทหดตัวเร็ว (slow-twitch muscle fibers/ Type I) ซึ่งมีคุณสมบัติในการหดตัวช้า แต่มีความอดทนสูง เนื่องจากต้องคอยต้านแรงดึงดูดของโลกเพื่อทรงท่าทางต่าง ๆ เอาไว้ ดังนั้นจะเป็นกล้ามเนื้อที่เกิดอาการหดสั้นหรือยึดติดได้ง่าย (tightness or shortness)

ตัวอย่างของกล้ามเนื้อในกลุ่มนี้ ส่วนใหญ่คือกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่งอ (flexors) ซึ่งต้องทำงาน ซ้ำ ๆ อยู่ตลอดเวลาทั้งวันเช่นกล้ามเนื้อกลุ่มงอสะโพก (hip flexors) เช่น อิลิโอโซแอส (Iliopsoas) ที่มีหน้าที่พับต้นขาเวลานั่ง นอกจากนี้ก็จะมีกล้ามเนื้อต่าง ๆ ที่เรารู้จักกันดีเช่นกล้ามเนื้อต้นแขน (biceps brachii) กล้ามเนื้อหน้าอก (pectorals) กล้ามเนื้อหลังส่วนบน (upper trapezius) กล้ามเนื้อลำตัวช่วงล่าง (quadratus lumborum) แก้มก้น (piriformis) กล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (hamstrings) และน่อง (gastrocnemius) เป็นต้น

โดยปกติแล้วกล้ามเนื้อกลุ่มช่วยการเคลื่อนไหวจะมีการหดตัวเมื่อร่างกายมีการเคลื่อนไหว แต่กล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะไม่ทำงานเมื่อร่างกายไม่เคลื่อนไหวหรืออยู่ในท่าพัก ในขณะที่กล้ามเนื้อกลุ่มรักษาท่าทาง จะมีการหดตัวเมื่อร่างกายพักอยู่นิ่งเพื่อคงท่าทางนั้นไว้ แต่เมื่อร่างกายมีการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะมีการหยุดการทำงาน สำหรับคนที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเช่นกลุ่มคนที่ทำงานนั่งโต๊ะ นักเรียน นักศึกษา กล้ามเนื้อกลุ่มการเคลื่อนไหวจะไม่ค่อยมีการทำงาน เกิดการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อกลุ่มนี้ ในขณะที่กล้ามเนื้อกลุ่มรักษาท่าทางจะมีการทำงานมากกว่าปกติ เกิดมีการหดเกร็งอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดอาการตึงต่าง ๆ ขาดความยืดหยุ่นและทำให้เกิดอาการปวดกลุ่ม MPS (myofascial pain syndrome)

ในการออกกำลังกายนั้นเราจำเป็นจะต้องอบอุ่นร่างกายให้ถูกต้องตามลักษณะของกลุ่มกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อกลุ่มช่วยการเคลื่อนไหว เช่นกล้ามเนื้อก้น (glutes) เราไม่ควรใช้การอบอุ่นร่างกายด้วยการยืดเหยียดแต่การใช้การกระตุ้น (activate) เช่นการนวด หรือการออกกำลังกายเบา ๆ แต่กล้ามเนื้อกลุ่มรักษาท่าทาง เช่น กล้ามเนื้อต้นแขนหรือหน้าอก ควรใช้การอบอุ่นร่างกายแบบการยืดเหยียดเพื่อให้กล้ามเนื้อได้คลายตัวจากการหดเกร็งในกิจกรรมประจำวัน และควรยืดเหยียดกล้ามเนื้อให้ครบทุกส่วน เพื่อป้องกันกลุ่มอาการออฟฟิศซินโดรม (office syndrome) เช่นอาการปวดหลังล่าง

ภาพที่ 4-37 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Upper crossed syndrome
แหล่งที่มา https://www.pinterest.com/pin/upper-cross-syndrome-before-and-after--665829126160040138/

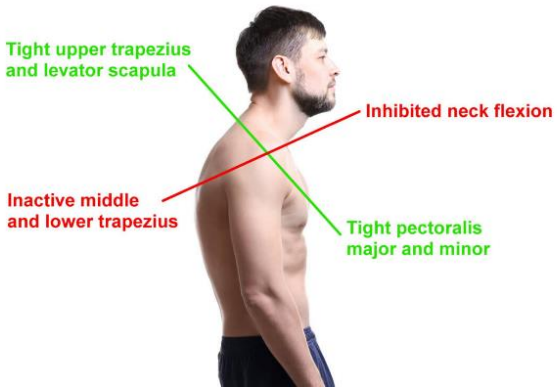


ภาพที่ 4–38 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Upper crossed syndrome

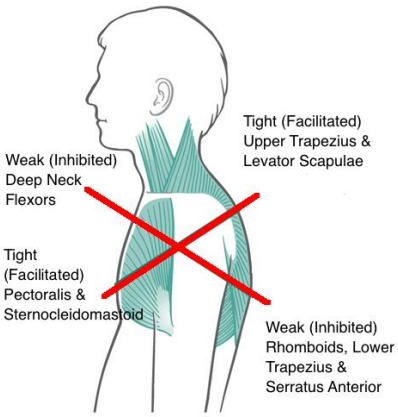
แหล่งที่มา 1. https://somaticmovementcenter.com/upper–crossed–syndrome/

2. https://www.minnietang.com/physio/upper–crossed–syndrome

1

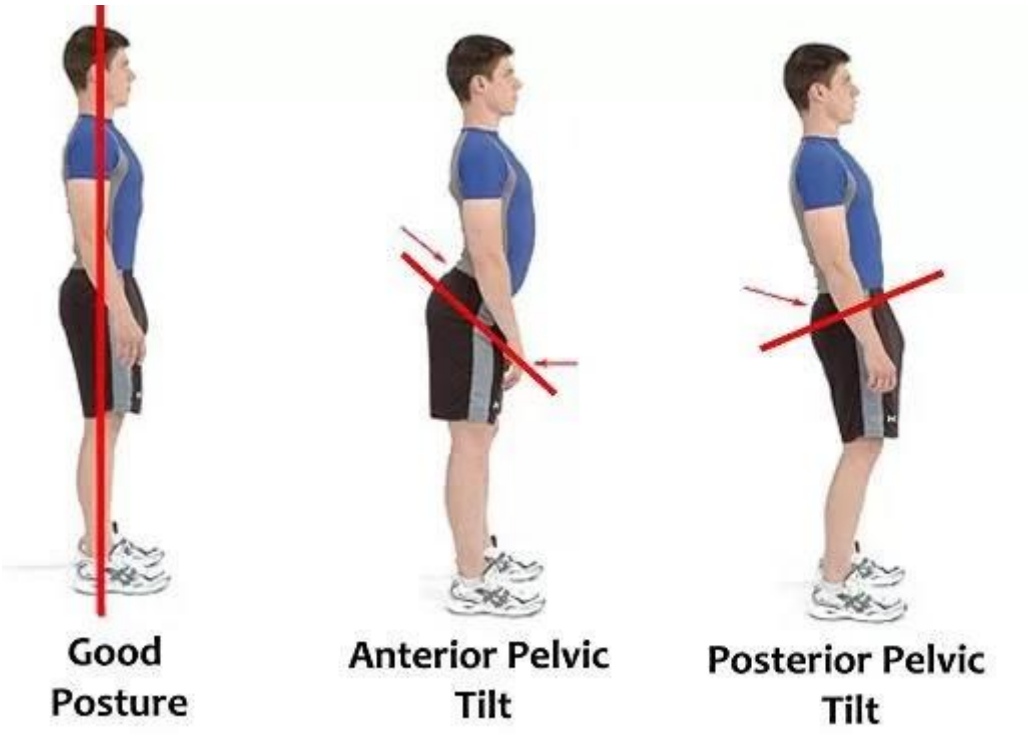


2



ภาพที่ 4–39 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Lower crossed syndrome

แหล่งที่มา https://www.minnietang.com/physio/upper–crossed–syndrome



ภาพที่ 4–40 แสดงความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อแบบ Lower crossed syndrome

แหล่งที่มา https://www.stevehoggbikefitting.com/bikefit/2011/08/ironman–triathlon–position–how–marketing–overcame–some–peoples–reality/attachment/lower–crossed–syndrome/



สรุป

พื้นฐานของการเคลื่อนไหว มาจากการทำงานประสานกันระหว่างของกระดูก ข้อต่อและกล้ามเนื้อ ทำให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวในท่าทางพื้นฐานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการจะพัฒนาสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ให้ดี จำเป็นจะต้องเข้าใจการทำงานของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของร่างกาย เข้าใจลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อประเภทต่าง ๆ การหดตัวของกล้ามเนื้อ และท่าทางการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบการฝึกสมรรถภาพทางกายในด้านต่าง ๆ ได้ตรงกับบริบทของการใช้ชีวิตประจำวัน การออกกำลังกาย และการเล่นกีฬาประเภทต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

บรรณานุกรม

Arga A.&Arfah Arif Ardian. (2026). The Effect of Training Methods on the Dominance of Type I and Type II Muscle Fibers: An Evidence-Based Systematic Review. International Journal of Experimental Sports Science Research, 2(1), 13-20. https://doi.org/10.66968/t4xrrg67

Aragão, F.R., Abrantes, C.G., Gabriel, R.E.& et al. (2014). Effects of a 12-month multi-component exercise program on the body composition of postmenopausal women. 17(2): 155–63.

Barnett, L.M., Stodden, D., Cohen, K.E.& et al. (2016). Fundamental Movement Skills: An Important Focus. J. Teach. Phys. Educ. 35: 219–225.

Bonazza, N.A., Smuin, D., Onks, C.A.& et al. (2017). Reliability, Validity, and Injury Predictive Value of the Functional Movement Screen: A Systematic Review and Meta-analysis. Am. J. Sports Med. 45: 725–732.

Berg, H.E.& Tesch, A. (1994). A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. Aviat Space Environ Med. 65(8): 752-6.

Camhi, S. M., Reed, R., Stanfield, J. T., McAvoy, C. R., Sansone, J. & Batrakoulis, A. (2026). 2026 ACSM Worldwide Fitness Trends: Future Directions of the Health and Fitness Industry: ERRATUM. ACSM'S Health & Fitness Journal, 30(1), 64.

Cook, D.B. (2006). Functional Neuroimaging of Pain and Fatigue: 330. Medicine & Science in Sports & Exercise. 38(5): 62.

Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B.J.& Voight, M. (2014). Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. International journal of sports physical therapy. 9(4): 549-63.

Danning, C. (2019). Structure and function of the musculoskeletal system. In: Banasik J and Copstead LED (eds) Pathophysiology: (6th Ed). London: Elsevier.

Dipietro, L., Campbell, W.W., Buchner, D.M.& et al., (20419). Physical activity, injurious falls, and physical function in aging: an umbrella review. Med Sci Sports Exerc. 51(6): 1303–13.

Drake, R., Wayne Vogl, A.& Mitchell, A. (2019). Gray's Anatomy for Students (4th Ed.). London: Elsevier.

Duncan, M.J., Stanley, M.& Wright, S.L. (2013). The association between functional movement and overweight and obesity in British primary school children. Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol. 5(11): 2-8.

Ebersbach, G., Sojer, M., Muller, J.& et al. (2000). Sociocultural differences in gait. Mov Disord. 15(6): 1145–7.

Fitton, D.K., Sacko, R.S., Lyons, M.A.& Duncan, M.J. (2022). Association between Functional Movement Screen Scores and Athletic Performance in Adolescents: A Systematic Review. Sports . 10(28): 1–25. https://doi.org/10.3390/ sports10030028

Fry, A.C., Smith, J.C.& Schilling, B.K. (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. J. Strength Cond. Res. 17(4): 629–633.

Garner, J.C., Blackburn, T., Weimar, W.& Campbell, B. (2008). Comparison of electromyographic activity during eccentrically versus concentrically loaded isometric contractions. Journal of Electromyography and Kinesiology. 18(3): 466–71.

Gopura, R.A.R.C., Bandara, D.S.V., Kiguchi, K.& Mann, G.K.I. (2016). Developments in hardware systems of active upper–limb exoskeleton robots: a review. Robot. Auton. Syst. 75, 203–220.

Gonzalo–Skok, O., Tous–Fajardo, J., Valero–Campo, C.& et al. (2016). Eccentric–Overload Training in Team–Sport Functional Performance: Constant Bilateral Vertical Versus Variable Unilateral Multidirectional Movements. International Journal of Sports Physiology and Performance. 12(7): 951–958.

Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E.& et al. (2020). Isoinertial Eccentric–Overload Training in Young Soccer Players: Effects on Strength, Sprint, Change of Direction, Agility and Soccer Shooting Precision. J Sports Sci Med. 2020 Feb 24;19(1):213–223.

Fornusek, C., Davis, G.M.& Russold, M.F. (2013). Pilot study of the effect of low–cadence functional electrical stimulation cycling after spinal cord injury on thigh girth and strength. Arch Phys Med Rehabil. 94(5): 990–3.

Hu, T., Furuichi, Y., Manabe, Y., Yamada, K., Katakura, K., Aoki, Y., Tang, K., Sakai, T., & Fujii, N. L. (2024). Myokine BDNF highly expressed in Type I fibers inhibits the differentiation of myotubes into Type II fibers. Molecular Biology Reports, 51(1). https://doi.org/10.1007/s11033–024–10044–3

Hulteen, R., Morgan, P.J., Barnett, L.M.& et al. (2018). Development of Foundational Movement Skills: A Conceptual Model for Physical Activity across the Lifespan. Sports Med. 48: 1533–1540.

Jeon, Y. K., Shin, M. J., Kim, C. M.& et al. (2018). Effect of Squat Exercises on Lung Function in Elderly Women with Sarcopenia. J Clin Med. 7(7): 167. doi: 10.3390/jcm7070167.

Jessica, M. (2016). 7 Ultimate Functional Movement Patterns Trainers Want You to Master. Retrieved 20 April 2022, from https://dailyburn.com/life/fitness/functional–movement–

patterns-tests/#:~:text=Squat%2C%20lunge%2C%20push%2C%20pull,or%20walk%20around%20all%20day.

Jönhagen, S., Halvorsen, K., and Benoit, D. L. (2009). Muscle activation and length changes during two lunge exercises: implications for rehabilitation. Scand. J. Med. Sci. sports 19, 561–568.

Kiesel, K.B., Plisky, P.J& Voight, M.L. (2007). Can serious injury in professional football be predicted by a preseason functional movement screen? N. Am. J. Sports Phys. 2: 147–157.

Koninckx, E., Leemputte, M.V.& Hespel, P. (2010). Effect of isokinetic cycling versus weight training on maximal power output and endurance performance in cycling. Eur J Appl Physiol. 109(4): 699-708.

Kraemer, W.J& Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. Medicine & Science in Sports & Exercise. 36(4):674–88.

Kraus, K., Schutz, E., Taylor, W.R.& Doyscher, R. (2014). Efficacy of the functional movement screen: A review. J. Strength Cond. Res. 28: 3571–3584.

Kubo, K., Ikebukuro, T. & Yata, H. (2019). Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes. Eur J Appl Physiol. 119: 1933–1942.

Kuzuhara, K., Shibata, M., Iguchi, J.& Uchida, R. (2018). Functional Movements in Japanese Mini-Basketball Players. J Hum Kinet. 61: 53–62.

Lavallee, M.E.& Balam, T. (2010). An overview of strength training injuries: acute and chronic. Curr Sports Med Rep. 9(5): 307-13.

Lum, D., Barbosa, T.M., Joseph, R.& Balasekaran, G. (2021). Effects of Two Isometric Strength Training Methods on Jump and Sprint Performances: A Randomized Controlled Trial. Journal of Science in Sport and Exercise. 3(2): 115–24.

MacIntosh, B, R., Gardiner, P. F.& McComas, A. J. (2006). Skeletal Muscle: Form and Function. Human Kinetics.

Monaco, J.T.& Schoenfeld, B.J. (2019). A Review of the Current Literature on the Utility of the Functional Movement Screen as a Screening Tool to Identify Athletes' Risk for Injury. Strength Cond. J. 41: 17–23.

Newsome, A'Naja. M., Reed, R., Sansone, J., Batrakoulis, A.& et al., 2024. ACSM Worldwide Fitness Trends: Future Directions of the Health and Fitness Industry. ACSM's Health & Fitness. 28(1): 14-26.

Nguyen, U. (2016). The Fundamental Human Movements. Retrieved 20 April 2022, from

https://www.asirecreation.org/recreport/ask-trainer/63-ask-a-trainer-archive/302-the-fundamental-human-movements#:~:text=There%20are%20seven%20basic%20movements, muscle%20groups%20in%20your%20body.

Norrbrand ,L., Pozzo, M.& Tesch, P.A. (2010) Flywheel resistance training calls for eccentric muscle activation than weight training. European Journal of Applied Physiology. 110(5): 997-1005.

Pacheco, M. M., Teixeira, L. A. C., Franchini, E.& Takito, M. Y. (2013). Functional VS. Strength Training in Adults: Specific Needs Define the Best Intervention. Int J Sports Phys Ther. 8(1): 34–43.

Pallarés, J.G., Cava, A.M., Courel-Ibáñez, J.& et al. (2020). Full squat produces greater neuromuscular and functional adaptations and lower pain than partial squats after prolonged resistance training. Eur J Sport Sci. 20(1): 115-124.

Pauli, C., Keller, M., Ammann, F.& et al. (2016). Kinematics and kinetics of squats, drop jumps and imitation jumps of ski jumpers. J Strength Cond Res. 2016;30(3):643–52. doi: https://doi.org/ 10.1519/JSC.0000000000001166

Pirker, W.& Katzenschlager, R. (2017). Gait disorders in adults and the elderly : A clinical guide. Wien Klin Wochenschr. 129(3-4): 81-95.

Plotkin DL, Roberts MD, Haun CT, Schoenfeld BJ. Muscle Fiber Type Transitions with Exercise Training: Shifting Perspectives. Sports (Basel). 2021 Sep 10;9(9):127. doi: 10.3390/sports9090127.

Puntumetakul, R., Namwongsa, S., Suvarnnato, T.& et al. (2016). Comparison of immediate effects between RT and shoulder shrug exercises in chronic mechanical neck pain. J Med Tech Phy Ther. 28(2): 197-206.

Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G.& et al., (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med. 43(8): 556-68.

Sangwan, S., Green, R.A.& Taylor, N.F. (2014). Characteristics of Stabilizer Muscles: A Systematic Review. Physiotherapy Canada. 66(4);348–358.

Santarém, D., Machado, I., Sampaio, J.& Abrantes, C. (2023). Comparing the effects of dynamic and holding isometric contractions on cardiovascular, perceptual, and near-infrared spectroscopy parameters: A pilot study. PLoS One. 18(2): e0281885.

Serin, E.& Ziyagil, M.A. (2020). The Effect of 8 Weeks Squat Exercises Program on Body-

Composition in Young Males. Int J Disabil Sports Health Sci. 3(1): 28–32 doi: 10.33438/ijdshs.716858

Severin, A.C., Burkett, B.J., McKean, M.R.& et al. (2017). Quantifying kinematic differences between land and water during squats, split squats, and single–leg squats in a healthy population. PLoS One. 12: e0182320.

Skotnicka, M., Karpowicz, K., Bartkowiak S., Strzelczyk R. (2017). The impact of the corrective and stability exercises program on the quality of basic movement patterns among dance students. TRENDS in Sport Sciences. 1(24): 31–38.

Song, Q., Ma, M., Liu, H.& et al. (2023). Effects of step lengths on biomechanical characteristics of lower extremity during split squat movement. Front. Bioeng. Biotechnol. 11:1277493.

Studenski, S., Perera, S., Patel, K.& et al. (2011). Gait speed and survival in older adults. JAMA. 305(1): 50–8.

Tesch, P.A., Ekberg, A., Lindquist, D.M.& Trieschmann J.T. (2004) Muscle hypertrophy following 5–week resistance training using a non–gravity–dependent exercise system. Acta Physiologica Scandinavica. 180(1): 89–98.

Tesch P.A., Fernandez–Gonzalo, R.& Lundberg T.R. (2017) Clinical Applications of Isoinertial, Eccentric–Overload (YoYo™) Resistance Exercise. Frontiers in Physiology. 8: 241.

Wang, X., Kim, G.S., Deng, N.& et al., (2024). Effects of functional training on muscle strength, jumping, and functional movement screen in wushu athletes: A systematic review, Heliyon. 10(2). e24087.

Waugh, A.& Grant, A. (2018). The musculoskeletal system. In: Ross & Wilson Anatomy and Physiology in Health and Illness. London: Elsevier.

Werner, F.& An, K. (1994). Biomechanics of the elbow and forearm. Hand Clinics. 10(3): 357–373

Williams, M.J., Gibson, N.V., Sorbie, G.G.& et al. (2021). Activation of the gluteus maximus during performance of the back squat, split squat, and barbell hip thrust and the relationship with maximal sprinting. J. Strength & Cond. Res. 35: 16–24.

Wilmore, J. & Costill, D. (2004). Physiology of sport and exercise (3rd Ed). Champaign, IL. Human Kinetics. 40–47 & 76–81.

Wilson, G. J. (1994). Strength and power in sport. In J. Bloomfield, T.R. Aukland and B.C. Eliott (eds.), Applied anatomy and biomechanics in sport, pp. 110–208. Victoria, Australia: Blackwell Scientific Publications.

บทที่ 5
พลังงานในการเคลื่อนไหวและการประยุกต์ใช้
Energy for Movement and Application

มนุษย์เป็นเพียงส่วนหนึ่งของสิ่งมีชีวิตนับล้านชนิดที่อาศัยอยู่บนดาวเคราะห์โลกซึ่งอยู่รวมกันเป็นระบบนิเวศ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ เหล่านั้นอยู่ด้วยกันผ่านความสัมพันธ์ที่เรียกว่า ห่วงโซ่อาหาร (food chain) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางชีวเคมีที่ใช้อธิบายการส่งผ่านพลังงานและการส่งผ่านสารอาหารที่เป็นวัฏจักรอยู่ในระบบนิเวศ ร่างกายมนุษย์ได้พลังงานจากการรับประทานอาหาร การใช้พลังงานของร่างกายเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าเรามีสมรรถภาพทางกายดีเพียงใด การมีสมรรถภาพทางกายที่ดีจะต้องมีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แสงและความร้อนจากดวงอาทิตย์ใช้เวลาประมาณ 8 นาทีเพื่อเดินทางมาถึงโลก และมีเพียงร้อยละ 1 เท่านั้นที่ถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ของพืชสร้างพลังงานเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารให้กับสิ่งมีชีวิตชนิด ต่าง ๆ ซึ่งมนุษย์ได้พลังงานเหล่านั้นผ่านการบริโภคพืชและสัตว์เป็นอาหาร เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการฝึกสมรรถภาพทางกาย

1. หน่วยของพลังงานในร่างกาย (energy unit)

พลังงานในร่างกายมีการวัดโดยใช้ค่า แคลอรี่ ซึ่งมาจากคำภาษาอังกฤษว่า Calorie เป็นหน่วยวัดพลังงานอย่างหนึ่ง ปริมาณ 1 แคลอรี (1 cal) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำมวล 1 กรัมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ที่บรรยากาศและความดันปกติ (Popson et al., 2023) ปกติแล้วการวัดหน่วยพลังงานมักใช้ "จูล" ซึ่งเป็นมาตราเอสไอ สำหรับการวัดพลังงานต่าง ๆ เช่นพลังงานไฟฟ้า ส่วนแคลอรี่ใช้ในการวัดหน่วยพลังงานอาหาร นิโคลัส เคลเมนต์ (Nicolas Clément) เป็นผู้บัญญัติหน่วยแคลอรี่เป็นคนแรกเมื่อ ค.ศ. 1824 โดยกำหนดเป็น กิโลกรัม-แคลอรี่ หน่วยวัดนี้บรรจุลงในพจนานุกรมของฝรั่งเศสและอังกฤษในปี ค.ศ. 1842 และ 1867 ตามลำดับ สำหรับวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ทางเคมีหรือฟิสิกส์ 1 แคลอรี่จะเท่ากับ 1 กรัม-แคลอรี่ มีค่าประมาณ 4.184 จูล โดยสัญลักษณ์แทน 1 กรัม-แคลอรี่ จะใช้ตัวอักษร cal และหากเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตัวอักษร ซี (c) ตัวแรกจะขึ้นตนด้วยตัวพิมพ์เล็ก (calorie)

1.1 แคลอรี่ทางวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์การกีฬา

ในทางวิทยาศาสตร์สุขภาพหรือวิทยาศาสตร์การกีฬาแล้ว เมื่อพูดถึงแคลอรี่จะหมายถึงปริมาณพลังงานที่ร่างกายใช้ไปหรือได้รับจากสารอาหารประเภทต่าง ๆ ทั้งนี้เมื่อพูดถึงแคลอรี่

ในทางวิทยาศาสตร์สุขภาพหรือวิทยาศาสตร์การกีฬา จะหมายถึง 1 กิโลแคลอรี่ (1000 แคลอรี่ หรือ 1000 calorie) ซึ่งจะเทียบเท่าปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัมมีอุณภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยหากเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตัวอักษร ซี (c) ตัวแรกจะขึ้นตนด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ (Calorie) ส่วนสัญลักษณ์จะแทนด้วย Cal, หรือ kcal

ดังนั้นถ้าหากพูดว่า ในหนึ่งวันเราต้องการพลังงาน 2000 แคลอรี่ จะมีความหมายว่าในหนึ่งวันเราต้องการพลังงาน 2000 กิโลแคลอรี่ (2000 kcal, Cal) หรือโค้ก 1 กระป๋องให้พลังงาน 139 แคลอรี่ จะหมายถึงโค้ก 1 กระป๋องให้พลังงาน 139 กิโลแคลอรี่ (139 kcal, Cal) หรือการเดินเร็ว 1 ชั่วโมง ร่างกายจะใช้พลังงานไป 300 แคลอรี่ จะหมายถึง การเดินเร็ว 1 ชั่วโมงร่างกายจะใช้พลังงานไป 300 กิโลแคลอรี่ (300 kcal, Cal) เป็นต้น

2. ระบบพลังงานของร่างกาย (energy system)

มนุษย์ได้พลังงานจากการรับประทานอาหารซึ่งเปลี่ยนไปเป็นสารอาหารได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แต่เราไม่ได้รับพลังงานจากสารอาหารเหล่านั้นโดยตรง จำเป็นต้องนำสารอาหารมาผ่านกระบวนการเมตะบอลิซึม (metabolism) โดยสารอาหารจะถูกเก็บไว้ในรูปของน้ำตาลในเลือด, ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับ รวมถึงไขมันในร่างกาย สำหรับเซลล์ต่าง ๆ จะมีแหล่งพลังงานหลักมาจากน้ำตาลกลูโคส (Bonora et al., 2012)

ภาพที่ 5-1 แสดงปริมาณของสารอาหารที่ร่างกายเก็บไว้เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน

อ้างอิง (Melzer, 2011; Wilmore& Costill, 2004)

Body stores of energy fuels.

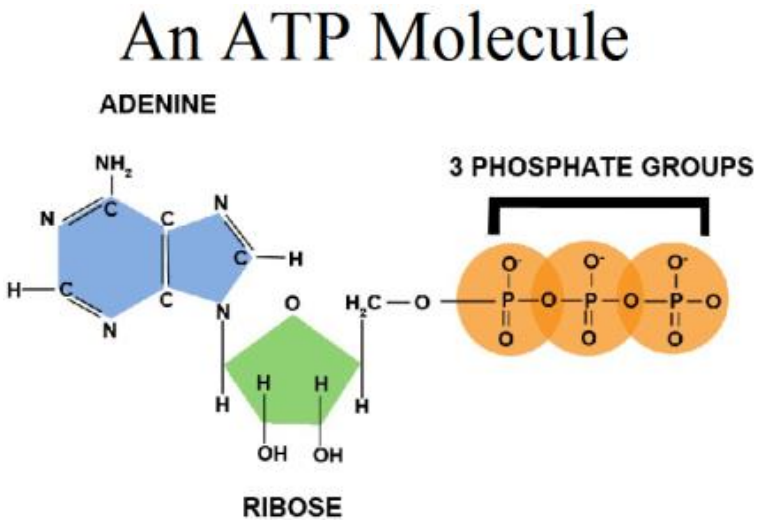
	Body stores (g)[a]	kcal
Carbohydrates		
Liver glycogen	110	451
Muscle glycogen	500	2050
Glucose in body fluids	15	62
Fat		
Subcutaneous and visceral	7800	72,540
Intramuscular	161	1497

เมื่อต้องการพลังงาน ร่างกายจะดึงแหล่งพลังงานที่สำรองไว้มาผ่านกระบวนการเมตะบอลิซึม เพื่อให้เกิดสารเคมีที่เรียกว่าเอทีพี (ATP/ adenosine tri-phosphate) ซึ่งเป็นหมู่ฟอสเฟตพลังงานสูง 3 ตัวที่จับกับน้ำตาล (Ribose + Adenine) ซึ่งเป็นเบสอินทรีย์ (organic base) เป็นเบสที่ได้จากธรรมชาติ

จะประกอบไปด้วยพันธะของสารประกอบเอมีน (–NH2) เช่น ก๊าซแอมโมเนีย หรือ ฮอร์โมนอะดรีนาลิน เป็นต้น

ภาพที่ 5–2 แสดงการโครงสร้างของ ATP/ Adenosine Tri–Phosphate

แหล่งที่มา https://biophilic.blogspot.com/2017/03/why–atp.html



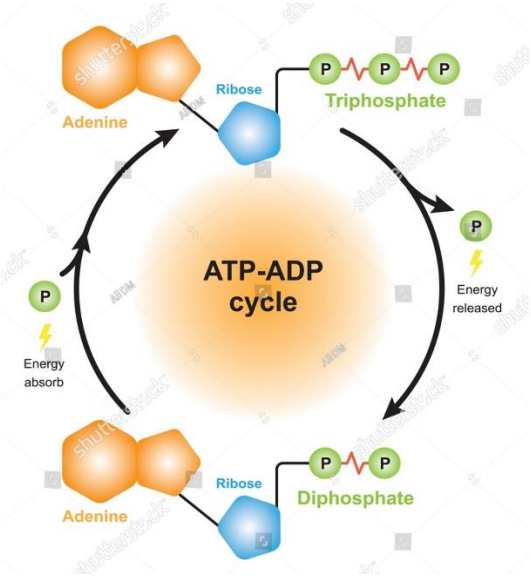
เอทีพี ซึ่งเป็นสารให้พลังงานที่ร่างกายใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดกิจกรรมประเภทต่าง ๆ ได้มาจากการสลายสารอาหารในระดับเซลล์หรือเรียกว่าการหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) เมื่อรับประทานอาหาร อาหารจะถูกย่อยในขั้นตอนสุดท้ายจนกลายเป็น น้ำตาลกลูโคส (glucose) กรดอะมิโน (amino acid) และกรดไขมัน (fatty acid) นำไปเป็นสารตั้งต้นของการผลิตเอทีพี หากร่างกายต้องการพลังงานจะมีการสลายสารอาหารเหล่านั้นเพื่อให้เกิดเอทีพี เมื่อต้องการพลังงาน เอทีพี จะเปลี่ยนไปเป็น เอดีพี (adenosine diphosphate/ ADP) โดยการแตกฟอสเฟตอิสระ 1 ตัว พร้อมปลดปล่อยพลังงานออกมา ดังสมการ

ATP --> ADP + Pi + Energy (พลังงาน)

ปฏิกิริยาที่ทำให้เอทีพีให้พลังงานกับร่างกายเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction) หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นปฏิกิริยาในการสลายสารอาหาร (catabolism) โดยเรียกว่าปฏิกิริยาเอทีพี ไฮโดรไลซิส (ATP– hydrolysis) หรือก็คือการหายใจในระดับเซลล์นั้นเอง เพื่อให้ได้พลังงานสำหรับใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ จึงต้องมีการสร้างเอทีพีใหม่ขึ้นมาทดแทนตลอดเวลา กระบวนการสร้างเอทีพี เรียกว่า ฟอสโฟรีเลชัน (phosphorylation) คือการสร้างเอทีพี จาก เอดีพี และหมู่ฟอสเฟตซึ่งจะเกิดเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป

ภาพที่ 5-3 แสดงวัฏจักรเอทีพี-เอดีพี (ATP-ADP)

แหล่งที่มา https: / / www. shutterstock. com/ th/ image- vector/ atp- adp- cycle- scheme- phosphorylation-hydrolysis-2060362538



โดยปกติแล้วร่างกายไม่สามารถกักเก็บเอทีพีไว้ได้มาก ในขณะพักภายในเซลล์จะมีเอทีพี ที่พร้อมใช้งานรวมกันประมาณ 80 – 100 กรัม (Rocha et al., 2019) แต่ในบางสภาวะอาจพบเอทีพีภายในเซลล์ที่พร้อมใช้งานรวมกันประมาณ 250 กรัม หรือเทียบเท่ากับพลังงาน 4.25 วัตต์ หรือประมาณเท่ากับพลังงานจากถ่านขนาด AA 1 ก้อน โดยประมาณการกันว่าใน 1 วันคนปกติที่สุขภาพดีจะผลิตพลังงานได้ประมาณ 1200 วัตต์และร้อยละ 70 นั้นถูกใช้ไปโดยสมอง และเอทีพีแต่ละตัวจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่จากเอทีพี 1,000 ครั้ง/ วัน (Törnroth-Horsefield& Neutze, 2008)

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าเอทีพีในสภาพพร้อมใช้งานจะสามารถใช้ได้เพียงแค่ 2-3 วินาทีท่านั้น จากนั้นจำเป็นจะต้องนำเอดีพีวนกลับมาเพื่อสังเคราะห์เป็นเอทีพีใหม่ทันที ร่างกายจึงมีระบบการสร้างเอทีพีขึ้นมาใหม่เพื่อใช้งานตามรูปแบบและความหนักของกิจกรรมการทำงานของร่างกาย 3 ระบบคือ

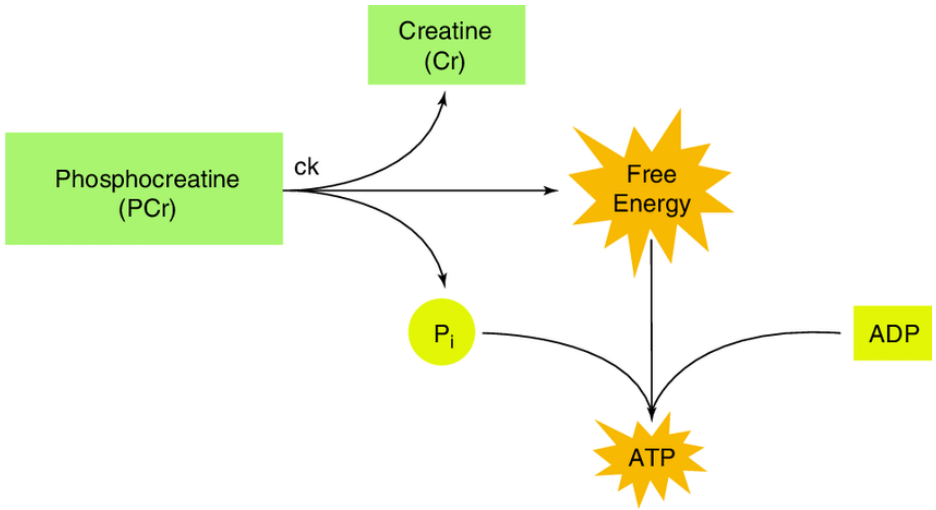
1. ระบบพลังงานแบบที่ 1 : ระบบแอนแอโรบิก-ฟอสฟาเจน (anaerobic I/ phosphagen system / ATP – PC system / anaerobic alactic system)

ระบบนี้เป็นระบบการสร้างพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน การทำงานในสภาวะไร้ออกซิเจนจึงมีชื่อในภาษาอังกฤษว่าแอนแอโรบิก (anaerobic)

ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PC) เป็นระบบที่ให้พลังงานสูงมากที่สุดกับร่างกาย เกิดขึ้นในช่วงที่ร่างกายต้องการใช้พลังงานสูงมาก ๆ ในช่วงเวลาที่รวดเร็ว เช่นเมื่อต้องการกระโดด การยกของที่หนักมาก ๆ อย่างรวดเร็ว การวิ่งเร็วมาก ๆ ในระยะทางสั้น ๆ ระบบนี้จะให้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 3-5 วินาที หลังจากนั้นประสิทธิภาพของการให้พลังงานจะลดลงอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถให้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอหากกิจกรรมนั้นมีระยะเวลานานขึ้น ในบางครั้งระบบนี้อาจให้พลังงานกับร่างกายได้สูงถึง 4000 วัตต์ในครั้งเดียว (Astrand et al., 2003)

วิถีการสร้างพลังงานในระบบนี้เกิดจากกระบวนการสร้างให้ของเอทีพี โดยใช้สารที่เก็บไว้ในเซลล์ของกล้ามเนื้อที่เรียกว่า ฟอสโฟครีเอทีน (phosphocreatine (PCr/ PC) (Sahlin, 2014) เมื่อร่างกายต้องออกแรงหรือต้องการพลังงานที่สูงมากอย่างรวดเร็ว ร่างกายจะสลายฟอสโฟครีเอทีน เกิดเป็นหมู่ฟอสเฟตพลังงานสูงอิสระไปจับตัวกับเอดีพีกลายเป็นเอทีพีอีกครั้ง (ภาพที่ 5-4) การจับตัวครั้งนี้จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ครีเอทีนไคเนส (creatine kinase) ขบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าการสร้างเอทีพีด้วยวิธีการอื่น ๆ ทำให้ร่างกายสามารถนำพลังงานไปใช้ได้อย่างรวดเร็วและให้พลังงานสูง แต่ก็หมดไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน พบว่าหากมีการทำกิจกรรมในลักษณะดังกล่าวจะมีการลดลงของ PCr ซึ่งให้ฟอสเฟตพลังงานสูงในกล้ามเนื้อไปมากกว่าร้อยละ 78-85 ในช่วงไม่เกิน 10 วินาทีแรกที่ทำกิจกรรมหนัก ๆ เหล่านั้น (Lakomy, 2000)

ภาพที่ 5-4 แสดงการกระบวนการส้รางเอทีพีใหม่จากการสลายของของฟอสโฟครีเอทีน (PCr)
อ้างอิง (Rocha Piedade et al., 2019)



แม้ว่าระบบพลังงานนี้จะเป็นระบบพลังงานที่ไม่พึงพาหรือใช้ออกซิเจน แต่การสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีน ขึ้นมาใหม่นั้นจะเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic conditions) เท่านั้น

เนื่องจากต้องนำเอทีพีที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดตีฟ–ฟอสฟอรีเลชัน (oxidative phosphorylation) ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างเอทีพีที่ใช้ต้องออกซิเจนในการเผาผลาญสารอาหาร มาใช้ในการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีนขึ้นมาใหม่ (Harris et al., 1976)

จากการศึกษาวิจัยพบว่า ผู้ชายที่มีน้ำหนักมวลกล้ามเนื้อ 20 กิโลกรัมในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ร่างกายจะมีเอทีพีพร้อมใช้งานได้เลยอยู่ที่ประมาณ 5 มิลลิโมล/ เซลล์กล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัม (mmol/kg muscle cells) และมีฟอสโพครีเอทีนสำรองอยู่ที่ 17 มิลลิโมล/ เซลล์กล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัม (Astrand et al., 2003) โดยทั้งหมดจะให้พลังงานรวมกันแบบทันทีทันใดในรูปแบบพลังงานจากระบบเอทีพี–พีซี ประมาณ 4.3 กิโลแคลอรี หากทำการวิ่ง 100 เมตร จะต้องใช้พลังงานประมาณ 8 กิโลแคลอรี และหากการวิ่งครั้งนั้นมีระยะเวลา 10 วินาทีจะแปลงเป็นพลังงานได้ 3300 วัตต์ (FAO, 2004) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบนี้จะให้พลังงานในการวิ่ง 100 เมตรได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงไม่เกิน 5 วินาทีแรกเท่านั้น หลังจากนั้นจำเป็นจะต้องพึ่งพาระบบพลังงานจากระบบอื่น ๆ เข้ามาช่วยเสริมเพื่อให้การวิ่ง 100 เมตร ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาประเภท ทุ่ม พุ่ง ขวาง การวิ่งระยะสั้นเช่น 50 เมตร หรือ 100 เมตร รวมไปถึงกีฬาประเภทยกน้ำหนัก จะอาศัยการทำงานของระบบพลังงานนี้เป็นหลัก

2. ระบบพลังงานแบบที่ 2: ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (anaerobic II/ anaerobic glycolysis/ anaerobic lactic acid system)

ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส เป็นระบบพลังงานรูปแบบแอนแอโรบิกอีก 1 ระบบ แต่จะมีที่มาของการสร้างเอทีพี แตกต่างไปจากระบบเอทีพี–พีซี และมีระยะเวลาในการให้พลังงานที่นานมากกว่า โดยมีแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้สร้างเอทีพีจากไกลโคเจน (glycogen) ที่กักเก็บอยู่ในกล้ามเนื้อและตับ กระบวนการสลายไกลโคเจนเพื่อให้เกิดเอทีพีมีชื่อว่า ไกลโคไลซิส (glycolysis) ซึ่งเป็นชื่อที่นิยมใช้เรียกระบบพลังงานนี้ด้วย

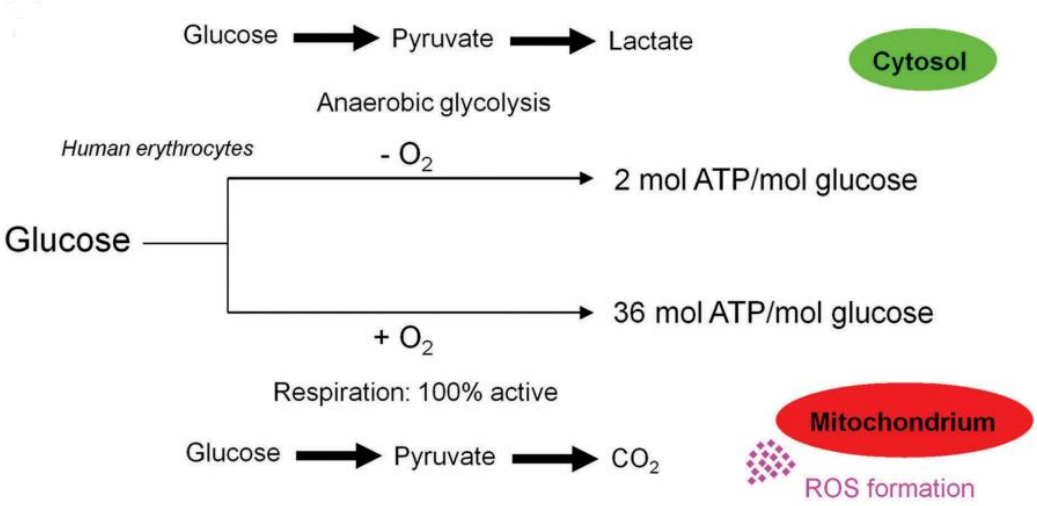
ระบบพลังงานนี้จะเป็นระบบพลังงานหลักเมื่อร่างกายต้องทำกิจกรรมที่มีความหนักมาก แต่เป็นความหนักที่ไม่เทียบเท่าระบบเอทีพี–พีซี แต่ต้องใช้เวลาที่นานมากขึ้นตั้งแต่หลายวินาทีจนถึงหลายนาที เช่นการวิ่งเร็ว 200 เมตร, การวิ่ง 400 เมตร การวิ่ง 800 เมตร หรือ การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา (HIIT) (ในช่วงหนัก) เป็นต้น โดยจะให้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพตั้ง 20 วินาที – 3 นาที หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมด้วยระบบนี้จะลดลง พร้อม ๆ กับปริมาณไกลโคเจนในร่างกายที่เริ่มลดระดับลง หลังจากนั้นร่างกายจะเริ่มเก็บสำรองไกลโคเจนกลับไปใหม่เมื่อรับประทานอาหารอย่างเป็นปกติ จะฟื้นคืนกลับสู่ระดับเดิมภายใน 8 ชั่วโมง (Betts& Williams, 2010)

โดยปกติแล้วร่างกายจะทำการสลายกลูโคสเพื่อเกิดให้ไพรูเวต (pyruvate) ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน ไพรูเวตที่ได้จะเข้าสู่ไมโทคอนเดรียและทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์เอ (coenzyme A) ได้เป็น

แอซีติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl CoA) และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ แต่การให้พลังงานของระบบนี้ ไกลโคเจนที่ร่างกายเก็บอยู่ในกล้ามเนื้อและตับจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน (Burk et al. 2011; Hargreaves et al., 2004) โดยไม่อาศัยออกซิเจนหรือเกิดขึ้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ไพรูเวตจะไม่ถูกส่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย แต่เอนไซม์แลคเตตดีไฮโดรจีเนส (lactate dehydrogenase) จะเปลี่ยนไพรูเวตเป็นแลคเตต ระหว่างกระบวนการที่เปลี่ยนกลูโคสไปเป็นไพรูเวตนั้นจะเกิด ATP 2 โมเลกุล/ กลูโคส 1 โมเลกุล และหากเป็นการสร้างไพรูเวตจากไกลโคเจนจะได้ ATP 3 โมเลกุล ในขณะที่หากเป็นการผลิตพลังงานแบบแอณบกิจะได้จำนวน ATP มากถึง 30 – 32 โมเลกุล (เดิมทีมีการระบุไว้ที่ 36–38 โมเลกุล) (Granchi et al., 2010) โดยขึ้นอยู่กับว่านิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (nicotinamide adenine dinucleotide (NAD) + hydrogen (H)/ NADH) ซึ่งเป็นตัวกลางในการรับอิเล็กตรวนจากสารอาหารผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในไมโตคอนเดรียจะถูกส่งเข้าไปในเซลล์อะไร โดยทั่วไปถ้าเป็นเซลล์สมองและกล้ามเนื้อโครงร่างจะผลิตได้ 30–ATP ถ้าเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจและตับจะผลิตได้ 32–ATP

ภาพที่ 5–5 แสดงกระบวนการผลิต ATP จากกลูโคสในสภาวะไร้ออกซิเจน (anaerobic glycolysis) (แนวลูกศรด้านบน) และในสภาวะใช้ออกซิเจน (แนวลูกศรด้านล่าง)

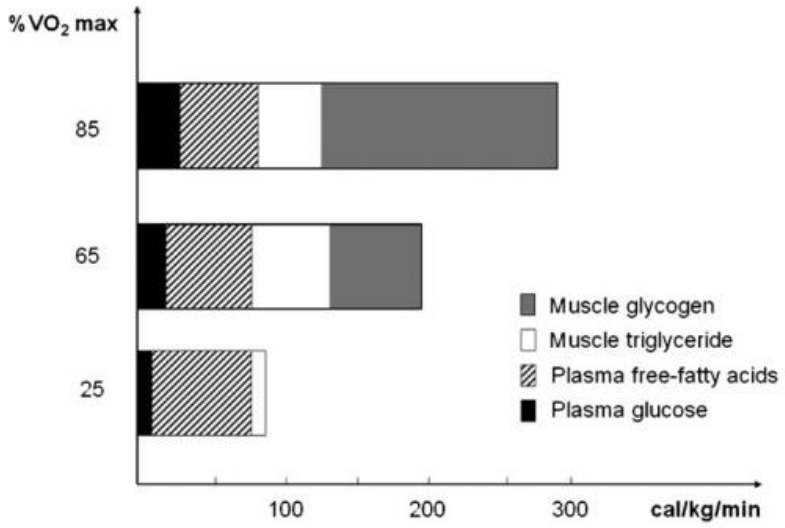
อ้างอิง (Ghashghaeinia et al., 2019)



ยิ่งความหนักของการทำกิจกรรมทางกายหนักมากขึ้น ๆ เมื่อเทียบเป็นร้อยละของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (VO_2 max) ไกลโคเจนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของระบบนี้ จะยิ่งมีบทบาทมากขึ้นในการเป็นระบบพลังงานหลักเพื่อทำกิจกรรมนั้น ๆ ปกติร่างกายมีไกลโคเจนเพียงพอสำหรับทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ประมาณ 90 นาที และหากเราใช้ไกลโคเจนไปจนหมดจะถึงจุดที่เรียกว่าภาวะชนกำแพง (hitting the wall) คือการหมดแรงจนไม่สามารถจะทำอะไรได้อีกต่อไป (Abbiss& Laursen, 2005)

ภาพที่ 5-6 สัดส่วนของแหล่งพลังงานในการทำกิจกรรมที่ความหนักระดับต่าง ๆ

อ้างอิง (Melzer, 2011; Wilmore& Costill, 2004)



เนื่องจากการผลิตเอทีพีในระบบพลังงานนี้เป็นต้นกำเนิดของกรดแลคติกจึงทำให้มีชื่ออีกอย่างว่า Anaerobic lactic system เนื่องจากในกระบวนการนี้โมเลกุลของไพรูเวต จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปลี่ยนไปเป็นแลกเตท ซึ่งเป็นอนุพันธ์องกรดแลคติก (lactic acid/ C3H603)

3. ระบบพลังงานแบบที่ 3 : ระบบแอโรบิก (aerobic system/ oxidative system)

ระบบการสร้างพลังงานนี้เป็นระบบที่แตกต่างจากระบบแอนแอโรบิก แบบที่ 1 และที่ 2 ตรงที่ต้องทำงานผ่านกระบวนการในการนำออกซิเจนมาใช้ ระบบนี้จึงมีชื่อในภาษาอังกฤษว่าแอโรบิก (aerobic) เป็นการสร้างพลังงานหรือการหายใจระดับเซลล์หรือการสร้าง ATP โดยอาศัยออกซิเจนจากภายนอกมาใช้เผาผลาญแหล่งพลังงานที่สะสมอยู่ภายในร่างกายคือกรดไขมัน (ไขมัน) และไกลโคเจน (คาร์โบไฮเดรต) ที่ร่างกายเก็บสำรองไว้

ระบบนี้เป็นระบบการสร้างพลังงานพื้นฐานหลักของร่างกายสำหรับการทำกิจกรรมการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการนอน การนั่ง การเดิน หรือแม้แต่การวิ่งเบา ๆ เหยาะ ๆ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ต้องการพลังงานสูงมาก เป็นกิจกรรมเบา ๆ ที่มีความหนักตั้งแต่น้อยมาก ๆ ไปจนถึงความหนักปานกลาง ทำต่อเนื่องใช้ระยะเวลานาน ๆ และเนื่องจากร่างกายเก็บสำรองไขมันไว้เป็นจำนวนมาก ระบบนี้จึงไม่มีความจำกัดในเรื่องของเวลา สามารถกิจกรรมต่อเนื่องได้ตลอดหากไม่เกิดความล้าหรืออาการบาดเจ็บของร่างกาย นอกจานั้นแม้ว่าแหล่งพลังงานหลักจะมาจากไขมัน แต่ก็พบว่าในบางกรณีร่างกายอาจจะดึงโปรตีนมาใช้สร้างพลังงานด้วยก็ได้ (Melzer, 2011)

ในกระบวนการนี้ร่างกายจะทำการสลายกลูโคสเพื่อเกิดให้ไพรูเวต (pyruvate) ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน ไพรูเวตที่ได้จะเข้าสู่ไมโทคอนเดรียและทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์เอ (coenzyme-A) ได้เป็นแอซีติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl CoA) และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ได้เอทีพี 30 – 32 โมเลกุล (Granchi et al., 2010) แม้ระบบแอบิกจะเป็นแหล่งพลังงานหลักพื้นฐานในกิจกรรมการดำรงชีวิตทั่วไป แต่ในการออกกำลังกายและเล่นกีฬาแล้ว ระบบนี้จะทำงานผสมผสานระบบพลังงานแบบอื่น ๆ เพื่อให้การออกกำลังกายนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ของความหนักระยะเวลาในการออกกำลังกายและที่มาของพลังงาน

อ้างอิง ดัดแปลงจาก (Fox & Matthews, 1981)

ความหนัก Intensity	ระยะเวลา Duration	ระบบพลังงาน Energy System	แหล่งพลังงาน Energy Source
หนักมาก ๆ	1 – 4 วินาที	Anaerobic	ATP (ที่เก็บไว้ในกล้ามเนื้อ)
หนักมาก	4 – 10 วินาที	Anaerobic	ATP + PC
หนัก	10 – 45 วินาที	Anaerobic	ATP + PC + ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen)
หนัก	45 – 120 วินาที	Anaerobic, Lactic	ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ
ค่อนข้างหนัก	120 – 240 วินาที	Aerobic + Anaerobic	ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ + Lactic acid
ปานกลาง	ตั้งแต่ 4 นาทีขึ้นไป	Aerobic	ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ + กรดไขมัน (fatty acid)

การออกกำลังกายและเล่นกีฬาบางประเภทระบบแอโรบิกมีบทบาทน้อยมากจนอาจจะแทบไม่มีบทบาทในการกิจกรรมเลยเช่นการยกน้ำหนัก การวิ่ง 100 เมตร การกระโดดไกล การกระโดดสูง หรือการขว้างจักร แต่ในกีฬาบางประเภทเช่น วิ่งระยะไกล จักรยานทางไกล หรือว่ายน้ำระยะไกล ระบบพลังงานแบบแอโรบิก จะทำงานโดดเด่นมากกว่าระบบอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด

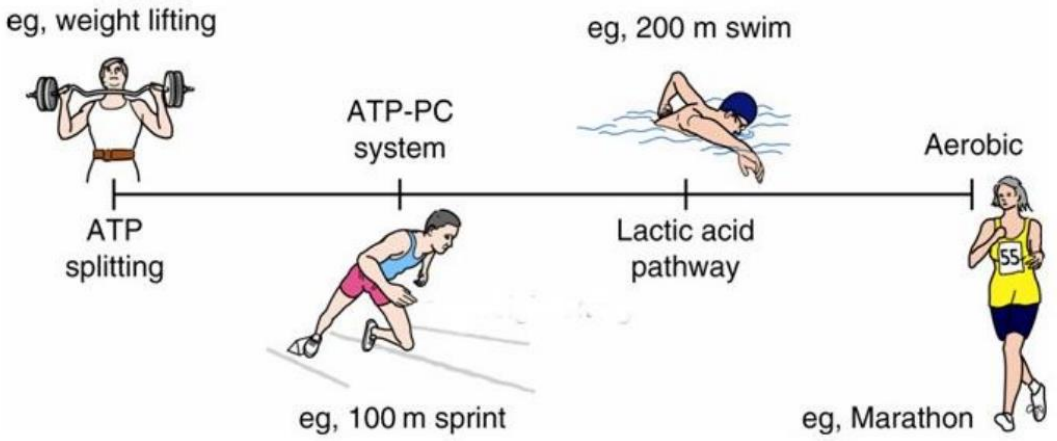
ภาพที่ 5–7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบพลังงานต่าง ๆ ในกีฬากรีฑาลู่และลานบางประเภท

แหล่งที่มา http://www.adriansprints.com/2010/08/energy–system–in–track–and–field.html

EVENTS	ATP-PCr	Glycolytic	Oxidative
100m	50	50	0
200m	25	65	10
400m	12.5	62.5	25
800m	6	50	44
1500m	F	25	75
5000m	F	12.5	87.5
10000m	F	3	97
Long Jump	90	10	0
High Jump	95	5	0
Shot Put	98	2	0
*An estimate % of ES contribution in Track & Field events * F = ATP-PCr is used for few seconds			
Courtesy of AdrianSprints.com			

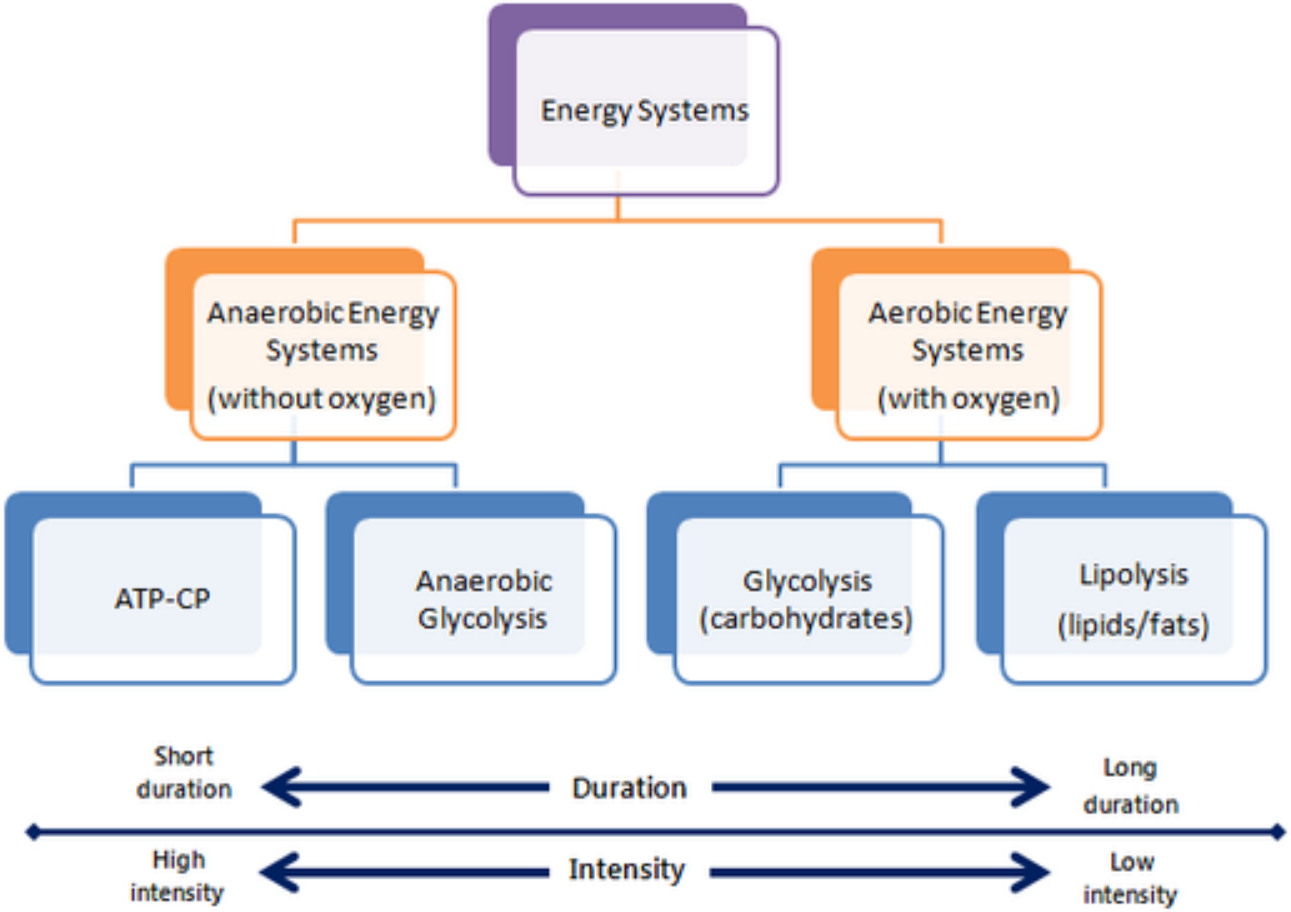
ภาพที่ 5–8 แสดงกิจกรรมการออกกำลังกายและการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://www.peresourcesbank.co.uk/wp–content/uploads/2022/01/The–effect–of–exercise–on–the–energy–systems.pdf



ภาพที่ 5–9 แสดงการแบ่งระบบพลังงานประเภทต่าง ๆ ในร่างกาย

แหล่งที่มา https://mscsportscience.weebly.com/energy-systems.html



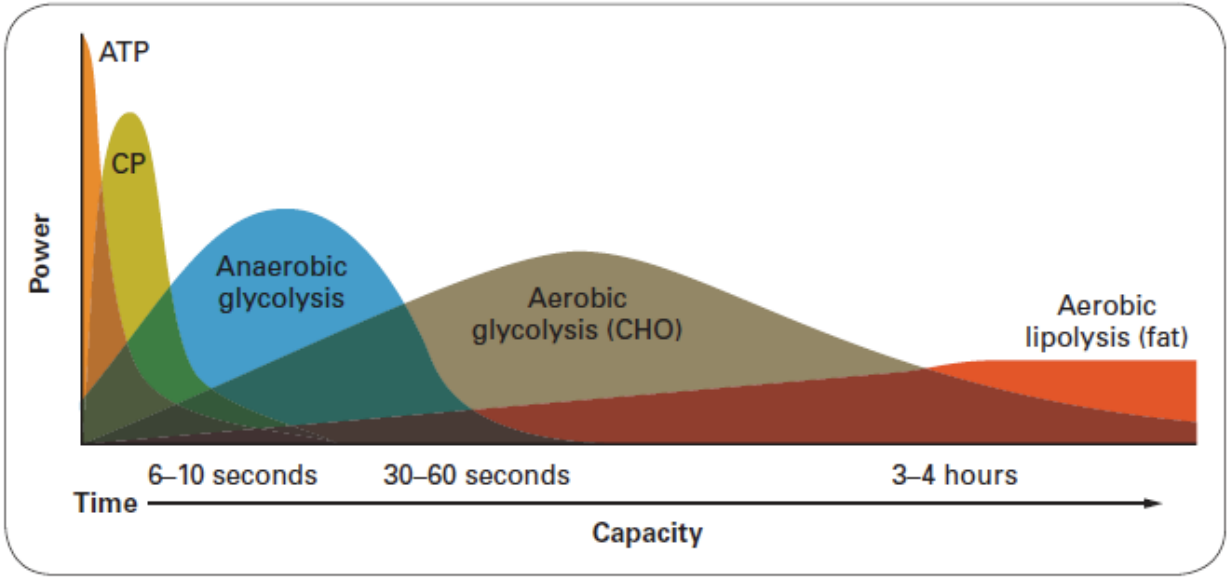
ตารางที่ 5-2 แสดงระบบพลังงานของร่างกายทั้ง 3 ประเภทและที่มาของการสร้างพลังง (เอทีพี) ของระบบพลังงานแต่ละประเภท

1. Anaerobic Alactic System		2. Anaerobic Lactic System, Anaerobic Glycolysis		3. Aerobic energy system	
ATP ที่พร้อมใช้งาน	**ATP– PCr Phosphagen**	**Above lactate threshold**	**Below lactate threshold**	**Glycolysis Carbohydrate**	**Lipolysis (Lipids/ Fats)**
ได้พลังงานจาก ATP ที่พร้อมใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ไม่ใช้ออกซิเจน, ไม่มีการสะสมของแลคเตท	สร้าง ATP ใหม่จากการแตกตัวของ PC ได้หมู่ ฟอสเฟต Pi ไปจับตัวกับ ADP กลายเป็น ATP ให้พลังงาน, ไม่ใช้ออกซิเจน,ไม่มีการสะสมของแลคเตท	ได้พลังงานหลักจากการสลายตัวของ Glycogen ที่ร่างกายสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและตับ โดยไม่มีการใช้ออกซิเจน, มีการสะสมของแลคเตท	ได้พลังงานจากการสลายตัวของ Glycogen ที่ร่างกายสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและตับ ผสมผสานกับระบบพลังงานแบบการใช้ออกซิเจน มีการเกิดขึ้นของแลคเตท แต่ร่างกายสามารถกำจัดได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่เกิดการสะสมของแลคเตท	– ได้พลังงานจากการแตกตัวของ Glycogen, Glucose, Carbohydrate แบบการใช้ออกซิเจน – เกิดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตพลังงาน	ได้พลังงานจากการเผาผลาญไขมันโดยใช้ออกซิเจน – เกิดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตพลังงาน
เป็นระบบพลังงานหลักของการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายที่ใช้ความเข้มข้นหรือการใช้แรงที่สูงมาก ๆ ในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่นการยกน้ำหนัก การกระโดด การวิ่งเร็วเต็มที่ ไม่เกิน 3-5 วินาที		เป็นระบบพลังงานหลักของการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงในระยะเวลา สั้น ๆ เช่นการวิ่ง 200 เมตร หรือ 400 เมตร	พบว่าหากร่างกายมีกิจกรรมหรือการออกกำลังกายที่ใช้ความเข้มข้นปานกลางและเพิ่มขึ้นในระยะเวลา 30 – 60 นาที ระบบพลังงานนี้จะทำงานควบคู่กันไปกับระบบพลังงานแบบ Aerobic	เป็นระบบพลังงานหลักในการทำกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ หรือการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก (ต่ำและปานกลาง) ใช้ระยะเวลานานๆ เช่นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับคนทั่วไป อย่าง การวิ่ง การเดิน การขี่จักรยาน การว่ายน้ำ	

<u>หมายเหตุ</u> ในความเป็นจริงแล้วเซลล์ในร่างกายของเราใช้พลังงานจากระบบพลังงานทุกระบบอยู่ตลอดเวลา แม้ในขณะที่เรานั่งพัก ระบบพลังงานแบบ แอนแอโรบิก แลติก (anaerobic lactic system) ก็ยังทำงานให้พลังงานกับร่างกาย เพียงแต่ระบบดังกล่าวทำงานอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ เท่านั้นเอง

ภาพที่ 5–10 แสดงประสิทธิภาพของระบบพลังงานตามระยะเวลาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ

แหล่งที่มา https://mscsportscience.weebly.com/energy–systems.html



จากภาพจะเห็นได้ว่าเอทีพี (ATP) ที่พร้อมใช้งานและฟอสโพครีเอทีน (CP/ PCr) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานในระบบ ATP–PC จะสามารถให้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการให้พลังงานที่สูงมาก ๆ ที่ระยะเวลาไม่เกิน 3–5 วินาที และสามารถให้พลังงานได้นานที่สุดไม่เกิน 10 วินาทีแต่พลังงานจะไม่สูงเท่ากับในช่วงแรก ๆ ในขณะที่ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (anaerobic glycolysis) จะให้พลังงานที่สูงและคงอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก ๆ ในช่วง 30 – 45 วินาที หลังจากนั้นประสิทธิภาพและความหนักของการทำงานจะต้องลดลง ในขณะที่ระบบแอโรบิก (aerobic) นั้นแบ่งเป็นแบบเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (aerobic glycolysis) จากไกลโคเจนโดยใช้ออกซิเจนสามารถให้พลังงานที่ค่อนข้างสูงมักจะทำงานผสมผสานกับระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสส่วนแบบเผาผลาญไขมัน (aerobic lipolysis จะสามารถทำงานได้อย่างตลอดเวลาตราบเท่าที่กิจกรรมนั้นไม่หนักเกินไปและไม่เกิดอาการล้าหรืออาการบาดเจ็บของร่างกาย

3. บทบาทของออกซิเจนต่อระบบพลังงาน

ออกซิเจนมีบทบาทอย่างมากในการเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน โดยเฉพาะในระบบพลังงานแบบแอโรบิก ซึ่งเป็นระบบพลังงานพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของร่างกาย การทำความเข้าใจกระบวนการใช้ออกซิเจนของร่างกายจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการฝึกกีฬาและการออกกำลังกาย (Noakes, 2003; Astrand et al., 2003; Billat, 2001a,b) ออกซิเจนเป็นส่วนหนึ่งของชั้นบรรยากาศซึ่งของปกป้องเราจากรังสีอวกาศและวัตถุจากภายนอกโลก องค์ประกอบของบรรยากาศโลกมีส่วนผสมของ ไนโตรเจน (N_2) ร้อยละ 78.08, ออกซิเจน (O_2) ร้อยละ 20.95, อาร์กอน (Ar) ร้อยละ 0.93, คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 0.03 ส่วนที่เหลือคือเหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ ไอน้ำและฝุ่นละออง โดยปริมาณดังกล่าววัดจากระดับน้ำทะเลมาตราฐาน (sea level standard) ที่อุณหภูมิและความดันปกติ (ความดันบรรยากาศที่ 760 มิลลิเมตร/ ปรอท (mm/Hg) ก๊าซทุกชนิดมีความสำคัญในการดำรงชีวิตกับมนุษย์ทั้งหมด แต่หากจะพูดถึงการใช้พลังงานของมนุษย์ก๊าซที่มีความสำคัญมาที่สุดคือ ออกซิเจน (O_2)

แม้จะมีความสำคัญเนื่องจากเป็นก๊าซหลักที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจและการสร้างพลังงานในร่างกายของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมทั้งมนุษย์ด้วย แต่การที่มีออกซิเจนมากหรือน้อยเกินไปนั้นก็ไม่ใช่สิ่งที่ดี หากอากาศรอบตัวเรามีปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 25 จะทำให้ทุก ๆ อย่างในโลกเกิดการติดไฟง่ายขึ้น ส่วนถ้ามีปริมาณน้อยเกินก็จะไม่เป็นผลดีต่อสิ่งมีชีวิต มนุษย์จะเริ่มได้รับผลกระทบทางชีวภาพ หากปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงเหลือร้อยละ 19 โดยจะเริ่มมีอาการวิงเวียนศีรษะ หากต่ำกว่าร้อยละ 16 จะเริ่มหายใจติดขัดและเป็นลมต่ำกว่าร้อยละ 14 จะหมดสติ และหากต่ำกว่า ร้อยละ 12 จะเสียชีวิตภายในเวลา 5 นาที

ตำแหน่งต่าง ๆ ทางภูมิศาสตร์ของโลกนั้นจะมีออกซิเจนแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่สถานที่ที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลขึ้นไป 1,500 – 3,000 เมตร (5,000 – 11,500 ฟุต) จะมีออกซิเจนในบรรยากาศน้อยลง ร่างกายจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้สมรรถภาพของร่างกายเริ่มลดลง มีการหายใจเร็วขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในเลือดแดง (arterial oxygen saturation [Sao2]) อาจลดลงเหลือร้อยละ 90 และค่าความดันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในพลาสมา (partial pressure of arterial oxygenation) / PaO_2) ซึ่งเป็นตัววัดออกซิเจนที่อยู่ในร่างกายจะลดลงซึ่งค่าปกติเท่ากับ 80–100 มม.ปรอท (Auerbach, 2007)

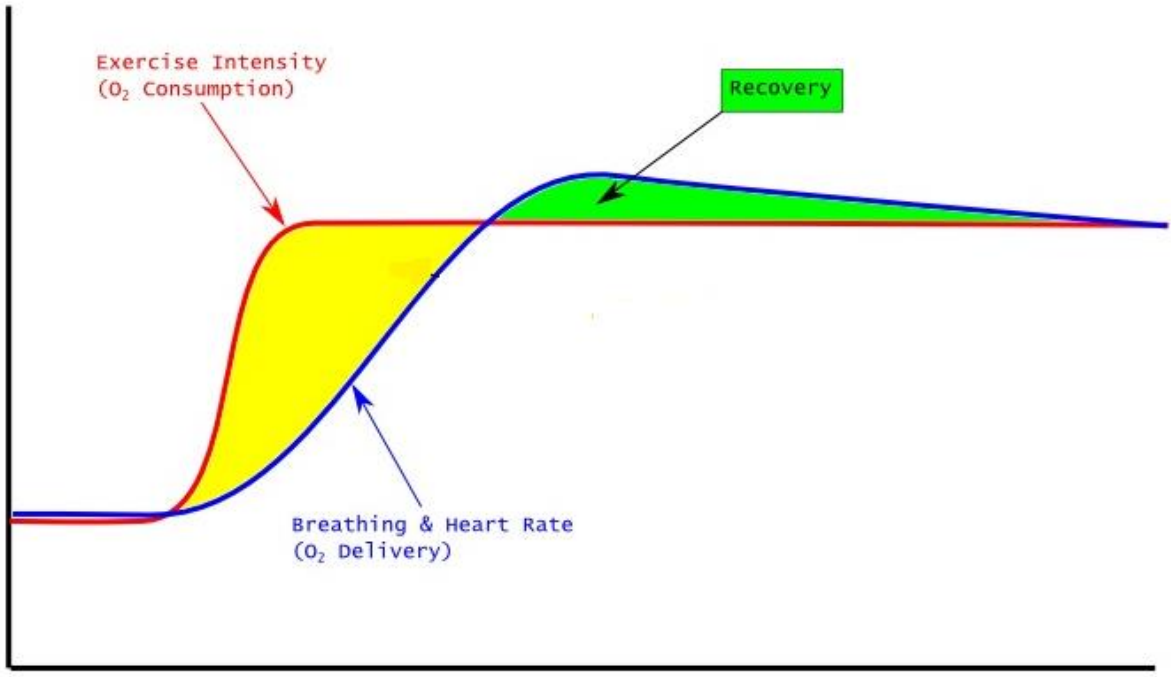
3.1 จลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน (oxygen consumption kinetic: VO_2 Kinetics)

จลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน (VO_2 Kinetics) คือการศึกษาการขนส่งและการใช้ออกซิเจนของร่างกายในช่วงออกกำลังกาย โดยจะเริ่มตั้งแต่เริ่มต้นการออกกำลังกายจนถึงสิ้นสุดการออกกำลังกาย จากภาพที่ 5–11 จะเห็นว่าเมื่อร่างกายเริ่มออกกำลังกายจากภาวะพัก เส้นสีแดงจะแสดงถึงความต้องการออกซิเจนของร่างกายตามระดับความหนักของการออกกำลังกาย ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่ภาวะคงที่ (steady state) ส่วนเส้นสีน้ำเงินคือความสามารถของระบบไหลเวียน

โลหิตและระบบหายใจที่ส่งออกซิเจนไปให้ร่างกาย จะเห็นได้ว่าร่างกายสามารถส่งออกซิเจนไปใช้ (เส้นสีน้ำเงิน) ได้ไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (oxygen deficit) (ในพื้นที่สีเหลือง) ทั้งนี้ร่างกายจะชดเชยภาวะดังกล่าวด้วยการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะได้มาจากระบบการให้พลังงานแบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส หลังจากที่หยุดออกกำลังกายแล้วร่างกายจะชดเชยออกซิเจนที่ขาดหายไป ด้วยการใช้หนี้ออกซิเจน (oxygen debt) (ในพื้นที่สีเขียว) ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายไปแล้วร่างกายอาจจำเป็นต้องหายใจในปริมาณที่สูงไปอีกซักระยะเพื่อนำออกซิเจนที่ขาดหายไปในช่วงออกกำลังกายให้กลับมาอยู่ในภาวะสมดุล

ภาพที่ 5-11 แสดงจลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนเมื่อออกกำลังกาย

แหล่งที่มา https://fellrnr.com/wiki/File:Warmup.jpg

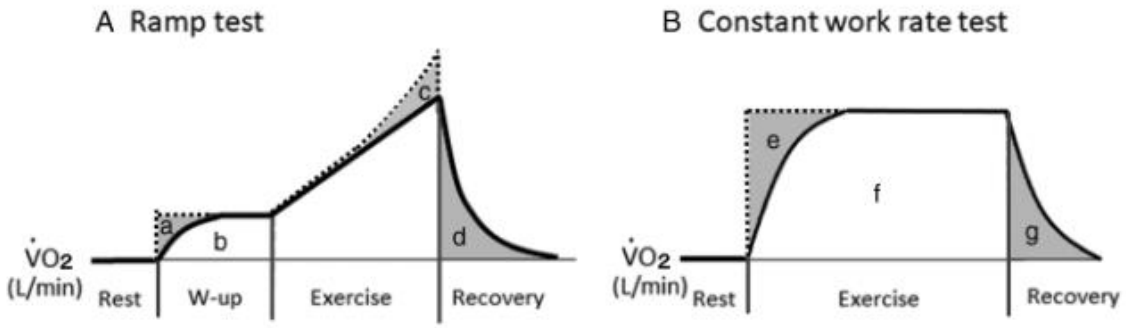


การที่ร่างกายไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการออกซิเจนในการออกกำลังกายได้อย่างเพียงพอนั้น เนื่องจากระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจต้องใช้เวลาในการปรับตัวอย่างน้อย 2-4 นาที (ประทุม ม่วงมี, 2527) และขีดจำกัดในการขนส่งออกซิเจนมีอยู่อย่างจำกัด หากมีการออกกำลังกายในระดับปานกลาง (sub maximal exercise) คือระดับต่ำกว่าค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการสะสมกรดแลคติกหรือระดับจุดเริ่มล้า ร่างกายจำเป็นต้องใช้เวลาเพื่อปรับความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อได้อย่างเพียงพอ (Reybrouck et al., 2005) แต่ปริมาณออกซิเจน

ดังกล่าว ก็ไม่ใช่ปริมาณทั้งหมดที่ต้องการในการออกกำลังกาย จึงทำให้เกิดภาวะ ออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit)

ภาพที่ 5–12 แสดงการเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) และการใช้หนี้ออกซิเจน (O_2deb) จากการทดสอบออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน (Ramp test) และการทดสอบแบบความหนักคงที่ (Constant work rate test) ตั้งแต่ในขณะพักจนถึงภายหลังการออกกำลังกาย

อ้างอิง (Ichikawa et al., 2020)



หมายเหตุ (a) และ (e) แทนออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) ขณะเริ่มต้นออกกำลังกาย, (b) แทนปริมาณออกซิเจนโดยรวมในขณะอบอุ่นร่างกาย, (f) แทนปริมาณออกซิเจนขณะออกกำลังกาย, (d) and (g) แทนปริมาณการใช้หนี้ออกซิเจน, (c): คือปริมาณ ออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) จากการประมาณการณ์ในการทดสอบแบบ Ramp test ซึ่งไม่สามารถวัดได้จริง, เส้นประแทนความต้องการใช้พลังงาน (ATP) ในทางทฤษฎีสำหรับการฝึกออกกำลังกาย

โดยทั่วไปแล้วการออกกำลังกายจะมีทั้งการออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดของความสามารถที่ทำได้ (maximal exercise) และการออกกำลังกายแบบคงที่ด้วยความหนักต่ำกว่าความสามารถสูงสุดของร่างกาย (sub maximal exercise) การเปลี่ยนแปลงของการใช้ออกซิเจนภายในร่างกายจะเริ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มออกกำลังกาย โดยจะแบ่งเป็นระยะต่าง ๆ ได้ 3 – 4 ระยะตามความหนักของการออกกำลังกายในแต่ละครั้งดังนี้

1. ระยะที่ 1 หรือระยะแรกสุด (Phase I: cardio–dynamic component/ early component)

เป็นช่วงแรกสุดของการตอบสนองของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบ

หายใจ ทั้งนี้เมื่อร่างกายเราเปลี่ยนจากขณะพักมาเป็นการออกกำลังกาย ปริมาณการใช้ออกซิเจนใน 1 นาที (VO_2) จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทันที การเพิ่มขึ้นในระยะแรกนี้ไม่ได้เกิดจากการที่เลือดดำไหลเวียนกลับมาถึงปอด เนื่องจากในการไหลเวียน (circulatory transit delay) แต่เกิดจาก การเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจไปยังปอด (pulmonary blood flow หรือ cardiac output) (Murias et al., 2011)

ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ช่วงต้นของการออกกำลังกาย เป็นช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย 15–20 วินาทีแรก (Di Paolo et al., 2020) ร่างกายจะเริ่มตอบสนองต่อการออกกำลังกายด้วยการเพิ่มกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจน มีการเพิ่มขึ้นของการแลกเปลี่ยนก๊าซโดยเฉพาะกล้ามเนื้อที่มีการทำงาน ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output) เพิ่มมากขึ้น ปริมาณเลือดที่ไหลเวียนผ่านปอด (pulmonary blood flow) เพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้มาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวออกมาจากห้องล่างในหนึ่งนาที (cardiac output) (Whipp, et al., 1982)

การประเมินปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ สามารถทำได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการลดลงระหว่างปริมาตรของ CO_2 ในอากาศที่หายใจออก ต่อปริมาตรของ O_2 ที่ใช้ไปในหนึ่งนาที หรือ VCO_2/ VO_2 (respiratory exchange ratio) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกาย (Sietsema, et al., 1999) หลังจากนั้นเลือดดำจากการทำงานของกล้ามเนื้อก็จะกลับเข้ามาสู่ระบบไหลเวียนโลหิตผ่านปอดและเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลง จลศาสตร์การใช้ออกซิเจนในระยะที่หนึ่งนี้ ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นในลักษณะใกล้เคียงกันทั้งการออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดของความสามารถที่ทำได้ (maximal exercise) และการออกกำลังกายแบบคงที่ด้วยความหนักต่ำกว่าความสามารถสูงสุดของร่างกาย (sub maximal exercise)

2. ระยะที่ 2 หรือ ระยะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณการใช้ออกซิเจน (Phase II: fast component / rapid component)

ระยะนี้เป็นระยะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณการใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นหลังจากที่เริ่มออกกำลังกายในช่วงประมาณ 15–20 วินาทีแรกไปจนถึงช่วงนาทีที่ 2–3 ในระยะนี้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอดจะเริ่มสะท้อนถึงปริมาณการใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นจริงในเซลล์กล้ามเนื้อที่กำลังออกกำลังกาย ซึ่งต่างจากในระยะแรกที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลจากการบีบตัวของหัวใจที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้ออกซิเจนจะขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเส้นโค้ง เป็นการเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล (exponential rise) เพื่อปรับตัวให้เข้ากับระดับความหนักของการออกกำลังกาย (work rate) (Sousa et al., 2017; Wasserman, et al., 1994)

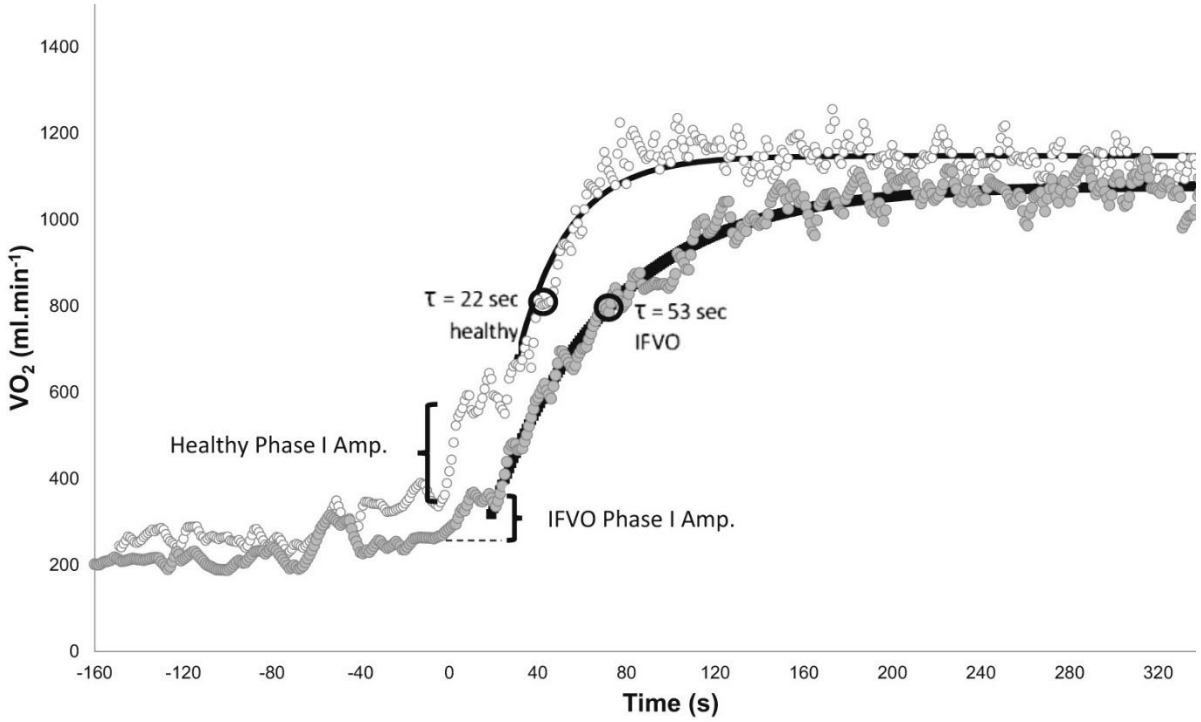
ตัวชี้วัดที่สำคัญของระยะนี้คือ ค่าคงที่เวลา (time constant/ τ_{VO2}) ค่าคงที่เวลาเป็นการวัดระยะเวลาว่าร่างกายสามารถปรับตัวเข้าสู่ภาวะคงที่ (steady state) ได้เร็วแค่

ไหน โดยใช้เกณฑ์ของเวลาที่ร่างกายใช้ในการทำให้ปริมณาใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 63 (Goulding et al., 2023;) และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของเวลาและปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (Inglis et al., 2021; Moore et al., 2021 ในนักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกายอยู่เป็นประจำ จะมีค่าคงที่เวลาที่สั้นเนื่องจากร่างกายสามารถปรับการขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อได้ให้เพียงพอได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงใน 15–25 วินาที) ทำให้เกิดปริมาณออกซิเจนที่ขาดหายไป (oxygen deficit) น้อยลง ส่งผลให้กล้ามเนื้อล้าได้ช้ากว่าคนทั่วไปหรือผู้ที่ไม่ค่อยออกกำลังกาย ซึ่งจะมีค่าคงที่เวลาที่มากกว่า (ประมาณ 40–60 วินาทีหรือมากกว่า) ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ขาดหายไปสูง เป็นสาเหตุให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อได้มาก (Koppo et al., 2004)

หลังจากระยะที่ 2 สิ้นสุดลง การตอบของร่างกายจะขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย หากยังคงรักษาความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง (moderate intensity) ร่างกายจะเข้าสู่ภาวะคงที่ (phase III – steady state) แต่หากร่างกายมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายให้สูงขึ้น (heavy/ severe intensity) ปริมาณการใช้ออกซิเจนจะไม่หยุดที่ภาวะคงที่ แต่จะเข้าสู่ระยะ (slow component/ Phase II) ซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนอย่างช้า ๆ (Reinpõld& Rannama, 2023)

ภาพที่ 5–13 แสดงค่าคงที่เวลา (time constant/ τ_{VO2}) ในคนสุขภาพดี (health) และผู้ที่มีภาวะผิดปกติของระบบไหลเวียนโลหิต (IFVO)

อ้างอิง (Reuveny et al., 2022)



3. ระยะที่ 3 (phase III)

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่า การตอบสนองของร่างกายภายหลังสิ้นสุดระยะที่ 2 จะขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย ดังนั้นระยะที่ 3 ของจลศาสตร์การใช้ออกซิเจนจึงถูกแบ่งเป็น 2 แบบคือ

3.1 สำหรับการออกกำลังกายที่มีความหนักของงานระดับปานกลาง เรียกว่า ระยะคงที่ (phase III – steady state)

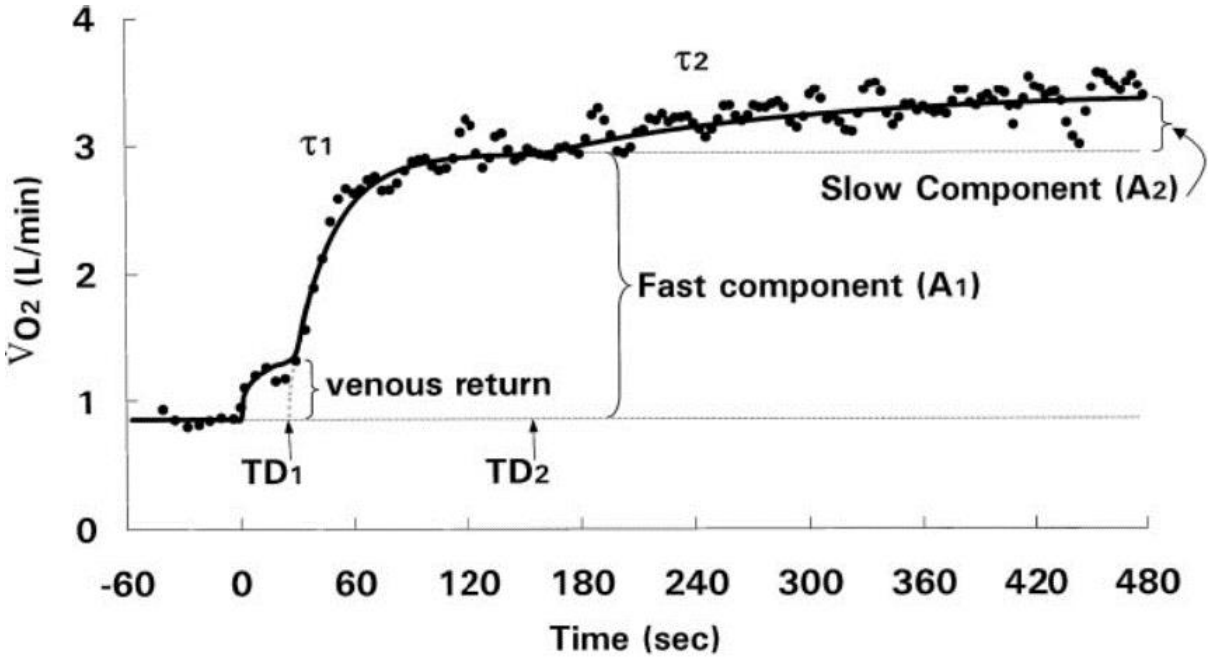
หากการออกกำลังกายมีความหนักของการออกกำลังกายระดับปานกลางปริมาณการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อที่ทำงานจะเริ่มคงที่ เพราะความต้องการพลังงานทั้งหมดสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายจัดหาให้พอดี ที่ระยะนี้ร่างกายจะพึ่งพาระบบพลังงานแบบแอโรบิกเป็นหลัก และจะไม่มีการสะสมของแลคเตทในกระแสเริ่มเพิ่มขึ้น (Reuveny et al, 2022) ความหนักการออกกำลังกายระดับปานกลาง ส่วนมาจะต่ำกว่าความสามารถสูงสุดของร่างกาย (sub maximal exercise) ต่ำกว่าจุดเริ่มล้า (LT / AT) การขนส่งออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเท่ากับความต้องการของกล้ามเนื้อ ปริมาณการใช้ออกซิเจนอยู่ในภาวะคงที่ซึ่งจะเป็นระยะเวลา 3–6 นาที นับตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกาย (Gaesser& Poole, 1996; Loftin et al., 2005)

3.2 สำหรับการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมาก (heavy/ severe intensity) เป็นระยะที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนอย่างช้า ๆ (Phase III – slow component)

เป็นระยะที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าต่อเนื่องหลังจากผ่านนาทีที่ 2–3 ไปแล้ว ในระหว่างการออกกำลังกายด้วยความหนักที่มีความเข้มข้นสูงกว่าระดับเกณฑ์แลคเตท (above the lactate threshold) (Jones et al., 2011) ที่ระยะนี้ปริมาณการใช้ออซิเจนจะไม่เข้าสู่ภาวะคงที่ (Steady state) ทันทีเหมือนการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลาง แต่จะมีการเพิ่มขึ้นช้า ๆ (slow component) เกิดขึ้นก่อนทำให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น และอาจเพิ่มมากถึงระดับปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด VO_2 max และจะไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนอีกไม่ว่าจะมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายมากขึ้นก็ตาม

ภาพที่ 5–14 แสดงจลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกาย ในกรณีของการออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดของความสามารถที่ทำได้ (maximal exercise)

อ้างอิง (Bearden & Moffatt, 2000)



จากภาพจะเห็นระยะต่าง ๆ ของการใช้ออกซิเจน (VO_2) ด้วยกราฟแบบเส้นโค้ง (exponential) ที่แสดงความสัมพันธ์ของการปั่นจักรยานการใช้ออกซิเจน (VO_2) ตั้งแต่เริ่มต้นการปั่นจักรยานแบบไม่มีน้ำหนักถ่วง (unloaded cycling) และเพิ่มความหนักของงานจนมากกว่าจุดเริ่มล้า ซึ่งเป็นการทดสอบออกกำลังกายแบบเต็มความสามารถ (maximum exercise) ในเวลา 8 นาที จุด A1 และ A2 คือช่วงการใช้ออกซิเจนในระยะที่ 2 (fast component) และระยะที่ 3 (slow component) เวลาตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกายจนเข้าสู่ระยะที่ 2 และ 3 คือ TD1 และ TD2 ส่วน t1 และ t2 คือช่วงเวลานับตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 และระยะที่ 3 จนสิ้นสุดระยะ

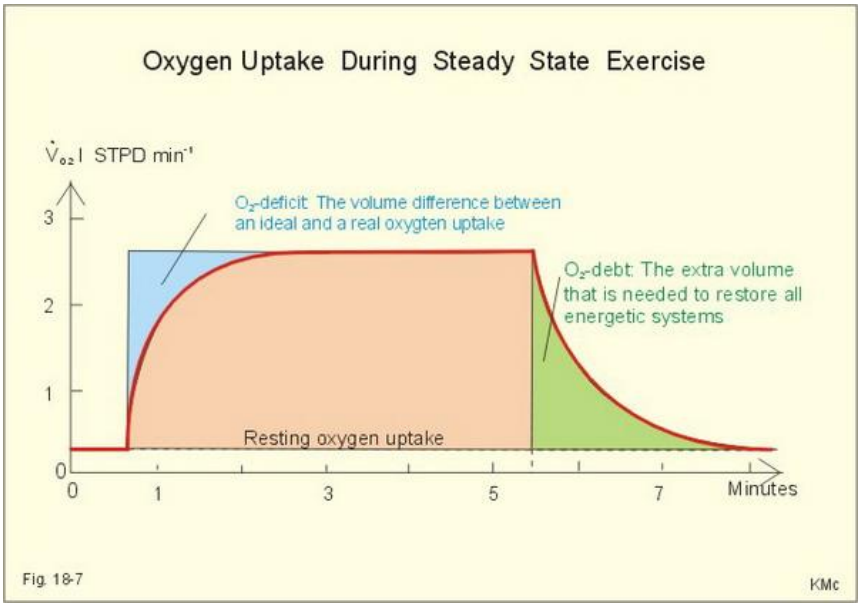
3.2 ออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2 deficit) และ การเป็นหนี้ออกซิเจน (O_2 debt)

ร่างกายนำออกซิเจนจากบรรยากาศรอบ ๆ ตัวมาใช้เพื่อเผาผลาญไขมัน (กรดไขมัน) และคาร์โบไฮเดรต (ไกลโคเจน) ที่เก็บสำรองไว้เพื่อให้เกิดพลังงาน ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายนั้นเรียกว่า (oxygen consumption/ oxygen Uptake; (VO_2)) ส่วนความต้องการใช้ออกซิเจนของร่างกายเรียกว่า (O_2 demand) และความสามารถในการขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อเรียกว่า (O_2 supply)

เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายความต้องการออกซิเจนของร่างกาย จะเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด แต่ร่างกายจะไม่สามารถเพิ่มการขนส่งออกซิเจนขึ้นอย่างทันทีทันใดได้ ประกอบกับขีดจำกัดของการขนส่งออกซิเจนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหาย ทำให้เกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2 deficit) ความต้องการในการใช้ออกซิเจนของร่างกายจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง และไม่สามารถเพิ่มขึ้นต่อไปได้อีก หรือเพิ่มในอัตราที่น้อยมาก เราเรียกจุดนั้นว่าภาวะคงที่หรือ (steady state)

ภาพที่ 5-15 แสดงการเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไป (O_2deficit) และการใช้หนี้ออกซิเจน (O_2deb) ในการออกกำลังกายด้วยความหนักคงที่

อ้างอิง (Poul-Erik Paulev, 2000)



การที่ร่างกายไม่สามารถขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อได้เท่ากับปริมาณที่ต้องการ ร่างกายจะชดเชยโดยการนำการสร้างพลังงานในรูปแบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิสเข้ามาช่วย จากการเกิดภาวะออกซิเจนที่ขาดหายไปในช่วงแรกของการออกกำลังกาย และจะมีการชดเชยคืนภายหลังการออกกำลังกายแล้ว (Loftin et al., 2005) ปริมาณออกซิเจนที่ขาดหายไปนั้น เป็นค่าความแตกต่างของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการออกกำลังกาย (total energy cost) กับค่าพลังงานที่ร่างกายใช้ตั้งแต่เริ่มต้นออกกำลังกายจนถึงระยะคงที่ (steady-state) ซึ่งเป็นการวัดการใช้พลังงานแบบแอโรบิค (McArdle& at al., 2004)

การชดเชยออกซิเจนที่ขาดหายไป จะเกิดขึ้นทันทีเมื่อร่างกายหยุดออกกำลังกาย จึงทำให้ภายหลังการออกกำลังกายยังมีการหายใจและขนส่งออกซิเจนในระดับสูงต่อเนื่องไปอีกระยะ เพื่อชดเชยการออกซิเจนที่ขาดหายไปช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ก่อนจะค่อยๆ กลับคืนสู่อัตราการ

ใช้ออกซิเจนในขณะพัก ปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ร่างกายยังคงรักษาให้สูงภายหลังการหยุดออกกำลังกายนี้เรียกว่า การใช้หนี้ออกซิเจน (O_2 deb)

4. ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาที (maximal oxygen uptake/ maximal oxygen consumption / VO_2max)

อย่างที่กล่าวไปแล้วว่าออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นในการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรตเพื่อให้เกิดพลังงาน การหายใจเข้า–ออกของร่างกาย คือการนำออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปเผาผลาญเพื่อให้เกิดพลังงาน เราจะวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายจากปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปให้เซลล์ใช้ใน 1 นาที (oxygen consumption/ oxygen uptake) มีสัญลักษณ์คือ (VO_2) ทั้งนี้มีบัญญัติศัพท์ภาษาไทยเกี่ยวกับค่า (VO_2) ไว้มากมายเช่น การบริโภคออกซิเจน การจับออกซิเจน การใช้ออกซิเจน ซึ่งทั้งหมดให้ความหมายไปในทิศทางเดียวกัน ก็คือค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายเพื่อเผาผลาญไขมันให้เกิดพลังงานใน 1 นาที การใช้ออกซิเจนของร่างกายแบบออกเป็น 3 ระยะใหญ่ ๆ คือ (Brooks et al., 2005).

ระยะที่ 1: การนำเข้าออกซิเจนจากบรรยากาศรอบตัวเข้าไปสู่ปอด (oxygen intake)

ระยะที่ 2: การแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่ปอดเข้าไปสู่เม็ดเลือดแดงในระบบไหลเวียนโลหิตและถูกผ่านไปยังเส้นเลือดฝอย (oxygen transport)

ระยะที่ 3: การใช้ออกซิเจน คือความสามารถของเซลล์กล้ามเนื้อในการรับออกซิเจนจากเม็ดเลือดไปสร้างพลังงาน (oxygen utilization) ผ่านกระบวนการเผลาผลาญแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolic pathways)

นอกจากปริมาณการใช้ออกซิเจนใน 1 นาทีแล้ว (VO_2) ค่าสำคัญที่จำเป็นจะต้องทำความเข้าใจก็คือ ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาที (VO2max) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าใน 1 นาทีนั้นร่างกายสามารถนำออกซิเจนไปเผาผลาญเพื่อให้เกิดพลังงานได้มากที่สุดเป็นปริมาณเท่าใดซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าร่างกายสามารถผลิตพลังงานเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้มากที่สุดได้เท่าไรด้วย การรายงานจะมี 2 แบบคือ

1. ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายแบบสมบูรณ์ มีหน่วยเป็น ลิตร/ นาที (L/ min) (absolute VO2max)

2. ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายแบบสัมพัทธ์ เป็นการรายงานค่าที่เปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวของผู้ทดสอบ มีหน่วยวัดเป็น มล/ กก./ นาที (mL/ kg/ min (relative VO2max)

ทั้งนี้การรายงานค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายด้วย โดยวิธีการรายงานแบบสัมพัทธ์ (relative) จะเป็นที่นิยมมากกว่าในกรณีที่จะเป็นต้องเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายระหว่างบุคคล

ภาพที่ 5–16 รายงานการวิจัยเรื่องแรกของโลกที่พูดถึงค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดย Hill และ Lupton ในปี ค.ศ. 1923

อ้างอิง (Hill& Lupton, 1923)

MUSCULAR EXERCISE, LACTIC ACID, AND THE SUPPLY AND UTILIZATION OF OXYGEN

By A. V. HILL and HARTLEY LUPTON

(From the Physiological Laboratory, Manchester)

Contents.

	PAGE
Introduction	135
A. The Function of Oxidation in the Body	136
B. The Rôle of Lactic Acid in the Muscle	137
C. Heat-production	139
D. The Efficiency and Speed of the Recovery Process	140
E. The Production of Lactic Acid in Man	141
F. Lactic Acid and Oxygen Debt	142
G. The Lactic Acid Maximum and the Limit of Muscular Exertion	144
H. The Rate of Oxidative Recovery from Exercise in Man	145
I. The 'Steady State' in Exercise	148
J. The Maximum Oxygen Intake	152
K. The Relation between Speed and Oxygen Consumption in Running	155
L. Distance and Speed in Athletics	158
M. The Importance of Tissue Buffers in Muscular Effort	159
N. The Oxidative Factor in Muscular Fitness	166

Introduction.

Modern progress in knowledge of the behaviour of muscle started from the researches of Fletcher (11, 12, 13) on the respiration of muscular tissue, and has been guided since by that landmark in exact physiology, the investigation by Fletcher and Hopkins (14) of lactic acid in surviving muscle. Hence arose a long series of investigations by many workers on the heat-production, the gaseous exchange, and the lactic acid and glycogen content of muscle; these have been summarized elsewhere (21, 23, 24). The insight thus acquired of the intimate physical and chemical mechanisms of the living muscle exceeds that of any other cell or process. In muscle we have several independent but convergent lines of progress, chemical, physical, and mechanical, and it is possible already to see, often not too dimly, from one to the other. Our knowledge is not, of course, in any single direction complete: it seemed sufficient,

[Q. J. M., Jan., 1923.]

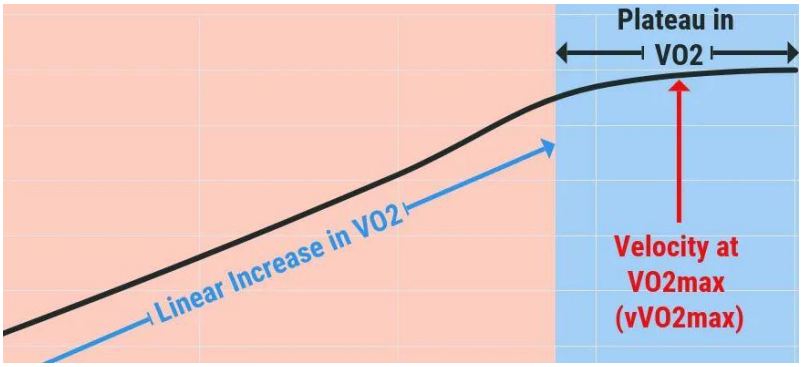
ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที ถูกบัญญัติขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1923 โดย Hill และ Lupton ซึ่งทำการทดสอบออกกำลังกายโดยการวิ่ง และพบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับความเร็วเมื่อมีการเพิ่มความหนักของการวิ่ง โดยทั้ง 2 สรุปว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนจะขึ้นไปสู่จุดสูงสุดและลดลง แม้ว่าจะมีการเพิ่มความเร็วของการวิ่งขึ้นก็ตาม สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากข้อจำกัดของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ข้อสรุปจากงานวิจัยของ Hill และ Lupton ในปัจจุบันได้รับการปฏิเสธเนื่องจากพบว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายจะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงระดับปริมาณการใช้ไว้ที่จุดคงที่ (VO_2max plateau) จนเมื่อร่างกายหยุดออกกำลังกายหรือมีการลดความหนักของการออกกำลังกาย ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดจึงจะค่อย ๆ ลดลง (Hawkins et al., 2007) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลจากงานวิจัยดังกล่าว ได้ทำให้เกิดการตื่นตัวของนักวิทยาศาสตร์ในการทำวิจัยเพื่อทดสอบหาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในเวลาต่อเนื่องมากกว่า 100 ปี และเป็นที่ยอมรับกันในระดับสากล

ว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายถือเป็นค่ามาตราฐานที่สุด (gold standard) ในการประเมินสมรรถภาพทางกายด้านระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (Tran, 2018)

4.1 ปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน (VO_2plateau/ VO_2 pl)

เมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายความต้องการใช้ออกซิเจนของร่างกายจะเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใดแต่ค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความสามารถของร่างกายในการขนส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อ จนเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งร่างกายจะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนได้ต่อไปอีกหรืออาจมีการเพิ่มขึ้นแต่น้อยมาก เราเรียกว่าภาวะคงที่หรือ (steady state) โดยที่จุดนี้ไม่ว่าจะมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายมากขึ้นเพียงใด ก็ไม่สามารถกระตุ้นหรือเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายได้อีก

ภาพที่ 5–17 แสดงปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจนขณะทำการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย
แหล่งที่มา https://hivetherapy.org/tag/cardiorespiratory/



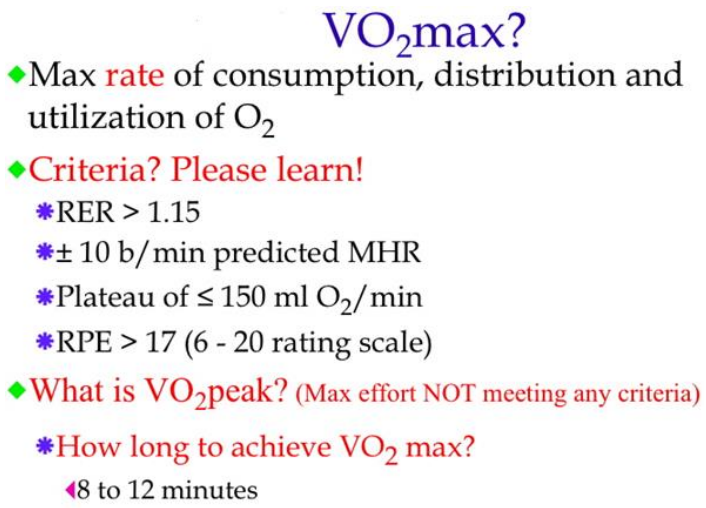
จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง กราฟแสดงค่าการใช้ออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดความชันลงและเป็นแนวราบมากขึ้น จึงเรียกค่าการใช้ออกซิเจนที่ภาวะนี้ว่าปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน (VO_2pl) หรืออาจจะใช้คำว่าภาวะอิ่มตัวของการใช้ออกซิเจน ซึ่งคำว่า Plateau ในภาษาอังกฤษมาจากคำว่าที่รูปสูง คล้ายกับลักษณะการใช้ออกซิเจนของร่างกายที่ไต่ระดับชันสูงขึ้นและราบลงเป็นจุดคงที่ดังภาพ

ปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน เป็นเกณฑ์สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ยอมรับและตัดสินใจว่าการทดสอบด้วยการออกกำลังกายนั้น ได้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (VO2max) ที่แท้จริงหรือไม่ เมื่อเกิดภาวะที่ปริมาณการใช้ออกซิเจนเริ่มคงที่ ถึงแม้จะมีความหนักของงานเพิ่มขึ้นก็ตาม

(Poole& Jones, 2017) มีการรายงานอัตราการเกิดภาวะปริมาณการใช้ออกซิเจนคงที่ ตั้งแต่ร้อยละ 17 – 94 โดยขึ้นอยู่กับนิยามของการศึกษาในแต่ละครั้ง (Niemeyer et al., 2021) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 85 ของการอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (max HR) (Cohen–Solal& Gourgon, 1991; Mitchell& Blomqvist, 1971; Wasserman et al., 1994) ผู้ที่ทำการทดสอบด้วยการออกกำลังกายจนการใช้ออกซิเจนของร่างกายอยู่ในภาวะคงที่ จะถือว่าค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้ในการทดสอบนั้นคือค่าที่แท้จริง (Astorino, 2009; Rossiter& et al.,2006) แต่ในคนป่วยหรือคนที่มีภาวะของร่างกายที่ไม่ปกติ ซึ่งไม่สามารถคงความหนักของการทดสอบได้นานจนถึง VO_2 plateau ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่วัดได้จะถือเป็นค่า VO_2 peak คือเป็นค่าสูงสุดของการทดสอบในครั้งนั้นเท่านั้น (Metra & et al., 1998) การทดสอบออกกำลังกายทั้งแบบเพิ่มความหนักของการทำงานอย่างต่อเนื่อง (continuous graded exercise test, CGXT) และการทดสอบแบบลดความหนักของการทำงาน (exercise decremental tests) สามารถทำให้ผู้ทดสอบเข้าภาวการณ์ใช้ออซิเจนคงที่ได้ (VO_2 plateau) ได้ไม่แตกต่างกัน (de Sousa& et al., 2021)

ภาพที่ 5–18 แสดงเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ยอมรับค่า VO_2 max จากการทดสอบ

แหล่งที่มา https://www.unm.edu/~lkravitz/Exercise%20Phys/VO2max.html



4.2 เกณฑ์การตัดสินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด

เนื่องจากการทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นการทดสอบประสิทธิภาพสูงสุดของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจดังนั้นการจะตัดสินว่าค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นค่า VO2 max หรือไม่จึงจำเป็นต้องพิจารณาว่าในการทดสอบครั้งนั้น 1. ระบบไหลเวียนโลหิตและ 2. ระบบหายใจทำงานด้วยความสามารถสูงสุดด้วยหรือไม่

การทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน ถือเป็นค่าสำคัญที่ใช้พิจารณาว่าระบบหายใจทำงานที่ความสามารถสูงสุดแล้ว เนื่องจากที่ระดับนี้ร่างกายแทบจะไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่าการใช้ออกซิเจน หรือเพิ่มขึ้นแต่ก็มีปริมาณที่น้อยมาก โดยหากมีการเพิ่มขึ้นของค่าการใช้ออกซิเจนภายในร่างกายน้อยกว่า 150 ml/min (1.5 ml/kg/min) ติดต่อกันอย่างน้อย 2 นาทีขึ้นไปจะถือว่าเข้าสู่ปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน (Taylor, 1955; Edvardsen et al., 2014) ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าแม้แต่ในนักกีฬาที่สมรรถภาพทางกายในระดับสูงก็ยังเป็นไปได้อยากที่จะทำการทดสอบออกกำลังกายจนร่างกายมีการใช้ออกซิเจนถึงระดับภาวะคงที่ (Lucía et al., 2006) ดังนั้นนอกจากจะใช้ช่วงการใช้ออกซิเจนที่ระดับปริมาณการใช้ออกซิเจนคงที่แล้ว อาจจะใช้ค่าเศษส่วนลมหายใจที่ระดับ 1.10 หรือ 1.15 หรือค่าแลคเตทในเลือดที่ระดับ 8 mM แต่ข้อเสียคืออาจจะประเมินได้ต่ำกว่าความเป็นจริงร้อยละ 30–40 จากค่าที่แท้จริง (Poole et al., 2008; Edvardsen et al., 2014)

สำหรับการพิจารณาว่าระบบไหลเวียนโลหิตทำงานที่ความสามารถสูงสุดแล้วหรือไม่ ส่วนใหญ่จะใช้การพิจารณาจากค่า อัตราการเต้นของหัวใจ โดยหากมีอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าร้อยละ 95 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขึ้นไปหากคำนวณจากสูตร (220–อายุ) (Poole et al., 2008; Edvardsen et al., 2014)

ทั้งนี้หากการทดสอบในครั้งนั้นไม่สามารถระบุได้ว่าระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจทำงานด้วยประสิทธิภาพสูงสุดหรือไม่ค่าการใช้ออกซิเจนในการทดสอบครั้งนั้นจะเรียกว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดจากการทดสอบ (VO_2 peak) ค่านี้จะถูกใช้เป็นการนิยามค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบในกลุ่มคนที่มีภาวะทางร่างกายไม่สมบูรณ์ เนื่องจากร่างกายไม่สามารถทำการทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การใช้ออกซิเจนของร่างกาย

5.1 การใช้ออกซิเจนขณะพัก (VO_2 at Rest/ Resting VO_2)

ร่างกายจะมีค่าการใช้ออกซิเจนในขณะพักโดยเฉลี่ยนอยู่ที่ 3.5 ml/kg/min (Haskell et al., 2007; Coelho–Ravagnani et al., 2013) หรือประมาณ 0.2 – 0.3 L/min แตกต่างกันออกไปตามแต่ละบุคคลเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นกล้ามเนื้อ น้ำหนักตัว เพศ และอายุ ทั้งนี้พบว่าในผู้สูงอายุจะมีค่าการใช้ออกซิเจนในขณะพักที่ต่ำกว่า 3.5 ml/kg/min (Kwan et al., 2004) มีหลายรายงานการวิจัยที่พยายามศึกษาหาค่าการใช้ออกซิเจนในขณะพักและพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียง 3.5 ml/kg/min แต่แตกต่างกันออกไป เช่น รายงานค่าที่แตกต่างกันไปเช่น 2.6, 2.96, 3.0, 3.1, 3.6 ml/kg/min (Byrne, 2005) เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากที่ต้องระมัดระวังในการนำตัวเลขดังกล่าวมาใช้โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ เนื่องจากอายุมีผลอย่างมีต่อการลดลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนภายในร่างกาย

ภาพที่ 5–19 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ลดลงตามช่วงอายุในเพศชายและหญิง

อ้างอิง (Byrne, 2005)

Age, yr	Gender	BMI, kg/m^2	Resting $\dot{V}O_2$, ml $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	Difference,* %
20	Male	20	3.16	+6.0
20	Female	20	2.98	
40	Male	20	3.08	+6.2
40	Female	20	2.91	
20	Male	20	3.16	+30.2
20	Male	40	2.42	
20	Female	20	2.98	+32.6
20	Female	40	2.25	
40	Male	20	3.08	+31.2
40	Male	40	2.35	
40	Female	20	2.91	+33.8
40	Female	40	2.17	

*Percentage difference between adjoining cells (above vs. below).

5.2 การใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย (VO_2 at Exercise)

เมื่อร่างกายเริ่มออกกำลังกายร่างกายจะมีค่าการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อย่างที่กล่าวไปแล้วในขณะพักจะมีค่าการใช้ออกซิเจนอยู่ที่ประมาณ 3.5 ml/kg/min แต่เมื่อออกกำลังกายจะพบว่าร่างกายมีความต้องการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 35 – 40 ml/kg/min และ 27–31 ml/kg/min ในคนปกติเพศชายและเพศหญิงตามลำดับ แต่ในนักกีฬาที่มีระดับความสามารถสูงเช่นนักกีฬาวิ่งทางไกลจะพบว่ามีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะออกกำลังกายที่ 85 ml/kg/min สำหรับนักกีฬาชาย และ 77 ml/kg/min สำหรับนักกีฬาหญิง ทั้งนี้หากปรับเป็นหน่วย ลิตร/ นาที พบว่าในนักกีฬาพายเรือชายมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ 6.1 L/นาที ในขณะที่นักกีฬาหญิงอยู่ที่ 4.1 L/นาที (Hagerman, 1984; Heyward, 1998; Noakes, T., 2003; Guyton& Hall, 2011) ค่าการใช้ออกซิเจนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมรรถภาพทางกาย การฝึกฝนร่างกาย เพศ และอายุ พบว่าในการแข่งขันฟุตบอลอาชีพ 1 รายการนักกีฬาจะต้องแข่งขันที่ความหนักประมาณร้อยละ 70 ของค่า VO_2max (Drust et al., 2007) ผู้แต่งได้ทำการวิจัยและพบว่า การฝึกออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (continuous training) การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก (HIIT and Supra HIIT) และการฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน (incremental exercise) เป็นการฝึกที่สามารถเพิ่มค่า VO_2max ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อดิศร ธุระยศ และคณะ 2568)

ภาพที่ 5–20 แสดงค่าการใช้ออกซิเจนขณะพักและออกกำลังกายของคนทั่วไป ผู้สูงอายุ และนักกีฬาในเพศชายและหญิง

แหล่งที่มา https://slideplayer.com/slide/5902445/

Reasonable and Expected Values for VO_2

Category or Level	$ml \cdot kg^{-1} min^{-1}$		$ml \cdot min^{-1}$		METS	
	Male (75 kg)	Female (60 kg)	Male (75 kg)	Female (60 kg)	Male (75 kg)	Female (60 kg)
Rest	3.5	3.5	262	210	1	1
Maximal 20 yrs Old	45-60	35-50	3375-4500	2100-3000	13-17	10-14
Maximal 60 yrs Old	30-40	25-35	2250-3000	1500-2100	8-11	7-10
Elite Endurance Athlete	80	70	6000	4200	23	20

5.3 ผลของความสูงที่มีต่อการใช้ออกซิเจนของร่างกาย

ออกซิเจนถูกนำเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจซึ่งระบบดังกล่าวมีหน้าที่ในการระบายคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และความร้อนออกจากร่างกายด้วย สัดส่วนของออกซิเจนที่ร่างกายหายใจเข้าไป (FiO_2) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 21 ส่วนใน 100 ส่วนที่ระดับน้ำทะเล ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจจะขนส่งออกซิเจนไปที่ปอดเพื่อเริ่มการแลกเปลี่ยนก๊าซ (pulmonary gas exchange)

เมื่ออยู่ในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากกว่า เช่นบนยอดหรือพื้นที่ที่มีความสูงมากกว่า 2500 เมตรขึ้นไป จะรู้สึกว่าหายใจไม่ค่อยสะดวกที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจาก ความดันบรรยากาศของก๊าซต่าง ๆ รอบตัวในพื้นที่สูงจะลดลงเมื่อเทียบกับระดับน้ำทำเล ทำให้ค่าความดันของออกซิเจนในอากาศ (PIO_2) ลดลงด้วย ยกตัวอย่างเช่น ที่ระดับน้ำทะเลจะมีความดันบรรยากาศเท่ากับ 760 mmHg โดยมีปริมาณออกซิเจนใน บรรยากาศอยู่ที่ร้อยละ 20.93 ดังนั้นจะมีค่าความดันของออกซิเจนในอากาศที่ใช้หายใจอยู่ที่ 159 mmHg แต่ที่ระดับ 9,843 ฟุต (3,000 เมตร) เหนือระดับน้ำทะเลจะมีความดันบรรยากาศเท่ากับ 110.1 (Gallagher& Hackett, 2004) การลดลงของค่าดันออกซิเจนในอากาศทำให้ค่าออกซิเจนภายในถุงลม (PAO_2) ส่งผลในค่าความดันออกซิเจนในเลือดแดง (PaO_2) ลดลงด้วย การที่ความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศรอบตัวลดลง ร่างกายจึงนำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อได้น้อยลงด้วย ทำให้เมื่อขึ้นไปในพื้นที่ที่มีความสูงโดยเฉพาะเมื่อมีความสูงมากกว่า 2500 เมตรขึ้นไป จะมีความรู้สึกอึดอัดหายใจได้ไม่เต็มที เวียนหรือปวด คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลียหรือเบื่ออาหาร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาการป่วยจากความสูง (altitude sickness)

5.3.1 ภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำ (hypoxemia)

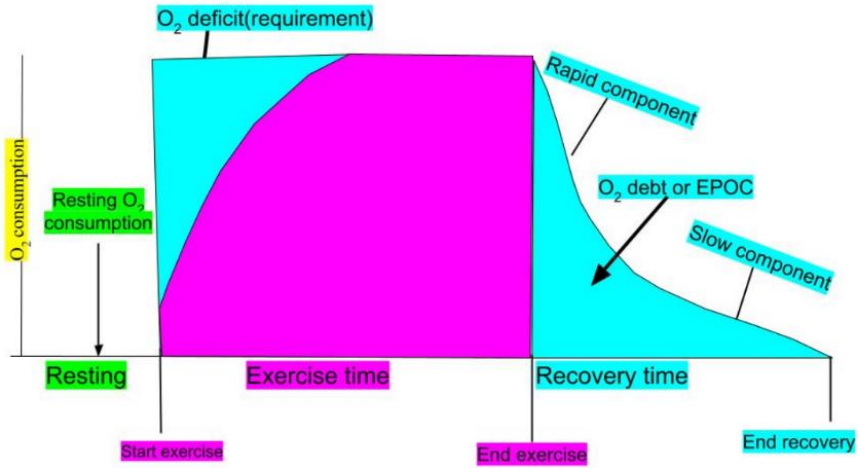
ภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำโดยทั่วไปจะวัดจากค่าความดันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในพลาสมา (partial pressure of arterial oxygenation/ PaO_2) ซึ่งโดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 80–100 มม.ปรอท หากมีค่า PaO_2 น้อยกว่า 80 มม.ปรอท จะถือว่าเริ่มมีภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำหากมีค่า PaO_2 น้อยกว่า 60 มม.ปรอท จะถือว่ามีภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำปานกลาง และต่ำกว่า 40 มม.ปรอท ถือว่าต่ำมาก โดยจะมีสาเหตุมาจากหลากประการ เช่นสัดส่วนของออกซิเจนที่ร่างกายหายใจเข้าไป (FiO_2) ในอากาศต่ำลง เช่นเมื่อขึ้นไปในที่สูง (high altitude)

5.4 การใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย (excess post–exercise oxygen/ EPOC) หรือค่าการเผาผลาญภายหลังการออกกำลังกาย (afterburn effect)

การใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย คือค่าเดียวกับปริมาณการใช้หนี้ออกซิเจน (O_2 debt) ซึ่งหมายถึงปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายภายหลังหยุดออกกำลังกายในช่วงที่ยังสูงกว่าระดับปกติก่อนที่จะมีการออกกำลังกาย (Greer et al., 2021, Foureaux et al.,2006)

ภาพที่ 5–21 ค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย (EPOC)

แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Excess_post–exercise_oxygen_consumption



จากภาพจะเห็นว่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกายจะแบ่งเป็น 2 ช่วง (Greer et al., 2021; Foureaux et al.,2006; Paoli et al., 2012) ด้วยกันคือ

1. ช่วงองค์ประกอบส่วนเร็ว (rapid/ fast component) ช่วงนี้ออกซิเจนจะถูกนำไปชดเชยเพื่อสร้างพลังงานในระบบแอนแอโรบิก อะแลคติก (anaerobic–alactic) โดยการสังเคราะห์สารเอทีพีและฟอสโพครีเอทีน (ATP–PCr) ที่นำมาไปใช้ในช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายคืนร่างกาย

2. ช่วงองค์ประกอบส่วนช้า (slow component) ช่วงนี้ออกซิเจนจะถูกนำไปใช้ในการเปลี่ยนแลตเตทในกระแสเลือดให้กลับไปเป็นไพรูเวทและไกลโคเจน

ปัจจุบันค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย เป็นที่รู้จักและมีบทบาทมากขึ้นโดยเฉพาะในการออกกำลังกายเพื่อควบคุมหรือลดน้ำหนัก เนื่องจากเป็นค่าการเผาผลาญภายหลังการออกกำลังกาย (afterburn effect) ซึ่งสะท้อนการเผาผลาญพลังงานของร่างกายโดยเฉพาะไขมันที่ต่อเนื่องภายหลังการออกกำลังกายแล้ว พบว่าการฝึกด้วยแรงต้านรวมถึงการฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงสามารถช่วยเพิ่มค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายและอัตราการใช้พลังงานของร่างกายภายหลังหยุดออกกำลังกายแล้วไปได้ 14 – 24 ชั่วโมง (Abboud et al., 2013; Greer et al., 2021) หรืออาจกล่าวได้ว่าในขณะที่เราออกกำลังกายหากมีการออกกำลังกายที่มีความหนักหรือใช้แรงมากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะยังคงมีการใช้ออกซิเจนและเผาผลาญพลังงานสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องไปอีกเป็นระยะเวลานาน

6. กรดแลคติกและแลคเตท (lactic acid and lactate)

บ่อยครั้งเรามักจะได้ยินคำว่า แลคติก (lactic) และ แลคเตท (lactate) ใช้แทนกับสลับกันไปมาจนเกิดการเข้าใจไปว่าคำทั้ง 2 ใช้บ่งบอกถึงสิ่ง ๆ เดียวกัน แต่ในความเป็นจริงแล้ว แลคติก และ แลคเตท มีนิยามและความหมายที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างโมเลกุลทั้งสองคือ แลคติกจะมีไอออนไฮโดรเจนเพิ่มมาอีกหนึ่งตัว

เมื่อเรารับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเข้าไป คาร์โบไฮเดรตในอาหารนั้นจะถูกย่อยและแตกตัวเป็นกลูโคส ซึ่งกลูโคสประกอบด้วยโมเลกุลคาร์บอน 6 โมเลกุลที่เชื่อมต่อกัน กลูโคสจะถูกย่อยสลายเพื่อสร้างพลังงานได้เป็นโมเลกุลไพรูเวทที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล เมื่อกลูโคสถูกย่อยสลายเป็นโมเลกุลไพรูเวท 2 โมเลกุล ก็จะเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งก็คือกระบวนการที่กลูโคสออกจากกัน ซึ่งร่างกายจะมีวิธีการนำไพรูเวตไปเป็นพลังงานได้ 2 แบบคือ

– แบบที่ใช้ออกซิเจน (ระบบพลังงานแบบแอโรบิก) ไพรูเวทจะถูกย่อยสลายแอซีติลโคเอนไซม์เอ และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ได้เป็นเอทีพี

– แบบไม่ใช้ออกซิเจน (ระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส) ไพรูเวทรับไอออนไฮโดรเจนและกลายเป็นแลคเตท

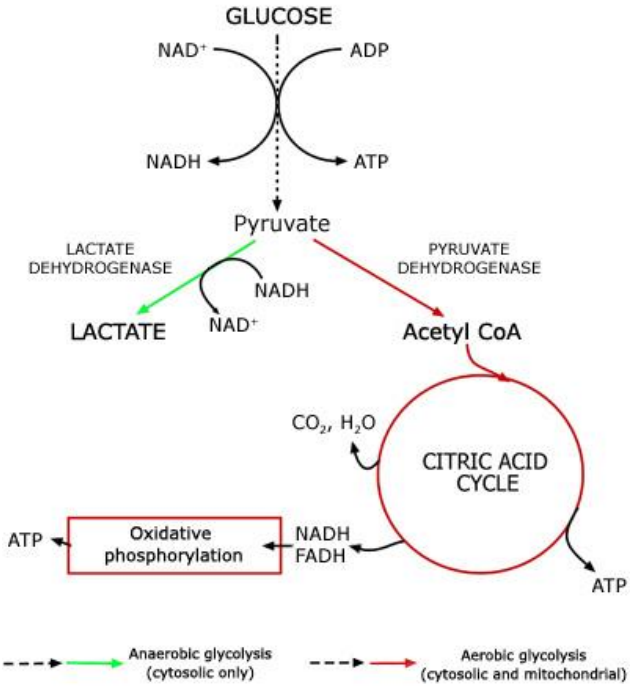
ในกระบวนการทำให้ไพรูเวทเป็นพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทีพี และกลายไปเป็นเอดีพี เมื่อไฮโดรเจนไอออนสะสมมากขึ้น

จะทำให้เกิดภาวะกรดเลือดและกล้ามเนื้อ เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนทำให้ค่า pH ในเลือดลดลง ดังนั้น การที่เกิดภาวะกรดในกล้ามเนื้อและเลือดจึงเกิดจากการออกกำลังกายที่มีความหนัก จนร่างกายไม่สามารถส่งออกซิเจนได้เพียงพอและรวดเร็วพอ ในภาวะนี้แลคเตทจะทำหน้าที่ปรับสมดุลกรด-เบสเลือด จากพลังงานแบบแอนแอโรบิก เนื่องจากระบบพลังงานนี้ผลิตเอทีพีแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดย แลคเตทจะเกิดขึ้นเมื่อกลูโคสถูกย่อยสลายเป็นไพรูเวตและไพรูเวตจะรับไฮโดรเจนไอออนเข้ามา เมื่อไฮโดรเจนไอออนสะสมในเลือดมากขึ้น ก็จะเกิดการสะสมของกรดแลคติก ในความเป็นจริงแล้วแลคเตท ทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสำหรับกล้ามเนื้อ ชะลอความเหนื่อยล้า และป้องกันการบาดเจ็บ นอกจากนั้นยังช่วยรักษาระดับน้ำตาลให้เลือดให้ช้าลง ทำให้การออกกำลังกายและเล่นกีฬามีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น (Puleo& Milroy, 2019) ปริมาณแลคเตทที่เพิ่มขึ้นสามารถตรวจวัดได้จากค่าแลคเตทในเลือด (blood concentration of lactate) ในขณะที่ร่างกายแทบจะไม่ได้ผลิตกรดแลคติกเลยในขณะที่ออกกำลังกาย

ร่างกายสามารถเปลี่ยนแลคเตทในเลือดให้กลับไปเป็นกลูโคส (glucose) เพื่อเปลี่ยนกลับไปเป็นพลังงานได้ โดยเซลล์ตับจะเปลี่ยนแลคเตทไปเป็นกลูโคส แล้วส่งไปที่กล้ามเนื้อ วงจรการหมุนเวียนของกลูโคสและแลคเตทระหว่างตับกับกล้ามเนื้อ เรียกว่า วัฏจักรคอริ (Cori-cycle) และมีแลคเตทประมาณร้อยละ 2 ที่ขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ (Yudkin& Cohen, 1975) พบว่าจะมีแลคเตทสะสมในเลือดอยู่เป็นปกติประมาณ 0.5-1.5 มิลลิโมล/ลิตร (mmol/L) (Sacks, 2006)

ภาพที่ 5-22 แสดงการเกิดแลคเตทในภาวะปกติของร่างกาย

อ้างอิง (Hively, 2022)



หากร่างกายมีการออกกำลังกายที่หนักมากขึ้น จนถึงระดับที่ไม่สามารถส่งออกซิเจนได้มากพอสำหรับเป็นแหล่งเชื้อเพลิง ร่างกายจะต้องปรับระบบการใช้พลังงานเป็นระบบแอนแอโรบิกเป็นหลัก ซึ่งจะไม่ใช้ออกซิเจน โดยการนำไกลโคเจน (glycogen) ที่สะสมอยู่มาย่อยสลายเพื่อให้เกิด ไพรูเวต (pyruvate) และกลายไปเป็นแลคเตทและพลังงาน แต่หากร่างกายยังมีกิจกรรมทางกายที่มีความหนักมากต่อเนื่อง จำนวนของแลคเตทที่ร่างกายเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจะทำได้น้อยกว่าที่ร่างกายผลิต ทำให้การสะสมของแลคเตทในร่างกายเพิ่มมากขึ้น แลคเตทที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เลือดมีความเป็นกรดมากขึ้น เป็นสาเหตุหนึ่งให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้า แต่ภาวะความเป็นกรดที่เกิดจากการสะสมของแลคเตทไม่ใช่สาเหตุเดียวที่ทำให้เกิดอาการล้า ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่คาดว่าเป็นสาเหตุของความล้าและเกิดร่วมกัน ได้แก่ การเผาผลาญของฟอสเฟต (phosphate metabolites) ไกลโคเจน และอนุมูลอิสระหรืออนุมูลสารออกซิเจนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species) (Cairns& Lindinger, 2025)

เราเรียกจุดที่ร่างกายมีอาการล้าจากการสะสมของแลคเตทว่าระดับกั้นแลคเตทหรือจุดเริ่มล้า (lactate threshold) แลคเตทที่เพิ่มขึ้นจะถูกทำให้เป็นกลาง (buffer) โดยไบคาร์บอเนต (HCO_3) ซึ่งเป็นเบส ที่ร่างกายใช้เพื่อช่วยรักษาสมดุลกรด–เบส (pH) ให้เป็นปกติ ทำให้ระบบระบายอากาศผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้น และสามารถตรวจวัดได้ทันทีหากใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

1) $Pyruvic\ acid + NADH + H^+ \longleftrightarrow lactic\ acid + NAD^+ \longrightarrow lactate^-Na^+ + NAD^+ + H^+$

2) $lactate^-H + Na^+ \longrightarrow Na^+ + lactate^- + H^+$

3) $H^+ + HCO_3^- + \longleftrightarrow H_2CO_3 \longleftrightarrow H_2O + CO_2$

สมการเคมีแสดงการเปลี่ยนไฟรูเวทไปเป็นแลคเตทและการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (Brooks, 2000)

จุดที่ร่างกายเริ่มมีการสะสมของแลคเตทเป็นจุดที่ระบบระบายอากาศผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มมากขึ้นและเป็นปรากฏการณ์ทางเมตาบอลิซึม ที่เรียกว่า Anaerobic Threshold (AT) (Wasserman et al, 1973) หรือ Lactate threshold (LT) เป็นจุดที่มีการปรับเปลี่ยนระบบการใช้พลังงานของร่างกายจากการใช้ออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลาญพลังงานเป็นหลัก มาเป็นระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นหลัก มีการสะสมของแลคแตทในกระแสเลือด และมีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปเช่น (Anaerobic threshold (AT), Lactate threshold (LT), Ventilatory threshold (VT), Onset of blood lactate accumulation (OBLA))

แม้การเพิ่มขึ้นของแลคเตทในร่างกายจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย การลดลง แต่การเพิ่มขึ้นนั้นก็เป็นกลไกทางธรรมชาติที่ช่วยป้องกันไม่ให้ร่างกายทำงานหนักมากเกินไปเป็นจนอาจเกิดอาการบาดเจ็บที่เป็นผลร้ายแรงต่อร่างกาย และหากมีการฝึกในระดับที่ดีจะสามารถพัฒนา

ให้ร่างกายนำแลคเตทที่สะสมกลับไปเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ร่างกายจะกลับคืนสู่สภาวะปกติได้เร็วและสามารถใช้ประโยชน์จากการสะสมของแลคเตทได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. ขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก (aerobic threshold/ AeT)

ขีดจำกัดหรือระดับกั้นการทำงานของกระบวนการเมตาบอลิซึมหรือการใช้พลังงานในร่างกาย แบ่งเป็น 2 เกณฑ์ใหญ่ ๆ คือ

1. แอโรบิกเทรชโฮลด์ (aerobic threshold/ AeT
2. แอนแอโรบิกเทรชโฮลด์ (anaerobic threshold/ AT)

ขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก (AeT) เป็นระดับการทำงานที่ร่างกายเริ่มดึงพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตที่สะสมไว้มาใช้ในปริมาณมากขึ้น หรือเป็นระดับที่ร่างกายเริ่มมีการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญครั้งแรกเข้ามาใช้ร่วมกับการทำงานแบบอโรบิก มีเกรฑ์ในการอ้างอิงได้แบบตามวิธีการตรวจวัดเช่น (Eserhaut et al., 2025; Rogers et al., 2021)

- จุดเปลี่ยนแรกของค่าการสะสมแลคเตทในเลือด (first lactate threshold/ LT1)
- จุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ (first ventilatory threshold/ VT1)
- จุดเปลี่ยนแรกของค่าความอิ่มตัวออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (SmO_2 breakpoint1)

แม้ร่างกายเริ่มมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่การใช้พลังงานแบบแอโรบิกก็ที่ยังคงทำงานเป็นหลักอยู่ โดยเริ่มมีแลคเตทในเลือดเพิ่มมากขึ้น แต่ร่างกายยังสามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่กระทบกับการออกกำลังกาย ในทางทฤษฎีแล้วร่างกายจะสามารถออกกำลังกายที่จุดนี้ได้ตลอดไปหากยังมีไขมันสะสมในร่างกาย แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถทำเป็นแบบนั้นได้ การฝึกซ้อมที่ระดับนี้เป็นการฝึกที่ทำให้ร่างกายเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาผลาญไขมัน มีความจำเป็นอย่างมากโดยเฉพาะนักกีฬาที่ต้องใช้ความอดทนสูง

เนื่องจากที่ระดับดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมตาบอลิซึมอย่างเห็นได้ชัด จึงสามารถวัดได้จากทั้งการวัดปริมาณแลคเตทในเลือด (first lactate threshold/ LT1) ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนลมหายใจ (first ventilatory threshold/ VT1) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ลมหายใจ (Cerezuela–Espejo et al., 2018) ทั้งนี้แม้จะใช้การวัดที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธีการมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันและสามารถใช้กำหนดขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก ได้ไม่แตกต่างกัน (Amann et al., 2006; Pallarés et al., 2016)

หากใช้ค่าจุดเปลี่ยนแรกของค่าการสะสมแลคเตทในเลือด (first lactate threshold/ LT1) เป็นเกณฑ์ในการกำหนด จะใช้วิธีการตรวจวัดแลคเตทในเลือด ที่ปกติแล้วแลคเตทในเลือดขณะพักจะไม่เกิน 2 mmol/ L แต่จะไม่มีค่าเท่ากับ 0 ทั้งนี้จุดที่แลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 mmol/ L คือจุดที่เกิดค่าขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิกหรือประมาณร้อยละ 45–75 ของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (% VO_2max) หรือร้อยละ 65–75 ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (% MHR) (Peric et al., 2022)

การออกกำลังกายที่ระดับนี้จะมีลักษณะของการออกกำลังกายที่ใช้เวลานานความหนักไม่มาก (long–duration and low–intensity) ซึ่งให้ผลดีในการลดไขมันในร่างกาย ช่วยควบคุมน้ำหนักและลดความอ้วน อีกทั้งยังถือรากฐานสำคัญของการฝึกซ้อมนักกีฬาช่วงก่อนเปิดฤดูกาล โดยจะเน้นปริมาณการฝึกจำนวนมากแต่ความหนักน้อย ๆ (high–volume low–intensity exercise) (Stöggl& Sperlich, 2014) การฝึกซ้อมที่จุดนี้เหมาะสมกับนักกีฬาที่ต้องใช้ความอดทนสูงเช่นนักวิ่งมาราธอน จักรยานทางไกล

ภาพที่ 5–23 แสดงปริมาณแลคเตทในเลือดตาม Zone อัตราการเต้นของหัวใจ

แหล่งที่มา https://trainright.com/lactate–threshold–and–how–do–cyclists–train–it/

Zone	Lactate Levels (mmol/L)	Typical % of LT	Substrate Utilization	Duration
Zone 1 – Recovery	0.5-2.0	< 55%	Fat	Infinity
Zone 2 – Endurance	1.0-2.0	56-75%	Mostly Fat/ Some Carbohydrate	Hours
Zone 3 – Tempo	2.0-3.0	76-90%	Mix of Fat and Carbohydrate	60-120 minutes
Zone 4 – Threshold	3.0-4.0	91-105%	Carbohydrate	40-60 minutes *FTP
Zone 5 – VO2 max	5.0-15.0	106-120%	Carbohydrate	5-20 minutes

หมายเหตุ* FTP คือ Functional Threshold Power (FTP) หมายถึงระดับพลังงานสูงสุด (มีหน่วยวัดเป็นวัตต์) ในการออกกำลังกายที่สามารถรักษาไว้ได้เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงโดยไม่เมื่อยล้า

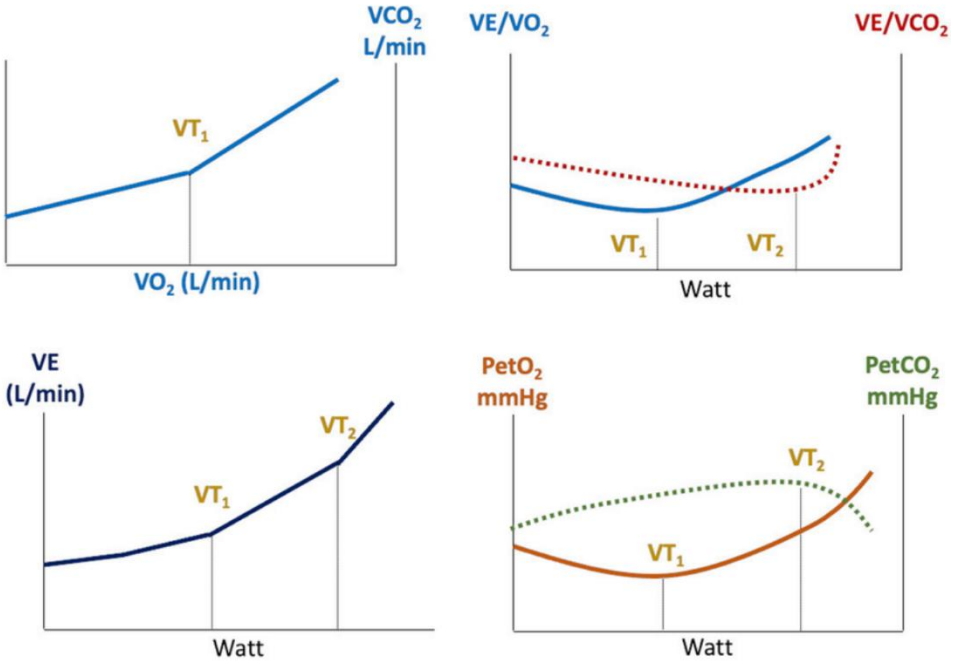
จากตารางจะเห็นได้ว่าระดับแลคเตทในเลือดในโซนการออกกำลังกายที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นระดับของการออกกำลังที่ไม่หนักมากและส่วนใหญ่จะใช้แหล่งพลังงานจากไขมันเป็นหลัก มีค่าไม่เกิน 2 mmol/ L ระดับความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดดังกล่าวถือเป็นระดับปกติของร่างกาย แต่เมื่อร่างกายเริ่มมีระดับความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น จะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแลคเตทในเลือดเหนือขึ้นกว่าระดับปกติและเข้าสู่จุดเปลี่ยนแรกของค่าการสะสมแลคเตทในเลือด มีการสะสมของ แลคเตทในกระแสเลือดเพิ่มมากขึ้น แต่ร่างกายก็สามารถนำกลับมาใช้เป็นพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซึ่งเป็นไอออนประจุลบที่มีคุณสมบัติเป็นด่างและพบได้ในเลือด ทำ

หน้าที่ในการบัฟเฟอร์ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือด (Wasserman et al, 1973; Del Coso et al., 2009) ร่างกายจึงยังไม่ได้รับผลกระทบจากแลคเตทในกระแสเลือดในช่วงนี้

หากใช้จุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ (first ventilatory threshold/ VT1) เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงนั้นจะมีรายละเอียดและค่าสำคัญ ๆ ตามภาพคือ

ภาพที่ 5-24 แสดงค่าที่ใช้กำหนดจุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ (first ventilatory threshold/ VT1)

อ้างอิง (Anselmi et al., 2021)



หมายเหตุ* 1) มีการเพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาทีและปริมาตรของออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที (VE / VO2), 2) มีการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของออกซิเจนเมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจนสุด PETO2, 3) ทั้งนี้จะต้องไม่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาทีและปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (VE / VCO2)

V_E (Minute Ventilation) = ปริมาตร (จำนวนหรือปริมาณ) การหายใจออกใน 1 นาที

VO_2 = ปริมาตร (จำนวนหรือปริมาณ) ของออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที

VCO_2 = ปริมาตร (จำนวนหรือปริมาณ) ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตใน 1 นาที

$P_{ET}O_2$ (End-tidal carbon dioxide) = ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนเมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจนสุด (จังหวะสุดท้ายของการหายใจ) โดยปกติจะมีค่าประมาณ 111.2 mmHg ขณะพัก และ 112.3 mmHg เมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก (Koike et al., 2004)

$P_{ET}CO_2$ (End–tidal carbon dioxide) = ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจนสุด (จังหวะสุดท้ายของการหายใจ) โดยปกติจะมีค่าประมาณ 33.8 mmHg ขณะพัก และ 39.8 mmHg เมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก (Koike et al., 2004)

ซึ่งจะต้องมีเข้าเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (Pallarés& et al., 2016)

1) มีการเพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาทีและปริมาตรของออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที (V_E / VO_2)

2) มีการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของออกซิเจนเมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจนสุด $P_{ET}O_2$

3) ทั้งนี้จะต้องไม่มีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาที และปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (V_E/ VCO_2)

ดังนี้ค่า Aerobic Threshold/ Aet จะใช้ชื่ออื่น ๆ แทนได้อีกไม่ว่าจะเป็น Lactate Threshold 1/ LT1 ที่ใช้แลคเตทในเลือดเป็นเกณฑ์ หรือ Ventilation Threshold 1/ VT1 ที่ใช้ค่าต่าง ๆ ของลมหายใจเป็นเกณฑ์

8. ระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิกหรือจุดเริ่มล้า (anaerobic threshold/ AT)

ระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิกหรือจุดเริ่มล้า (AT) เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานเช่นเดียวกันกับขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก (AeT) แตกต่างกันตรงที่ว่าระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิกเกิดขึ้นภายหลัง เมื่อระดับความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น จนระบบพลังงานแบบแอโรบิกซึ่งเป็นระบบผลิตพลังงานหลักของร่างกายในช่วงเริ่มแรกของการออกกำลังกายไม่สามารถผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อให้ร่างกายใช้ได้อย่างเพียงพอตามความหนักของงานที่เพิ่มมากขึ้น ร่างกายจึงต้องปรับเปลี่ยนโดยการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกมาเป็นหลัก โดยใช้กลไกการการสลายไกลโคเจนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ด้วยการเปลี่ยนไพรูเวต (pyruvate) เป็นกรดแลคติก (lactic acid) และก่อให้เกิดการสะสมของแลคเตทในเลือด (Brooks, 2018; Ferguson et al., 2018) การเพิ่มขึ้นของแลคเตททำให้เลือดมีความเป็นกรด ร่างกายจะพยายามปรับสมดุลโดยการใช้ไบคาร์บอเนต (HCO_3) ทำให้เป็นกลาง (buffer) ซึ่งจะเกิด CO_2 มากขึ้น สามารถตรวจวัดจากระบบระบายอากาศของร่างกายได้ทันที (Poole et al., 2021) โดยสามารถใช้เกณฑ์ในการอ้างอิงคือ

– ขีดจำกัดการสะสมแลคเตทในเลือด (lactate threshold/ LT2; onset of blood lactate accumulation/ OBLA)

– ขีดจำกัดการระบายอากาศ (ventilatory threshold/ VT2)

หากใช้ค่าขีดจำกัดการระบายอากาศ ในการอ้างอิงระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิก จะมีเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (Pallarés et al., 2016)

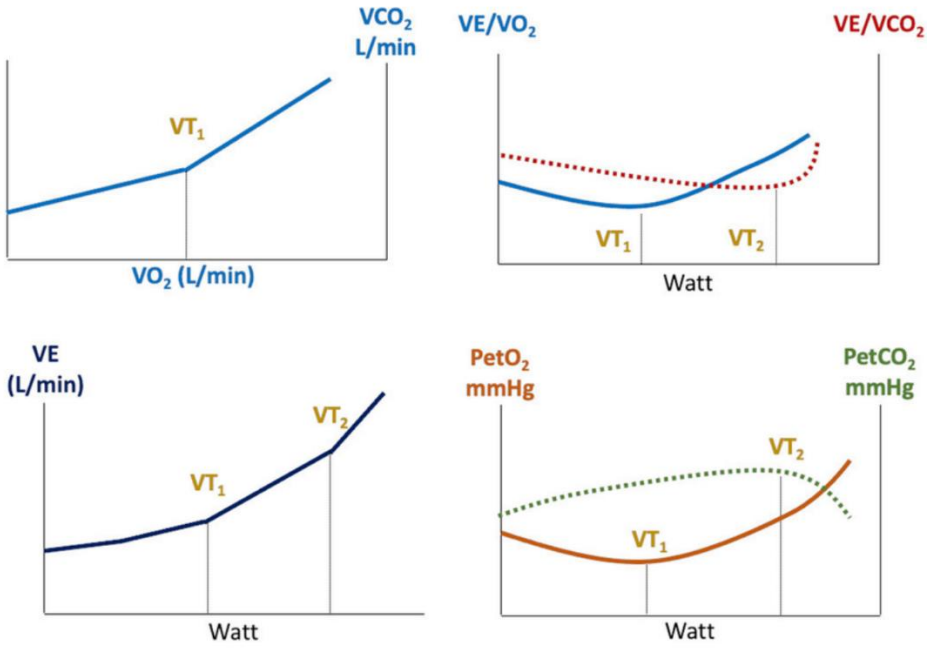
1. มีการเพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาทีและปริมาตรของออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที (V_E / VO_2)

2. มีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรการหายใจออกใน 1 นาทีและปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (VE / VCO_2)

3. มีการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อสิ้นสุดการหายใจออกจนสุด ($P_{ET}CO_2$)

ภาพที่ 5-25 แสดงค่าที่เกี่ยวข้องกับขีดจำกัดการระบายอากาศ

อ้างอิง (Anselmi& et al., 2021)



โดยหากใช้ค่าแลคเตทในเลือดเป็นเกณฑ์จะใช้จุดที่ร่างกายมีการสะสมของแลคเตทในเลือดมากกว่า 4 mmol/ L ขึ้นเป็นเป็นตัวกำหนด (Lactate Threshold 2/ LT2)

8.1 ความสำคัญของระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิก

การรายงานค่าระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิกหรือจุดเริ่มล้าจะรายงานได้ 2 แบบคือ แบบร้อยละของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดใน 1 นาที (%VO_2max) หรือ แบบร้อยละของอัตราการเต้น

ของหัวใจสูงสุด (%MHR) ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการนำไปใช้ ดังนั้นการจะอธิบายความสำคัญของค่าระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิก นั้นจึงจำเป็นต้องยกตัวค่าที่ใช้อ้างอิงเช่น

<u>ยกตัวอย่าง</u> ให้ชาย 2 คน ที่มีส่วนสูง น้ำหนัก และอายุเท่ากัน ชายคนที่ 1 มีค่า VO_2max = 60 mL/kg/min ส่วน ชายคนที่ 2 มีค่า VO_2max = 55 mL/kg/min

ถ้าดูจากค่า VO_2max เหมือนกับว่าชายคนที่ 1 น่าจะมีสมรรถภาพทางกายที่ดีกว่า แต่เมื่อทำการทดสอบหาค่า AT พบว่าชายคนที่ 1 มีค่า AT ที่ 75 % VO2max ในขณะที่นักกีฬาคนที่ 2 มีค่า AT ที่ 85 % VO2max ดังนั้นจึงเท่ากับว่า

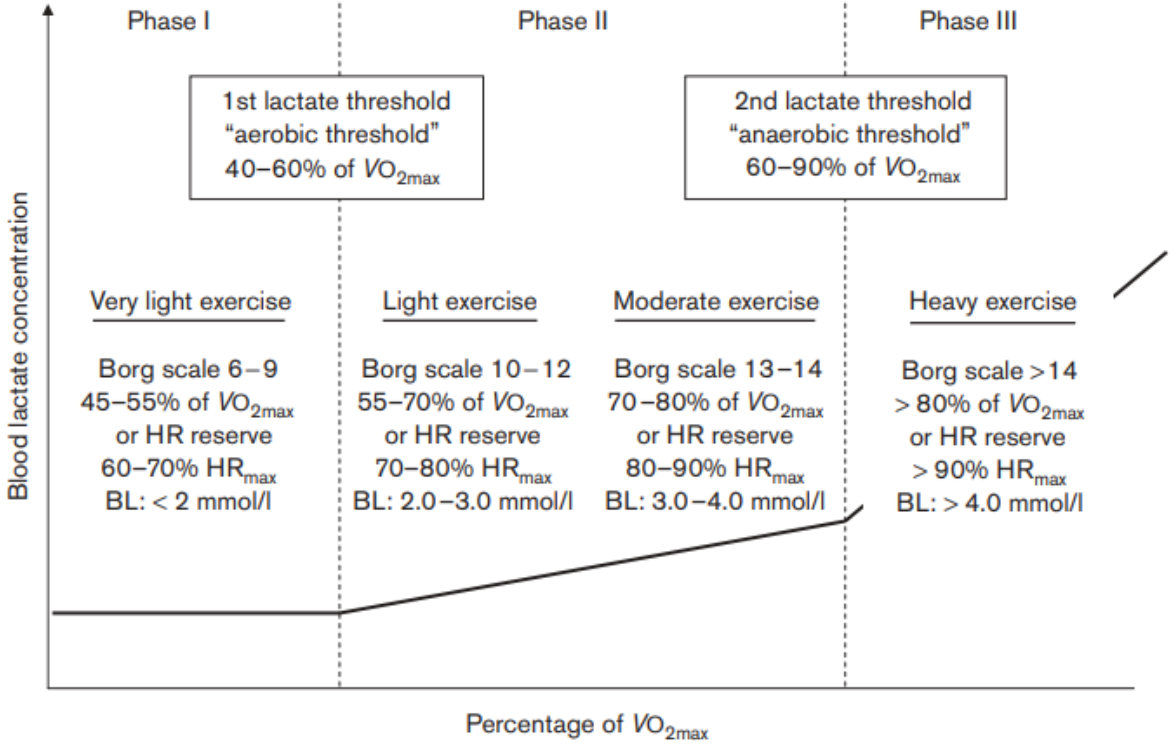
ชายคนที่ 1 มีค่า AT ที่ ร้อยละ 75 ของ VO2max	= 60 x .75 mL/kg/min
	= 45 mL/kg/min
ชายคนที่ 2 มีค่า AT ที่ ร้อยละ 80 ของ VO2max	= 55 x .85 mL/kg/min
	= 46.75 mL/kg/min

จะเห็นได้ว่าชายคนที่ 1 ทำงานที่ระดับความหนักของงานไปได้ถึงระดับหนึ่งร่างกายก็เกิดการสะสมของแลคเตทในเลือดแล้ว แต่ชายคนที่ 2 สามารถทำงานหนักไปได้มากกว่าถึงจะเกิดการสะสมของแลคเตทในเลือด

ทั้งนี้การเปรียบเทียบดังกล่าวยังสามารถเปรียบเทียบกันได้แม้จะมีการรายงานค่า AT จาก %MHR

ภาพที่ 5-26 แสดงการเกิดปรากฏการณ์และค่าต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดเกณฑ์การเกิด LT1 และ LT2

อ้างอิง (Binder et al., 2008)



The three-phase model according to Skinner *et al.* [9]: relation between blood lactate concentration (BL) and exercise intensity. HR, heart rate; VO_2, oxygen consumption; Borg scale: subjective rating of perceived exertion.

ภาพที่ 5-27 แสดงชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปของค่า Aerobic Threshold (AeT) และ Anaerobic Threshold (AT)

อ้างอิง (Binder et al., 2008)

Table 1 Threshold terms in a three-phase model of incremental exercise with a first and a second threshold of ventilatory/gas exchange, blood lactate/pH or heart rate response, ordered by the date of publication

First ('aerobic') threshold	Second ('anaerobic') threshold
Point of optimal ventilatory efficiency (PoW), Hollmann [14]	Aerobic–anaerobic threshold, Mader *et al.* [15]
Anaerobic threshold, Wasserman and McIlroy [16]; Wasserman [17]	Threshold of decompensated metabolic acidosis, Reinhard *et al.* [18]
Lactate threshold, Yoshida *et al.* [19]; Pendergast *et al.* [20]	Anaerobic threshold, Kindermann *et al.* [21]; Skinner and McLellan [9]
Aerobic threshold, Kindermann *et al.* [21]; Skinner and McLellan [9]	Onset of blood lactate accumulation, Sjödin and Jacobs [22]
Ventilatory anaerobic threshold, Orr *et al.* [23]; Simonton *et al.* [13]	Respiratory compensation point, Beaver *et al.* [24]; Wasserman *et al.* [25]
Ventilatory threshold, Reybrouck *et al.* [26]	Individual anaerobic threshold, Stegmann *et al.* [27]
Ventilatory break point, Brooks [6]	Heart rate deflection point, Conconi *et al.* [28]
Lactate break point, Brooks [6]	Second ventilatory threshold, McLellan [7]
First ventilatory threshold, McLellan [7]	Maximal lactate steady state, Heck *et al.* [29]
Gas exchange threshold, Yoshida *et al.* [30]	Terminal hyperventilation point, Simonton *et al.* [13]
First lactate turn point, Hofmann *et al.* [31]; Pokan *et al.* [3]	Ventilatory threshold 2, Ahmaidi *et al.* [32]
Change point in V_{O_2}, Zoladz *et al.* [33]	Heart rate threshold, Hofmann *et al.* [34]
Aerobic gas exchange threshold, Meyer *et al.* [35]	Heart rate turn point, Hofmann *et al.* [31]; Pokan *et al.* [36]
Aerobic lactate threshold, Meyer *et al.* [35]	Second lactate turn point, Hofmann *et al.* [31]; Pokan *et al.* [3]
	Critical lactate clearance point, Brooks [37]
	Anaerobic gas exchange threshold, Meyer *et al.* [35]
	Anaerobic lactate threshold, Meyer *et al.* [35]

9. อัตราการเผาผลาญพลังงาน (metabolic equivalent task/ METs)

หมายถึง อัตราการเผาผลาญพลังงานในขณะทำกิจกรรม เมื่อนำมาเทียบเท่ากับอัตราการเผาผลาญออกซิเจนขณะพัก ปกติร่างกายมีอัตราการเผาผลาญออกซิเจนขณะพัก อยู่ที่ 3.5 mL/ kg/ min เท่ากับการใช้พลังงานของร่างกาย 1 kcal/kg/hr เทียบเท่าการใช้พลังงาน 4.184 กิโลจูล โดยค่าที่กล่าวมาทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1 MET ซึ่งก็คือการใช้พลังงานในขณะพักในท่านั่งหรือนอนนิ่งๆ ของเรา โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ได้คือ

1 METs = (O_2) 3.5 mL / kg / min = 1 kcal / kg / hr = 4.184 kj / kg /hr

สามารถคำนวณกลับมาเป็นค่าการใช้พลังงานได้จากสมการความสัมพันธ์คือ (Ainsworth, et al., 2000)

1 kcal = 0.0175 X น้ำหนักตัว(กิโลกรัม) X เวลาที่ทำกิจกรรม(นาที) X METs

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ถ้าออกกำลังกายใช้พลังงานเท่ากับ 9 METs / นาที ชายผู้หนึ่งน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม วิ่งเป็นเวลา 30 นาที ชายผู้นี้จะใช้พลังงานเท่ากับ

จากสมการ
kcal = 0.0175 X น้ำหนักตัว(กิโลกรัม) X เวลาที่ทำกิจกรรม(นาที) X METs
kcal = 0.0175 X 70 X 30 X 9
ดังนั้นชายผู้นี้ใช้พลังงานไป = 330.75 kcal

หรือหากเรารู้ค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกายก็สามารถแปลงเป็นพลังงานได้จากการใช้ค่า METs คือ

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ชายคนหนึ่งน้ำหนักตัว 70 ก.ก. ออกกำลังกายที่ต้องใช้ออกซิเจน 2.1 L / min เป็นเวลา 30 นาทีจะมีการใช้พลังงานเป็นเท่าใด

วิธีการ

1. เปลี่ยนหน่วยการใช้พลังงานจาก L / min ไปเป็น ml / kg / min โดยการนำค่าการใช้ออกซิเจน คูณด้วย 1000 แล้วหารด้วยน้ำหนักตัว

= (2.1 x 1000) / 70

= 30 ml / kg / min

2. เปลี่ยนค่าการใช้ออกซิเจนเป็นค่า MET โดยที่ 1 MET = 3.5 ml / kg / min

30 / 3.5 = 8.57 MET

3. ชายผู้นี้ใช้พลังงาน 8.57 kcal ต่อน้ำหนักตัว 1 kg / hr ชายผู้นี้หนัก 70 kg จึงใช้พลังงานทั้งหมด

8.57 x 70 = 599.9 kcal / hr

4. ชายผู้นี้ออกกำลังกาย 30 นาที ดังนั้นจึงใช้พลังงานทั้งสิ้น

599.99/ 2 = 299.99 kcal / hr

ทั้งนี้อาจใช้สูตรการหาพลังงานจากภาพที่ 5-27 ก็ได้ซึ่งจะได้ตัวเลขที่ใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 5-28 แสดงการหาค่าการใช้พลังงานของร่างกายจากค่า VO_2max และ METs

แหล่งที่มา https://csep.ca/csep-certification/csep-cpt-scope-of-practice/

$$\text{kcal} = \frac{\text{METs x 3.5 x body mass (kg)}}{200} * t \text{ (min)}$$

or…

$$\text{kcal} = \frac{VO_2 \text{ (mL·kg}^{-1}\text{·min}^{-1}\text{) x body mass (kg)}}{200} * t \text{ (min)}$$

10. ค่าเศษส่วนลมหายใจและค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ (respiratory quotient/ RQ/ Respiratory exchange ratio/ RER)

10.1 ค่าเศษส่วนลมหายใจ (respiratory quotient/ RQ)

ค่าเศษส่วนลมหายใจเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (VCO_2)และปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไป (VO_2) โดยมีสมการคือ VCO_2 / VO_2 ค่า R.Q. สะท้อนการหายใจระดับเซลล์และบอกแหล่งที่มาของพลังงานภายในร่างกาย เนื่องจากการเผาผลาญสารอาหารต่างชนิดกันจะให้ค่าที่แตกต่างกันคือ RQ ของคาร์โบไฮเดรตจะเท่ากับ 1 โปรตีนเท่ากับ 0.8 และไขมัน เท่ากับ 0.7 โดยสามารถอธิบายได้จากสมการ

1. สมการเคมีของการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (กลูโคส)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อร่างกายนำคาร์โบไฮเดรต (กลูโคส) จะมีโมเลกุลของออกซิเจนตั้งต้นในกระบวนการเผาผลาญ 6 โมเลกุล และร่างกายจะผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุลเช่นกัน ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (VCO_2)และปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไป (VO_2) จะเท่ากับ 6/6 คือ = 1 พอดี และการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญกูลโคส 1 ลิตรจะให้พลังงาน 5.05 กิโลแคลอรี่ (ภาพที่ 5–29)

2. สมการเคมีของการเผาผลาญการเผาผลาญไขมัน (ไตรโอเลอิน)

$$C_{57}H_{104}O_6 + 80O_2 \longrightarrow 57CO_2 + 52H_2O + Energy$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อร่างกายนำคาร์โบไฮเดรต (กลูโคส) จะมีโมเลกุลของออกซิเจนตั้งต้นในกระบวนการเผาผลาญ 80 โมเลกุล และร่างกายจะผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ 57 โมเลกุลเช่นกัน ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น (VCO_2)และปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไป (VO_2) จะเท่ากับ 57/80 คือ = 0.71 พอดี และการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญกูลโคส 1 ลิตรจะให้พลังงาน 4.74 กิโลแคลอรี่ (ภาพที่ 5–29)

3. ในส่วนของโปรตีนนั้นแม้จะมีค่า RQ = 0.8 การเผาผลาญโปรตีน แต่การหา ค่า R.Q. ของโปรตีน ทำได้ยากกว่าของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน เพราะโปรตีนไม่ถูกเผาผลาญอย่างสมบูรณ์ ซึ่งโดยจะมีค่าเท่ากับ 0.8 และการใช้ออกซิเจน O_2 ในการเผาผลาญกูลโคส 1 ลิตรจะให้พลังงาน 4.74 กิโลแคลอรี่ (ภาพที่ 5–29)

หากค่าเศษส่วนลมหายใจ (RQ = 1) หมายถึงว่าในขณะนั้นร่างกายมีการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตเกือบร้อยละ 100 และหาก = .07 นั้นหมายความว่าร่างกายกำลังเผาผลาญไขมันเกือบทั้งหมด โดยพบว่า RQ ที่ 0.69–0.73 เป็นช่วงที่ร่างกายเผาผลาญไขมันมากที่สุด ส่วนในขณะพักจะพบว่าค่า RQ = .082 ซึ่งไม่ได้หมายความว่าร่างกายกำลังเผาผลาญโปรตีน แต่ตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ร่างกายใช้ในขณะพักมาจากไขมัน และที่เหลือมาจากคาร์โบไฮเดรต (Melzer, 2011)

ภาพที่ 5–29 แสดงค่าเศษส่วนลมหายใจและพลังงานที่ร่างกายได้รับจากการสลายสารอาหารประเภทต่าง ๆ

อ้างอิง (Melzer, 2011)

Substrate utilization during resting state.

Food	Complete oxidation of food in bomb calorimeter (kcal/g)	Complete oxidation of absorbed or stored fuel in body[b] (kcal/g)	Physiological value of consumed food[c] (kcal/g)	O_2 (kcal/l)	CO_2 (kcal/l)	RQ[a] (V_{CO_2}/V_{O_2})
Carbohydrate	4.1	4.1	4	5.05	5.05	1.00
Protein	5.4	4.2	4	4.46	5.57	0.80
Fat	9.3	9.3	9	4.74	6.67	0.71[d]
Alcohol	7.1	7.1	7	4.86	7.25	0.67
Average				4.83	5.89	0.82

Adapted from Stipanuk HM.[4]

[a] RQ = Respiratory quotient = volume of CO_2 produced/volume of O_2 consumed.

[b] Complete oxidation of food component in bomb calorimeter. N is excreted as urea, which has an energy content of 5.4 kcal/g N. All energy in urine is attributed to N excretion in the calculation of fuel values, and the correction factor is 7.9 kcal/kg N, or 1.25 kcal/g protein.

[c] Physiological fuel value of consumed food adjusted for digestibility (incomplete absorption).

[d] RQ = 0.71 for oleic acid (RQ for fat ranges between 0.69 and 0.73, depending on the oxidized fatty-acid' carbon chain length).

10.2 ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ (respiratory exchange ratio/ RER)

ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ เป็นอัตราส่วนของลมหายใจเช่นเดียวกันกับค่าเศษส่วนลมหายใจ (RQ) ทั้ง 2 ค่ามีความเหมือนกันตรงที่แสดงอัตราส่วนระหว่างออกซิเจนที่ร่างกายใช้ไปและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายผลิตขึ้น ต่างกันตรงที่ค่าเศษส่วนลมหายใจ มีวิธีการที่ยุ่งยากเนื่องจากต้องวัดโดยการเจาะเลือดโดยตรง ส่วนค่า RER เป็นการวัดจากการแลกเปลี่ยนลมหายใจที่ปาก (Grandl et al., 2018) ซึ่งเป็นวิธีการมาตราฐานในเครื่องวิเคราะห์ลมหายใจ (metabolic and gas analyzer) ใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานของร่างกายในการทำกิจกรรมต่าง ๆ นอกจากนั้นค่า RER ยังสามารถมีค่าได้มากกว่า 1.0 ในขณะที่ค่า RQ ไม่เกิน 1.0 (Patel et al.,2023)

ภาพที่ 5-30 แสดงตัวอย่างใบวิเคราะห์การทดสอบการใช้พลังงานและวิเคราะห์ลมหายใจที่แสดงค่าการใช้พลังงานจากไขมันและคาร์โบไฮเดรตและ RER

แหล่งที่มา ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

STAGE AVERAGES

Name: poonsawat, jeerapong Age: 21 Height: 170 cm Weight: 57.0 kgs Gender: Male Date: 12/7/2023 11:04:27 AM Test ID: CV-1054-000036

Stage	Time	HR	Incline	Speed	VE/VO2	VE/VCO2	RER	% CHO	% Fat	CHO (grams/min)	Fat (grams/min)	CHO (Cals/min)	Fat (Cals/min)	Cals/min	Cals/hr
1	0:45	113	0.0	6.0	31.51	35.07	0.90	67.7%	32.3%	0.6	0.1	2.7	1.3	4.0	240
2	1:45	124	0.0	6.5	27.68	30.56	0.92	72.8%	27.2%	1.0	0.2	4.1	1.5	5.6	337
3	2:45	125	0.0	7.0	26.76	29.59	0.91	70.1%	29.9%	1.1	0.2	4.5	1.9	6.5	388
4	3:45	142	0.0	7.5	27.79	28.67	0.97	88.9%	11.1%	1.7	0.1	7.0	0.9	7.9	471
5	4:45	140	0.0	8.0	27.01	27.15	0.99	97.0%	3.0%	2.0	0.0	8.2	0.3	8.5	509
6	6:00	151	0.0	8.5	27.01	27.42	0.99	97.3%	2.7%	2.5	0.0	10.1	0.3	10.4	623
7	7:00	156	0.0	9.0	27.25	27.68	0.98	94.1%	5.9%	2.4	0.1	9.9	0.6	10.5	631
8	8:00	163	0.0	9.5	28.16	27.69	1.00	100.0%	0.0%	2.6	0.0	10.8	0.0	10.8	646
9	8:45	167	0.0	10.0	26.92	26.95	0.99	97.0%	3.0%	2.8	0.0	11.6	0.4	11.9	716
10	9:45	171	0.0	10.5	28.53	27.67	1.02	100.0%	0.0%	2.9	0.0	11.9	0.0	11.9	716
11	11:00	177	0.0	11.0	30.76	27.80	1.11	100.0%	0.0%	2.9	0.0	11.8	0.0	11.8	708
12	12:00	180	0.0	11.5	30.43	27.62	1.09	100.0%	0.0%	3.2	0.0	13.2	0.0	13.2	794
13	13:00	183	0.0	12.0	32.42	28.23	1.13	100.0%	0.0%	3.4	0.0	13.8	0.0	13.8	827
14	14:00	186	0.0	12.5	32.90	28.78	1.15	100.0%	0.0%	3.4	0.0	14.0	0.0	14.0	842
15	14:30	188	0.0	13.0	33.93	28.95	1.14	100.0%	0.0%	3.7	0.0	15.1	0.0	15.1	906

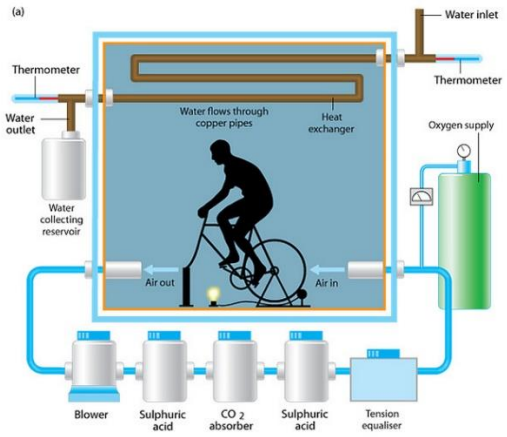
11. การวัดค่าการใช้พลังงานในร่างกาย

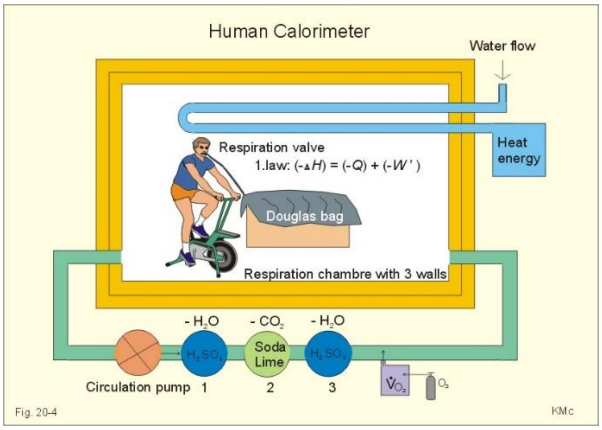
การวัดค่าการใช้พลังงานในร่างกายคือการวัดค่าพลังงานที่ร่างกายสามารถผลิตได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ

11.1 การวัดทางตรง (direct calorimetry) เป็นการวัดจากการผลิตความร้อน (heat product) ของร่างกาย วิธีการนี้มีความยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือหลายประเภท จำเป็นจะต้องนำผู้ที่ได้รับการทดสอบมาอยู่ในห้องทดลองขนาดใหญ่ที่สามารถควบคุมตัวแปรสภาพแวดล้อมทุกอย่างได้แล้วจึงวัดความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในห้องทดลองตามการทำกิจกรรมประเภทต่าง ๆ

11.2 การวัดทางอ้อม (indirect calorimeter) สามารถวัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (metabolic and gas analyzer) ซึ่งจะเป็นการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยค่าการใช้ออกซิเจน (oxygen consumption) และการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide production) (Mtaweh& et al., 2018) การวัดด้วยวิธีการนี้สามารถคำนวณกลับมาเป็นการใช้พลังงานในขณะทำกิจกรรม และสามารถช่วยประมาณความต้องการใช้พลังงานใน 1 วัน (REE) (Patkova et al., 2018; Fernández-Verdejo et al., 2018) จากสมการ REE = (kcal/d)= (VO2 x 3.94) + (VCO2 x 1.11) x 1440

ภาพที่ 5-31 แสดงการวัดค่าการใช้พลังงานของร่างกายโดยตรง





แหล่งที่มารูปภาพ

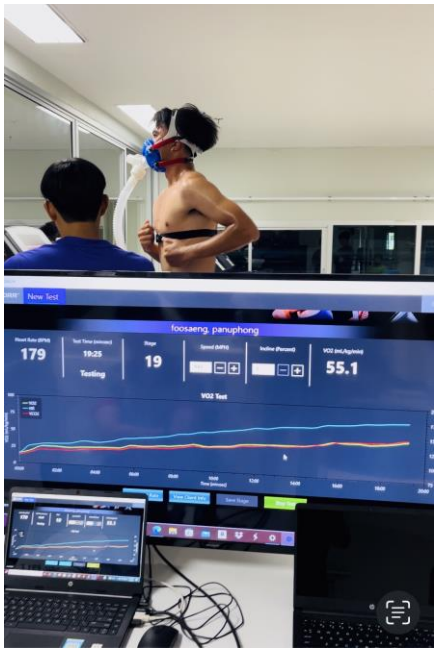
http://www.flickr.com/photos/futsalinspire/9031495215/

แหล่งที่มารูปภาพ

http://www.zuniv.net/physiology/book/chapter20.html

ภาพที่ 5-32 แสดงการทดสอบการใช้พลังงานของร่างกายด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

แหล่งที่มา ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



12. แหล่งที่มาของพลังงานในร่างกาย

พลังงานในร่างกายมนุษย์จะมาจากแหล่งพลังงาน 3 แหล่ง จากอาหารที่เรารับประทานเข้าไป โดยจะเก็บไว้ในรูปแบบต่าง ๆ ตามรายละเอียดในภาพที่ 5-33

ภาพที่ 5-33 แสดงที่แหล่งพลังงานภายในร่างกาย

อ้างอิง (Telford et al., 2017)

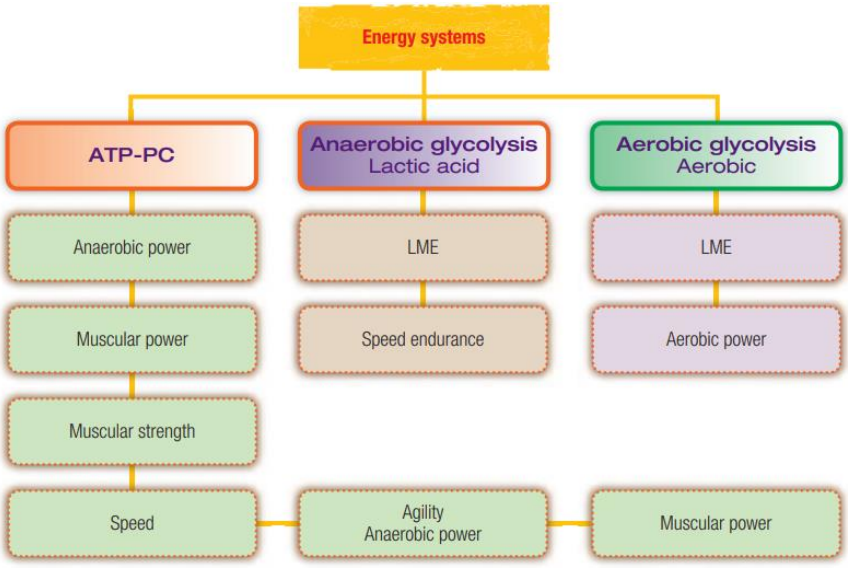
Food fuel	Stored as	Site
Carbohydrate	Glucose Glycogen Excess as adipose tissue	Blood Muscle and liver Around the body
Fat	Fatty acids Triglycerides Adipose tissue	Blood Muscle Around the body
Protein	Muscle Amino acids	Around the body

13. ความสัมพันธ์ของระบบการใช้พลังงานและสมรรถภาพทางกาย

ระบบการใช้พลังงานจะมีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพทางกายในแต่ละด้านโดยตรง ดังนั้นการฝึกสมรรถภาพทางกายให้ได้ผลดีจึงต้องฝึกระบบพลังงานที่สัมพันธ์ไปพร้อมกันด้วยรายละเอียดตามภาพที่ 5-34

ภาพที่ 5-34 แสดงที่แหล่งพลังงานภายในร่างกาย

อ้างอิงรูปภาพ (Telford et al., 2017)



หมายเหตุ LME คือ Locl Muscular Endurance หรือ Muscular Endurance

สรุป

ร่างกายได้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่อยู่ในอาหารประเภทต่าง ๆ โดยมีกลไกการใช้พลังงานที่แยกเป็น 2 ประเภท 3 ระบบ และแม้ในบางระบบจะสามารถให้พลังงานได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลาญเพื่อให้เกิดพลังงาน แต่ออกซิเจนยังคงเป็นสิ่งที่มีบทบาทมากที่สุดในการก่อให้เกิดพลังงานภายในร่างกาย อีกทั้งยังเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของร่างกายได้ เราสามารถวัดค่าการใช้พลังงานภายในร่างกายได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม และสามารถหาค่าการใช้พลังงานจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ในขณะที่ร่างกายทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ และแหล่งพลังงานแต่ละแหล่งและระบบพลังงานแต่ละระบบก็มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพทางกายที่แตกต่างกันไป

งานวิจัยของผู้แต่ง

อิศร ธุระยศ, มณินทร รักษ์บำรุง, พิเชษฐ์ ชัยเลิศ, กฤษดา ตามประดิษฐ์ และ คมศักดิ์ พินธะ. (2568). ผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกหนักสลับเบาความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นสูงมาก การฝึกแบบเพิ่มความหนักของงาน ที่มีต่อร้อยละไขมัน การเผาผลาญไขมัน และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย . วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและนวัตกรรมสุขภาพ กลุ่มมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งประเทศไทย, 4(4), 119–132.

บรรณานุกรม

ประทุม ม่วงมี. (2527). รากฐานทางสรีรวิทยา. กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์บูรพาสาส์น

Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. Sports medicine, 35(10), 865–898.

Abboud, G.J., Greer, B.K., Campbell, S.C.& Panton, L.B. (2013). Effects of load–volume on EPOC after acute bouts of resistance training in resistance–trained men. J Strength Cond Res 27: 1936–1941, 2013

Ainsworth, B.E., Haskell, W.L., Whitt, M.C.&et al. 2000. Compendium of Physical Activities: An update of activity codes and MET intensities. Med Sci Sports Exerc 2000; 32 (Suppl): S498–S516.

Amann, M., Subudhi, A. W.,& Foster, C. (2006). Predictive validity of ventilatory and lactate thresholds for cycling time trial performance. Scand. J. Med. Sci. Sports 16, 27–34.

Anselmi, F., Cavigli, L., Pagliaro, A.& et al. (2021). The importance of ventilatory thresholds to define aerobic exercise intensity in cardiac patients and healthy subjects. Scand J Med Sci Sports. 31(9): 1796–1808.

Astorino, T.A. (2009). Alterations in VO2max and the VO2 plateau with manipulation of sampling interval. Clinical physiology and functional imaging, 2009. 29(1): p. 60–67.

Astrand, P.O., Rodahl, K.& Dahl, H.A.S.S.B. (2003). Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. 4th ed. Human Kinetics; 2003.

Auerbach, P. (2007). Wilderness Medicine. 7th Edition. Mosby Elsevier.

Betts, J.A.& Williams, C. (2010). Short–term recovery from prolonged exercise: exploring the potential for protein ingestion to accentuate the benefits of carbohydrate supplements. Sports Med. 2010; 40(11): 941–959

Billat, V.L., 2001a. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle and long distance running. Part I: Aerobic interval training. Sports Med. 31 (1), 13–31.

Billat, V.L., 2001b. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle and long distance running. Part II: Anaerobic interval training. Sports Med. 31 (12), 75–90.

Binder, R.K., Wonisch, M., Corra, U.,& et al. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil. 15, 726–734.

Bonora, M., Patergnani, S., Rimessi, A& et al. (2012). ATP synthesis and storage. Purinergic Signal. 8(3): 343–57.

Brooks, G.A., Fahey, T.D.& and Baldwin, K.M. (2005). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications. New York: McGraw–Hill.

Brooks, G.A. (2000). Intra– and extra–cellular lactate shuttles. Med Sci Sports Exerc. 32(4): 790–9

Brooks GA (2018). The science and translation of lactate shuttle theory. Cell Metab 27, 757–785.

Burke, L.M. (2007). Middle- and long-distance running. In: Practical Sports Nutrition. Human Kinetics Australia, 2007.

Byrne, N.M., Hills, A.P.& Hunter, G.R. (2005). Metabolic equivalent: one size does not fit all. J Appl Physiol. 99: 1112–1119.

Cairns SP, Lindinger MI. Lactic acidosis: implications for human exercise performance. Eur J Appl Physiol. 2025 Jul;125(7):1761–1795. doi: 10.1007/s00421–025–05750–0.

Cerezuela–Espejo, V., Courel–Ibáñez, J., Morán–Navarro, R.& et al. (2018). The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. Front Physiol. 25; 9: 1320.

Cohen–Solal, A.& Gourgon, R. (1991). Assessment of exercise tolerance in chronic congestive heart failure. Am J Cardiol 1991;67:36C–40C.

Coelho–Ravagnani, C. d. F., Lemos Melo, F.C., Ravagnani, F.C.P& et al. (2013). Estimation of the metabolic equivalent (MET) of an exercise protocol based on indirect calorimetry. Revista Brasileira de Medicina do Esporte. 19(2): 134–138.

Del Coso, J., Hamouti, N., Aguado–Jimenez, R.& Mora–Rodriguez, R. (2009). Respiratory compensation and blood pH regulation during variable intensity exercise in trained versus untrained subjects. Eur. J. Appl. Physiol. 107, 83–93.

de Sousa, N.M.F., Bertucci, D.R., de Sant'Ana, G.M& et al. (2021). Incremental and decremental cardiopulmonary exercise testing protocols produce similar maximum oxygen uptake in athletes. Sci Rep 11, 13118.

Di Paolo M, Di Gaeta A, Indino EL, Mordenti M, Palange P. Pancreatic cystosis in cystic fibrosis: Sometimes a bike ride can help you decide. Respir Med Case Rep. 2020 Feb 5;29:101018. doi: 10.1016/j.rmcr.2020.101018.

Drust, B., Atkinson, G& Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. Sports Med 37: 783–805.

Edvardsen, E., Hem, E.& Anderssen, S.A. (2014). End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: a cross–sectional study. PLoS One. 9(1): e85276.

Eserhaut DA, DeLeo JM, Provost JA, Ackerman KE and Fry AC (2025) Monitoring skeletal muscle oxygen saturation kinetics during graded exercise testing in NCAA division I female rowers. Front. Physiol. 16:1538465. doi: 10.3389/fphys.2025.1538465

FAO. Food and nutrition technical report series. Human energy requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Rome; 2004.

Ferguson BS, Rogatzki MJ, Goodwin ML, Kane DA, Rightmire Z & Gladden LB (2018). Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. Eur J Appl Physiol 118, 691–728.

Fernández–Verdejo, R., Bajpeyi, S., Ravussin, E.& Galgani, J.E. (2018). Metabolic flexibility to lipid availability during exercise is enhanced in individuals with high insulin sensitivity. Am J Physiol Endocrinol Metab. 315(4): E715–E722.

Foureaux, G., de Castro Pinto, K. M., Dâmaso, A. (2006). Effects of excess post–exercise oxygen Consumption and resting metabolic rate in energetic cost. Rev Bras Med Esporte. 12(6). 351e–355e.

Fox, E.L., Matthews, D.K. (1981). The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, Philadelphia: Saunders Colleges Publishing.

Gallagher, S.A., Hackett, P.H. (2004). High–altitude illness. Emerg Med Clin North Am. 22(2): 329–55.

Gaesser, G.A.& Poole, D.C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. Exercise and Sport Sciences Reviews. 24: 35–70.

Ghashghaeinia, M., Köberle, Martin., Mrowietz, U.& Bernhardt, I. (2019): Proliferating tumor cells mimick glucose metabolism of mature human erythrocytes, Cell Cycle. DOI: 10.1080/15384101.2019.1618125

Goulding RP, Burnley M, Wüst RCI. How Priming Exercise Affects Oxygen Uptake Kinetics: From Underpinning Mechanisms to Endurance Performance. Sports Med. 2023 May;53(5):

959–976. doi: 10.1007/s40279–023–01832–1.

Granchi, C., Bertini, S., Macchia, M.& Minutolo, F. (2010). Inhibitors of lactate dehydrogenase isoforms and their therapeutic potentials. Curr Med Chem.17(7): 672–97.

Grandl, G., Straub, L., Rudigier, C. & et al. (2018). Short–term feeding of a ketogenic diet induces more severe hepatic insulin resistance than an obesogenic high–fat diet. J Physiol. 596(19): 4597–4609.

Greer, B.K., O'Brien, J., Hornbuckle, L.M.& Panton, L.B. (2021). EPOC Comparison Between Resistance Training and High–Intensity Interval Training in Aerobically Fit Women. Int J Exerc Sci. 14(2): 1027–1035.

Guyton, A.& Hall, J.E. (2011). "Textbook of Medical Physiology, 12th Ed". pp. 1035–1036.

Hagerman, F.C. (1984). Applied physiology of rowing. Sports Med. 1 (4): 303–26.

Hargreaves, M., Hawley, J.A.& Jeukendrup, A. (2004). Pre–exercise carbohydrate and fat ingestion: effects on metabolism and performance. J Sports Sci.22(1): 31–38.

Harris, R.C., Edwards, R.H., Hultman, E.& et al. (1976). The time course of phosphoryl creatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. Pflugers Arch. 367: 137–42.

Haskell, W.L., Lee, I.M., Pate, R.R.& et al. (2007). Physical activity and public health: updated recommedation for adults from the American College of Exercise. Med Sci Sports Exerc. 39: 1423–34.

Hawkins, M.N., Raven, P.B., Snell, P.G. (2007). Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. Med Sci Sports Exerc. 2007 Jan;39(1):103–7.

Heyward, V. (1998). "Advance Fitness Assessment & Exercise Prescription, 3rd Ed". p. 48.

Hill, A.V., Lupton, H. (1923). Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. Quart J Med. 16: 135–71.

Hively, L.M. (2022). Treatment of Epstein–Barr Virus Chronic Fatigue Mitochondrial Dysfunction and Insomnia. Biomed J Sci & Tech Res 42(5)–2022. BJSTR. MS.ID.006806.

Ichikawa, Y., Maeda, T., Takahashi, T.& et al. (2020). Changes in oxygen uptake kinetics after exercisecaused by differences in loading pattern and exerciseintensity. ESC Heart Failure 7: 1109–1117

Inglis EC, Iannetta D, Murias JM. Association between VO_2 kinetics and VO_2max in groups differing in fitness status. Eur J Appl Physiol, 2021. 10.1007/s00421–021–04623–6.

Jones AM, Grassi B, Christensen PM, Krustrup P, Bangsbo J, Poole DC. Slow component of VO2 kinetics: mechanistic bases and practical applications. Med Sci Sports Exerc. 2011

Nov;43(11):2046–62. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821fcfc1.

Klein, S., Peters, E.J., Holland, O.B.& Wolfe, R.R. (1989). Effect of short– and long–term betaadrenergic blockade on lipolysis during fasting in humans. Am J Physiol; 257:E65e73.

Koike, A., Itoh, H., Oohara, R& et al. (2004). Cerebral oxygenation during exercise in cardiac patients. Chest. 125: 182–190.

Koppo K, Bouckaert J, Jones AM. Effects of training status and exercise intensity on phase II VO2 kinetics. Med Sci Sports Exerc. 2004 Feb;36(2):225–32. doi: 10.1249/01.MSS. 0000113473.48220.20.

Kwan, M., Woo, J.& Kwok, T. (2004). The standard oxygen consumption value equivalent to one metabolic equivalent (3.5 ml/min/kg) is not appropriate for elderly people. Int J Food Sci Nutr. 2004 May;55(3):179–82.

Lakomy, H.A. (2000). Physiology and biochemistry of sprinting. In: Hawley JA, editor. Running: handbook of sports medicine and science. Oxford: Blackwell Science; 2000. p. 1–13.

Loftin, M., L. Heusel, M. Bonis, L. Carlisle and M. Sothern. (2005). Comparison of oxygen uptake kinetics and oxygen deficit in severely overweight and normal weight adolescent females. Journal of Sports Science and Medicine. 4: 430–436.

Lucía, A., Rabadán, M., Hoyos, J.&et al. (2006). Frequency of the VO2max plateau phenomenon in world–class cyclists. Int J Sports Med. 27(12): 984–92.

McArdle, W. D., Katch, F.I.& Katch, V. L. (2004). Exercise physiology 5th edition. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Mitchell, Y.M.& Blomqvist G. Maximal oxygen uptake. (1971). N Engl J Med 1971;284:1018–22.

Minakami, S.& Yoshikawa, H. (1966). Studies on erythrocyte glycolysis. II. Free energy changes and rate limitings steps in erythrocyte glycolysis. J Biochem. 59(2): 139–44.

Melzer, K. (2011). Carbohydrate and fat utilization during rest and physical activity. e–SPEN, the European e–Journal of Clinical Nutrition and Metabolism. 6(2): e45–e52.

Moore JM, Rossiter HB. The relationship between the time constant of V˙O2 kinetics and V˙O2max is hyperbolic. Eur J Appl Physiol. 2021 Sep;121(9):2653–2654. doi: 10.1007/s00421–021–04724–2.

Mordes, J.P& Rossini, A.A. (1999). Lactic acidosis. In: Irwin and Rippe's Intensive Care Medicine 4th edition: Philadelphia: Lippincott–Raven.

Murias JM, Spencer MD, Kowalchuk JM, Paterson DH. Influence of phase I duration on phase II

VO2 kinetics parameter estimates in older and young adults. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2011 Jul;301(1):R218–24. doi: 10.1152/ajpregu.00060.2011.

Niemeyer M, Knaier R, Beneke R. The Oxygen Uptake Plateau–A Critical Review of the Frequently Misunderstood Phenomenon. Sports Med. 2021 Sep;51(9):1815–1834. doi: 10.1007/s40279–021–01471–4.

Noakes, T., 2003. Lore of Running. Discover the Science and Spirit of Running, 4th edition. Human Kinetics, Champaign, IL

Pallarés, J.G., Moran–Navarro, R., Fernando Ortega, J.& et al. (2016). Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well–trained cyclists. PLoS ONE 11:e0163389.

Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G& et al. (2012). High–Intensity Interval Resistance Training (HIRT) influences resting energy expenditure and respiratory ratio in non–dieting individuals. J Transl Med. 24(10): 237.

Patel, H., Kerndt, C.C., Bhardwaj, A. (2023). Physiology, Respiratory Quotient. [Updated 2023 Feb 13]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan–. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531494/

Patkova, A., Joskova, V., Havel, E.& et al. (2018). Prognostic value of respiratory quotients in severe polytrauma patients with nutritional support. Nutrition. 49: 90–95.

Peric, R., Nikolovski, Z., Meucci, M. & et al. (2022). Systematic Review and Meta–Analysis on the Association and Differences between Aerobic Threshold and Point of Optimal Fat Oxidation. Int J Environ Res Public Health. 2022 May 26;19(11):6479.

Poole DC, Rossiter HB, Brooks GA, Gladden LB. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. J Physiol. 2021 Feb;599(3):737–767. doi: 10.1113/JP279963.

Poole DC, Jones AM. Measurement of the maximum oxygen uptake V̇O2max: V̇O2peak is no longer acceptable. J Appl Physiol. 2017;122(4):997–1002. doi: 10.1152/japplphysiol.01063.2016.

Poole, D. C., Wilkerson, D. P. & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O2 uptake during ramp exercise tests. Eur. J. Appl. Physiol. 102, 403–410.

Popson MS, Dimri M, Borger J. Biochemistry, Heat and Calories. 2023 Jun 12. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan–. PMID: 30855878.

Poul–Erik Paulev. (2000). Textbook in Medical Physiology And Pathophysiology : Essentials and clinical problems. Copenhagen Medical Publishers.

Puleo, J.& Milroy, P. (2019). Running Anatomy (2nd edition). Champaign, IL: Human Kinetics. 29

Reinpõld K& Rannama I. Oxygen Uptake and Bilaterally Measured Vastus Lateralis Muscle Oxygen Desaturation Kinetics in Well-Trained Endurance Cyclists. J Funct Morphol Kinesiol. 2023 May 13;8(2):64. doi: 10.3390/jfmk8020064.

Reuveny R, Luboshitz J, Wilkerson D, Bar-Dayan A, DiMenna FJ, Jones AM, Segel MJ. Oxygen uptake kinetics during exercise reveal central and peripheral limitation in patients with iliofemoral venous obstruction. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord. 2022 May;10(3): 697-704.e4. doi: 10.1016/j.jvsv.2021.12.006.

Reybrouck, T., Vinckx, J. and Gewillig, M. (2005). Assessment of oxygen deficit during exercise in obese children and adolescents. Pediatric Exercise Science. 17: 291-300.

Rogers B, Giles D, Draper N, Hoos O and Gronwald T (2021) A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability. Front. Physiol. 11:596567. doi: 10.3389/fphys.2020.596567

Rocha P. S.& et al. (2019). Physiological Demands in Sports Practice. In: The Sports Medicine Physician: Springer

Romijn, J.A., Coyle, E.F., Sidossis, L.S.& et al. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. Am J Physiol 265: E380e91.

Rossiter, H.B., Kowalchuk, J.M.& Whipp, B.J. (2006). A test to establish maximum O2 uptake Despite no plateau in the O2 uptake response to ramp incremental exercise. J Appl Physiol, 2006. 100: p. 764-770.

Sacks, D.B. (2006). Carbohydrates. In: Tietz Textbook of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics 4th edition. St. Louis: Elsevier.

Sahlin, K. (2014). Muscle energetics during explosive activities and potential effects of nutrition and training. Sports Med. 44 Suppl 2(Suppl 2): S167-73.

Sietsema, K.E., Ben-Dov, I., Zhang, Y.Y.& et al., (1994). Dynamics of oxygen uptake for submaximal exercise and recovery in patients with chronic heart failure. Chest 105: 1693.

Sousa A, Borrani F, Rodríguez FA and Millet GP (2017) Oxygen Uptake Kinetics Is Slower in Swimming Than Arm Cranking and Cycling during Heavy Intensity. Front. Physiol. 8:639. doi: 10.3389/fphys.2017.00639

Stöggl, T.& Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high-volume training. Front. Physiol. 5:33.

Telford, A., Malpeli, R., Whittle, R.& et al., (2017). Nelson physical education VCE units 1 & 2. South Melbourne, Vic. : Nelson Cengage Learning.

Törnroth-Horsefield, S.& Neutze, R. (2008). Opening and closing the metabolite gate. Proc Natl Acad Sci U S A. 105(50): 19565–19566.

Tran, D. (2018). Cardiopulmonary Exercise Testing. Methods Mol Biol. 1735: 285–295.

Taylor, H.L., Buskirk, E.& Henschel, A. (1955) Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J Appl Physiol. 8: 73–80.

Wasserman, K., Hansen, E.J., Sue, Y.D., Whipp, J.B.& Casuburi, R. (1994) . Principle of Exercise Testing and Interpretation . 2nd ed. Lea & Febiger., Philadelphia.

Wasserman , K., Whipp, B. J., Koyal, S. N., & Beaver, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. Journal of Applied Physiology, 35: 236–243.

Wilmore, J.H.& Costill, D.L. (2004). Physiology of sport and exercise. 3rd ed. Human Kinetics; 2004

Whipp, B.J. (1994). The slow component of O2 uptake kinetics during heavy exercise. Medicine and Science in Sports and Exercise. 26: 1319–1326.

Whipp, B.J., Ward,S.A., Lamarra, N.& et al., (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. Journal of Applied Physiology 52,

Yudkin, J.& Cohen, R.D. (1975). The contribution of the kidney to the removal of lactic acid load under normal and acidotic conditions in the conscious rat. Clin Sci Mol Med; 48: 121–31.

บทที่ 6

อัตราการเต้นของหัวใจและการประยุกต์สำหรับสมรรถภาพทางกาย

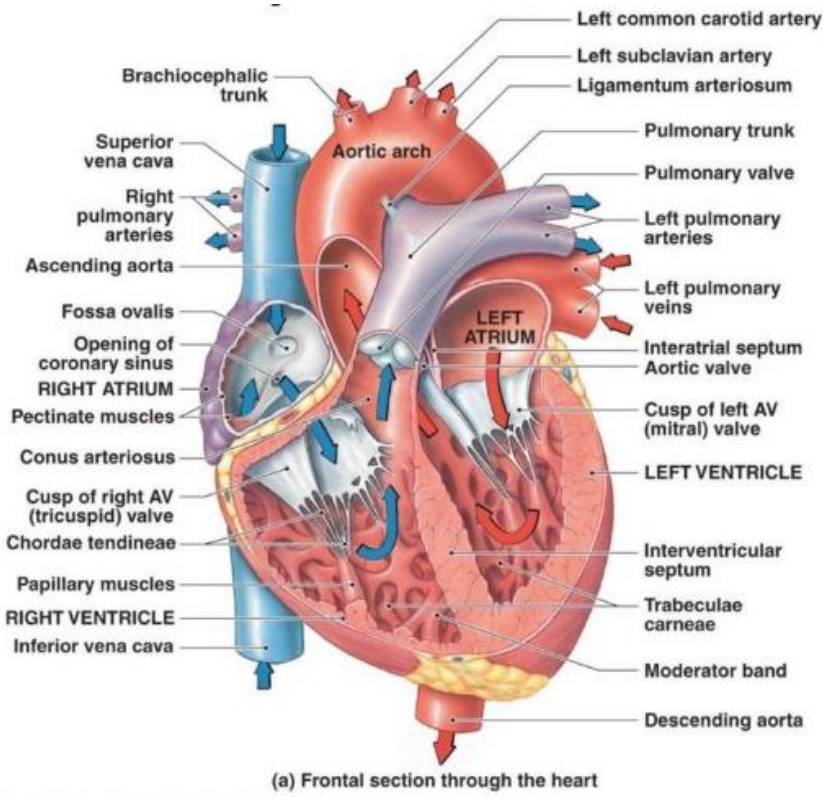
Heart Rate and Application for Physical Fitness

หากใช้ค่าประมาณการที่ว่า มนุษย์มีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 80 ปี และให้ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจตลอดทั้งวันอยู่ที่ 80 ครั้งต่อนาที นั่นหมายความว่า ตลอดช่วงชีวิตของคนเรา หัวใจจะทำงานโดยการบีบตัว 3,363,840,000 ครั้ง (สามพันสามร้อยหกสิบสามล้าน แปดแสน สี่หมื่น ครั้ง) และตลอดช่วงเวลา 80 ปีของอายุเฉลี่ยที่ว่า หัวใจจะไม่สามารถหยุดการทำงานได้แม้แต่ครั้งเดียว

หัวใจ เป็นคำผสมที่เกิดจากคำไทยแท้ 2 คำคือคำว่า หัว และคำว่า ใจ ในภาษาอังกฤษเขียนว่า Heart สิ่งมีชีวิตที่มีวิวัฒนาการระดับสูงทุกชนิด จะมีหัวใจซึ่งทำหน้าที่ส่งเลือดไปยังหลอดเลือดเพื่อส่งต่อไปยังทุกส่วนทั่วร่างกาย (Taber& Venes, 2009) นอกจากนั้นยังมีคำว่า Cardiac ซึ่งมาจากคำว่า kardia ในภาษากรีก ที่หมายถึงหัวใจและถูกใช้อย่างแพร่หลายเมื่อต้องการสื่อถึงหัวใจหรือการทำงานของหัวใจ

ภาพที่ 6-1 แสดงกายวิภาคศาสตร์ของหัวใจมนุษย์

แหล่งที่มา https://www.pinterest.com/pin/850476710868586784/



(a) Frontal section through the heart

1. สรีรวิทยาเบื้องต้นของหัวใจ

โดยทั่วไปแล้วประมาณการกันว่าหัวใจของมนุษย์แต่ละคนมีขนาดเท่ากับกำปั้นของแต่ละคน มีตำแหน่งอยู่ระหว่างปอด บริเวณช่องกลางหน้าอก (Moore et al., 2009) และเป็นส่วนของระบบไหลเวียนโลหิต (cardiovascular system) ซึ่งประกอบไปด้วย หัวใจและหลอดเลือด (blood vessels)

หัวใจมนุษย์มีทั้งหมด 4 ห้อง (chambers) แบ่งเป็นห้องที่รับเลือดเอเตรียม (atrium; atria) 2 ห้อง และห้องสูบฉีดเลือด เวนตริเคิล (ventricles) 2 ห้อง แต่ละห้องแยกจากกันโดย ผนังกั้นระหว่างเอเตรียม (interatrial septum) และเวนตริเคิล (interventricular septum)

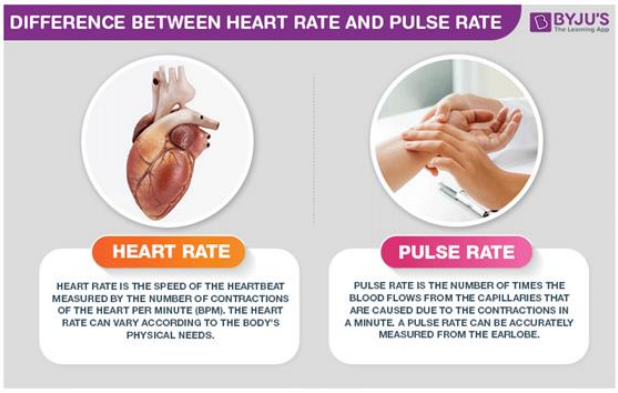
2. อัตราการเต้นของหัวใจและชีพจร (heart rate and pulse)

อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) เป็นจังหวะหรือความถี่ในการบีบตัวของหัวใจเพื่อส่งเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย มีหน่วยวัดเป็น ครั้ง/นาที (bpm/ beat per minute) โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามกิจกรรมทางกายและสภาพแวดล้อม ส่วนอัตราชีพจร (pulse) คือจำนวนครั้งของขยายและหดตัวของเส้นเลือดแดงเนื่องจากเลือดถูกปั๊มออกมาจากหัวใจโดยมีหน่วยวัดเป็น ครั้ง/นาที (bpm/ beat per minute) ส่วนคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiogram ECG/ r EKG) คือสัญญาณไฟฟ้าที่มีจุดกำเนิดจากปุ่มไซโนเอเทรียล (sinoatrial node/ SA node) เป็นกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่กำเนิดไฟฟ้าธรรมชาติ (pacemaker) เพื่อควบคุมจังหวะการบีบตัวของหัวใจผ่านคลื่นไฟฟ้า แม้ทั้ง 3 ค่าที่กล่าวมาแล้วจะไม่ใช่ค่าเดียวกัน แต่การวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจและค่าอัตราชีพจร ถือเป็นค่าที่สามารถอ้างอิงอัตราการเต้นของหัวใจและสามารถทดแทนกันได้ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย

นอกจากหัวใจจะบีบตัวแปรผันไปตามกิจกรรมทางกายที่เกิดขึ้นในแต่ละวันแล้ว สิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายยังส่งผลต่อการเต้นของหัวใจด้วย เช่น อุณหภูมิ ภาวะขาดน้ำ หรือการย่อยอาหารเป็นต้น (Achten& Jeukendrup, 2003)

ภาพที่ 6-2 แสดงความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและชีพจร

แหล่งที่มา https://byjus.com/biology/difference-between-heart-rate-and-pulse-rate/



3. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (resting heart rate / RHR)

คืออัตราการบีบตัวของหัวใจที่วัดจากท่านั่งพักเมื่อร่างกายกำลังผ่อนคลาย สงบ เป็นค่าที่แสดงการทำงานของหัวใจที่สูบฉีดเลือดในปริมาณต่ำสุดที่ร่างกายต้องการเมื่อไม่ได้มีกิจกรรมทางกายใด ๆ ในขณะที่ร่างกายไม่ภาวะเจ็บป่วย โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 60 – 100 ครั้ง/ นาที (American Heart Association) หรือ 60 – 90 ครั้ง/ นาที (Kannel et al, 1987; Gillum, 1992; Mason et al., 2007) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 79.1 ครั้ง/ นาที (Avram et al., 2019)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักไม่ใช่การเต้นของหัวใจที่ต่ำที่สุดของร่างกาย เพราะค่าดังกล่าวจะเกิดขึ้นในขณะที่เรานอนหลับสนิทและผ่อนคลายซึ่งโดยทั่วไปจะต่ำกว่าค่าอัตราการของหัวใจขณะพักที่ร้อยละ 10 – 20 มีค่าอยู่ที่ 45–77 ครั้ง/ นาที แตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล (Waldeck et al., 2003; Azza et al., 2020) ทั้งนี้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเป็นค่าที่สะท้อนสมรรถภาพทางกายได้เนื่องจากเป็นค่าที่แสดงความหนักในการทำงานของหัวใจในขณะที่ร่างกายได้รับการพักผ่อน

การหาอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักจะทำโดยให้ผู้ทดสอบทำการนั่งในท่าผ่อนคลายเป็นเวลาอย่างน้อย 10–15 นาที ทั้งนี้ควรทำภายหลังการรับประทานอาหารแล้วไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมงโดยห้ามมีกิจกรรมทางกายที่มีความหนัก

ตารางที่ 6–1 แสดงค่าอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (rating heart rate/ RHR) แยกตามอายุในเพศชาย
อ้างอิง ประยุกต์จาก (Golding et al., 1989)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)					
	18–25	26–35	36–45	46–55	56–65	มากกว่า65
ดีมาก (นักกีฬา)	49–55	49–54	50–56	50–57	51–56	50–55
ดี	56–61	55–61	57–62	58–63	57–61	56–61
ค่อนข้างดี	62–65	62–65	63–66	64–67	62–67	62–65
ปานกลาง	66–69	66–70	67–70	68–71	68–71	66–69
ค่อนข้างต่ำ	70–73	71–74	71–75	72–76	72–75	70–73
ต่ำ	74–81	75–81	76–82	77–83	76–81	74–79
แย่	82+	82+	83+	84+	82+	80+

ตารางที่ 6-2 แสดงค่าอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (rating heart rate/ RHR) แยกตามอายุในเพศหญิง
อ้างอิง ประยุกต์จาก (Golding et al., 1989)

ระดับสมรรถภาพ	อายุ (ปี)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	มากกว่า65
ดีมาก (นักกีฬา)	54-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59
ดี	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
ค่อนข้างดี	66-69	55-68	65-69	66-69	65-68	65-68
ปานกลาง	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
ค่อนข้างต่ำ	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
ต่ำ	79-84	77-82	79-83	78-83	78-83	77-83
แย่	85+	83+	84+	84+	84+	84+

4. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate/ MHR/ HRmax)

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดใช้สัญลักษณ์แทนคือ MHR หรือ HRmax เป็นค่าสมมุติที่ใช้ประมาณการการบีบตัวของหัวใจมากที่สุดเท่าที่แต่ละคนจะมีได้ โดยไม่เกิดปัญหารุนแรงขึ้นทั้งจากการทำกิจกรรม การออกกำลังกาย หรือการเล่นกีฬา ทั้งนี้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นค่าที่ *"ไม่สะท้อนสมรรถภาพทางกาย"* แต่เป็นหนึ่งในค่าที่จำเป็นและสำคัญมาก ๆ ในการออกกำลังกาย เนื่องจากการออกแบบโปรแกรมการฝึกร่างกาย จำเป็นต้องให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมาใช้เพื่อให้โปรแกรมการฝึกนั้นส่งผลต่อการพัฒนาของร่างกายได้มากที่สุด

ในปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่ชัดในการคำนวณความเร็วในการปล่อยสัญญาของปุ่มไซโนเอเทรียล (sinoatrial node/ SA node) ได้อย่างแม่นยำแต่ละบุคคล ดังนั้นจึงยังไม่มีเทคโนโลยีแบบใดที่สามารถบอกได้อย่างแม่นยำว่า บุคคลคนหนึ่งจะมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเท่าใด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจึงเป็นเสมือนจุดสมมติที่นักวิทยาศาสตร์กำหนดขึ้น เพื่ออ้างอิงความสามารถสูงสุดในการทำงานร่างกายที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ (Karvonen et al.,1975; Robergs Landwerh, 2002; ACSM, 2010) แม้จะยังไม่มีวิธีการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่แม่นยำได้ แต่จุดสูงสุดของเต้นของหัวใจนั้นมีอยู่จริง โดยไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้แม้จะมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายหรือไม่สามารถพัฒนาได้ด้วยการฝึกประเภทใดทั้งสิ้น (Robergs& Landwerh, 2002)

4.1 การคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดโดยใช้สูตร

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นสิ่งสำคัญที่นำไปใช้ในการกำหนดความหนักหรือความเข้มข้นในการออกกำลังกาย ดังนั้นความพยายามในการคิดค้นสูตรในการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด จึงเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นหา Robert A.

Roberga และ Roberto Landwehr ทำการศึกษารายงานการวิจัย หนังสือ และตำราที่เกี่ยวข้อง และพบว่ามีความพยายามในการพัฒนาวิธีการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดย้อนกลับไปได้เกือบ 100 ร้อยปี และพบว่าวิธีการแรกที่ใช้ในการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดถูกเผยแพร่ครั้งแรกในปี 1938 โดย Robinson ที่พัฒนาวิธีการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดโดยใช้สูตร

HRmax = 212 – (0.77 x age) (Froelicher& Myers; 2000)

4.1.1 วิธีการของฟ็อกซ์ (Fox–formula)

อย่างที่กล่าวไปแล้วว่า อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมีความสำคัญมากในการกำหนดอัตราชีพจรเป้าหมายเพื่อกำหนดความหนักของการออกกำลังกาย (Wernbrom et al.,2007; ACSM, 2010) โดยวิธีการดั้งเดิมที่ยังคงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เป็นสูตรที่เชื่อว่าพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ช่วงปี 1930 ซึ่งได้รับความนิยมจากนักสรีรวิทยาการออกกำลังกายในขณะนั้น และยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าเป็นสูตรที่พัฒนามาจากงานวิจัยของใคร แต่สูตรดังกล่าวมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งการเรียนการสอนและการทำวิจัย เนื่องจากง่ายต่อการจดจำ และสะดวกที่จะนำไปใช้ ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวถูกเผยแพร่อย่างเป็นทางการครั้งแรก Fox III, S.M. Naughton, J.P. และ Haskell, W.L. (1971) ในปี ค.ศ. 1971 และมีนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงร่วมทั้งสถาบันทางวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬาชั้นนำหลายแห่งนำไปใช้อ้างอิงกล่าวเช่น Fox และ Haskell ในปี 1971; Astrand ในปี 1986; Froelicher,1987 และ ACSM ในปี 2000 (Robergs& Landwerh, 2002) และเป็นที่รู้จักกันดีในนามของ Fox Formula (Rukbumrung et al., 2025) โดยมีสมการคือ

MHR = 220 – อายุ

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ชายผู้หนึ่งมีอายุ 20 ปี ชายผู้นี้จะมี MHR เป็นเท่าใด

MHR = 220 – 20

= 200

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายชิ้นพบว่าวิธีการดังกล่าวอาจคำนวณแล้วให้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดคลาดเคลื่อนไปตั้งแต่บวกลบ 10–12 bpm (ACSM, 2000) ถึงบวกลบ 7–12 bpm และกลุ่มตัวอย่างที่นำมาวิจัยเพื่อพัฒนาสูตรมีจำนวนน้อย (Gellish et al., 2007; Robergs& Landwerh, 2002)

4.1.2 วิธีการของทานากะ (Tanaka-formula)

ในปี 2001 Tanaka และคณะได้พัฒนาสูตรสำหรับคำนวณอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขึ้นมาใหม่จากกลุ่มตัวอย่างทั้งเพศชายและเพศหญิงที่มีสุขภาพดี (Tanaka et al., 2001; Gellish, 2007) ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นอีกวิธีการที่ได้รับความนิยมในการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดทั้งในคนทั่วไปและนักกีฬา (ACSM, 2018; Nikolaidis et al., 2018) โดยมีสมการคือ

MHR = 208 – (0.7 x อายุ)

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ชายผู้หนึ่งมีอายุ 20 ปี ชายผู้นี้จะมี MHR เป็นเท่าใด

MHR = 208 – (0.7 x อายุ)

= 208 – (0.7 x 20)

= 194

4.1.3 วิธีการอื่น ๆ

นอกจากวิธีการของฟ็อกซิและทานากะแล้ว ยังมีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการเต้นสูงสุดของหัวใจอีกหลายสมการเช่น

MHR = 205.8 – (0.685 x Age)

MHR = 206 – (0.67 x Age)

MHR = 206.3 – (0.88 x Age)

MHR = 207 – (0.7 x Age)

MHR = 211 – (0.64 x Age)

MHR = 217 – (0.85 x Age)

ทั้งนี้ไม่ว่าจะใช้วิธีการคำนวณแบบได้จำเป็นต้องระวังไว้เสมอว่าในผู้ที่สุขภาพดีอาจมีการผันแปรของ MHR 10 – 12 ครั้ง/ นาที จากผลที่คำนวณได้ (Fairbarn et al., 1994; Panton et al, 1996; Bjørke et al., 2020)

4.2 การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยวิธีออกกำลังกาย (exercise testing for individual maximum heart rate)

การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยวิธีออกกำลังกาย เป็นวิธีการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงอัตราเต้นหัวใจสูงสุดที่ดีที่สุด สะท้อนค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดตรงตามการทำงานและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ด้วยวิธีทดสอบการออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนักของงาน ทั้งนี้ผู้แต่งแนะนำวิธีการทดสอบ 2 วิธีการตามรายละเอียดในตารางด้านล่าง

วิธีการที่ 1	**วิธีการที่ 2**
การทดสอบบนลู่วิ่งด้วยการเพิ่มความหนักของงานจากการเพิ่มความเร็วลู่วิ่ง (treadmill grade exercise maximal test) 1. warm-up ที่ความเร็ว 4-5 กม./ ชม. ความชัน 0 % 3 นาที 2. เริ่มทำการทดสอบโดยการปรับความเร็วไปที่ 6 กม./ ชม. ความชัน 0 % 3. ทุก ๆ 1 นาทีเพิ่มความเร็วขึ้น 0.5 กม./ ชม. ความชัน 0 % 4. ทำการทดสอบจนไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ โดยมีผู้ช่วยบันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการทดสอบ	การทดสอบบนลู่วิ่งด้วยการเพิ่มความหนักของงานจากการเพิ่มความเร็วและความชันของลู่วิ่ง 1. warm-up ที่ความเร็ว 4-5 กม./ ชม. ความชัน 0 % 3 นาที 2. เริ่มทำการทดสอบโดยการปรับความเร็วไปที่ กม./ ชม. ความชัน 0 % 3. เมื่อครบ 3 นาที ให้ปรับความชั้นเป็นขึ้น 2.5 % 4. ทุก ๆ 2 นาทีให้ปรับความชันขึ้น 2.5 % 5. ทำการทดสอบจนไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ โดยมีผู้ช่วยบันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการทดสอบ

5. อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (target heart rate/ THR)

คือความหนักของการออกกำลังกายที่ได้จากการคำนวณร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยทั่วไปจะใช้ค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR) และร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (%HRR) อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมายมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากเป็นตัวกำหนดความหนักของการออกกำลังกายในโปรแกรมการฝึกร่างกายทั่วไป

6. โซนอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate zone)

อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดแม้จะไม่ได้เป็นสิ่งที่สะท้อนสมรรถภาพทางกาย แต่เป็นค่าที่สำคัญถูกนำไปใช้เพื่อกำหนดเป้าหมายในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา คำนวณออกมาเป็นค่าร้อยละทั้งนี้โดยทั่วไปนิยมแบ่งออกเป็น 5 ระดับ (โซน) เพื่ออธิบายความหนักหรือความเข้มข้นของการออกกำลังกาย

ตารางที่ 6-3 แสดงโซนการออกกำลังกายจากระดับชีพจรเป้าหมาย (THR) ที่คำนวณจากร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR)

%MHR	ระดับความหนัก	ลักษณะ
90 – 100	หนักมาก เหนื่อยมากที่สุด	เป็นการฝึกสมรรถนะทางกายในระดับสูง ในแรงความหนักขั้นสูงสุด ไม่สามารถออกกำลังกายได้เกิน 1 นาที
80 – 90	หนัก รู้สึกเหนื่อยหอบ เหงื่อออกมาก หายใจถี่ พูดได้เป็นคำ ๆ	พัฒนาความอดทนของร่างกายต่อการล้าของกล้ามเนื้อ เนื่องจากการสะสมของแลคเตท พัฒนาความอดทนและความแข็งแรงของร่างกาย เป็นโซนการออกกำลังกายที่ออกกำลังกายได้ในระหว่าง 5-15 นาที
70 – 80	ปานกลาง รู้สึกเหนื่อยมากขึ้น เหงื่อออกมากหายใจเร็ว พอพูดคุยได้	พัฒนาความอดทนระบบพลังงานแบบ Aerobic สำหรับการฝึกความอดทนทั้งระบบไหลเวียนโลหิตระบบหายใจและกล้ามเนื้อของร่างกาย เป็นระดับที่แนะนำในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ ควรออกกำลังกายในโซนนี้ 20 – 40 นาที
60 – 70	เบา เริ่มรู้สึกเหนื่อย มีเหงื่อออกเล็กน้อยแต่พูดคุยได้ปกติ	เป็นผลดีต่อการควบคุมน้ำหนัก เพิ่มการเผาพลาญไขมันมากขึ้น ควรออกกำลังกายในโซนนี้อย่างน้อย 30 – 45 นาที
50 – 60	ความหนักต่ำ หายใจสะดวกรู้สึกสบาย	เป็นช่วงอบอุ่นร่างกาย กระตุ้นกระบบเผาผลาญ ควรออกกำลังกายในโซนนี้อย่างน้อย 30 – 45 นาที (แนะนำเฉพาะผู้ที่ไม่เคยหรือเพิ่งเริ่มต้นออกกำลังกาย)

7. อัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (heart rate reserve/ HRR)

เป็นวิธีการคำนวณเพื่อนำอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมาใช้กำหนดเป้าหมายในการออกกำลังกาย โดยการนำอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักมารวมคำนวณด้วย โดยมีสมการคือ

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด – อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

HRR = (MHR – RHR)

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ชายผู้หนึ่งมีอายุ 20 ปี ชายผู้นี้จะมี HRR เป็นเท่าใด หากชายผู้นี้มีอัตราการเต้นหัวใจขณะพักเป็น 75 ครั้ง / นาที และคำนวณ MHR จากสมการ MHR = 220 – 20

จากสมการ

HRR = (MHR – RHR)

HRR = [(MHR = 220–20)– 75)]

HRR = [200– 75]

HRR = 125 ครั้ง / นาที

8. ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (% of heart rate reserve / %HRR) / Karvonen–formula)

คือการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย โดยการนำอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (heart rate reserve/ HRR) ซึ่งนำอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (RHR) มาร่วมคำนวณด้วย เนื่องจากพบว่าการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมายด้วยวิธีร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (% MHR) มีความเป็นไปได้ที่จะคำนวณความหนักของการออกกำลังกายได้มากหรือน้อยกว่าความเป็นจริง (underestimating or overestimating) (O'Toole et al.,1998; Warberton et al.,2006; Scheid O'Donnell, 2019) และเพื่อให้สามารถกำหนดความหนักของการออกกำลังกายที่ได้ตามความแตกต่างของแต่ละบุคคล จึงควรนำอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง ซึ่งเป็นผลต่างของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดและอัตราการเต้นหัวใจขณะพักมาใช้ในการคำนวณ (Warberton et al.,2006; ACSM, 2010, Achten& Jeukendrup, 2003) โดยมีสมการคือ

THR = (MHR – HRR) x (%) + (RHR)

<u>ยกตัวอย่าง</u>

ชายคนหนึ่งอายุ 20 ปี มีชีพจรขณะพักที่ 65 ครั้ง / นาที ต้องการออกกำลังกายที่ระดับความหนักร้อยละ 70 ของร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง ชายคนนี้ต้องออกกำลังกายที่ความหนักเท่าใด

<u>วิธีการ</u>

1. คำนวณหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด / MHR

   220 – 20 = 200

2. คำนวณหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง / HRR

   200 – 65 = 135

3. คำนวณหาค่าอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย / THR จากสมการ

   THR = (MHR – RHR) x (%) + (RHR)

   THR = (200 – 135) x (.7) + (65)

   THR = (65) x (.7) + (65)

   THR = 110.5

4. ดังนั้นชายคนนี้ต้องออกกำลังกายให้หัวใจเต้น 110.5 ครั้ง / นาที

พบว่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (%HRR) มีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (%VO2max) สามารถนำมาใช้กำหนดความเข้มข้นของการออกกำลังกายได้ดี (Meyer et al., 1999; Garzon-Camelo et al., 2014; Gomes et al., 2016) แต่ว่าค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (%HRR) และค่าร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR) ไม่ใช่ค่าเดียวกัน จำเป็นจะต้องใช้ตารางเทียบเคียง

ภาพที่ 6-3 แสดงการเทียบเคียงค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (%HRR) และค่าร้อยละอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%MHR)

แหล่งที่มา https://slideplayer.com/slide/4450301/

ACSM Guidelines for Using %MHR

Recommended Framework for Exercise Intensity for Apparently Healthy Adults

Activity/Exercise Level	Fitness Classification	%MHR	%HRR/$\dot{V}O_2$max or $\dot{V}O_2$R
Sedentary: No habitual activity or exercise, extremely deconditioned	Poor	57–67%	30–45%
Minimal activity: No exercise, moderately to highly deconditioned	Poor/fair	64–74%	40–55%
Sporadic physical activity: No or suboptimal exercise, moderately to mildly deconditioned	Fair/average	74–84%	55–70%
Habitual physical activity: Regular moderate-to-vigorous intensity	Average/good	80–91%	65–80%
High amounts of habitual activity: Regular vigorous-intensity exercise	Good/excellent	84–94%	70–85%

Note: MHR = Maximum heart rate; HRR = Heart-rate reserve; $\dot{V}O_2$max = $\dot{V}O_2$ maximum; $\dot{V}O_2$R = $\dot{V}O_2$ reserve

Adapted, with permission, from American College of Sports Medicine (2010). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (8th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

9. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ใช้พลังงานแบบแอโรบิก (maximum aerobic heart rate/ MAHR)

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ใช้พลังงานแบบแอโรบิกหรือนิยมเรียกว่า (maximum aerobic function/ MAF) ถูกใช้ครั้งแรกโดย Phil Maffetone (Maffetone& Laursen, 2020) เนื่องจาก Maffetone ต้องการจะพัฒนาวิธีการกำหนดช่วงการออกกำลังกายที่เผาผลาญไขมันมากที่สุดโดยไม่ต้องใช้กระบวนการที่ยุ่งยากและเครื่องมือราคาแพงในห้องปฏิบัติการ และได้วิธีการในการคำนวณความหนักของการออกกำลังกายในช่วงการเผาผลาญไขมันมากที่สุดคือ

1. ผู้ที่ไม่ค่อยออกกำลังกาย (sedentary) สมการคือ

   180 – อายุ – (5) เช่น ชายผู้หนึ่งอายุ 35 จะมีค่า MHF คือ

   180 – 35 –5 = 140 ดังนั้นชายผู้นี้จะมีช่วง MHF คือ 130 – 140 ครั้ง/ นาที

2. ผู้ที่สุขภาพดี (healthy) สมการคือ

   180 – อายุ + (5) เช่น ชายผู้หนึ่งอายุ 35 จะมีค่า MHF คือ

   180 – 35 + 5 = 150 ดังนั้นชายผู้นี้จะมีช่วง MHF คือ 140 – 150 ครั้ง/ นาที

ภาพที่ 6-4 แสดงช่วงการออกกำลังกาย Maximum Aerobic Function (MAF) โซนสีเขียวซึ่งสัมพันธ์กับค่า Aerobic Threshold และโซนแดงจะสัมพันธ์กับ Anaerobic Threshold

อ้างอิง (Maffetone& Laursen, 2020)

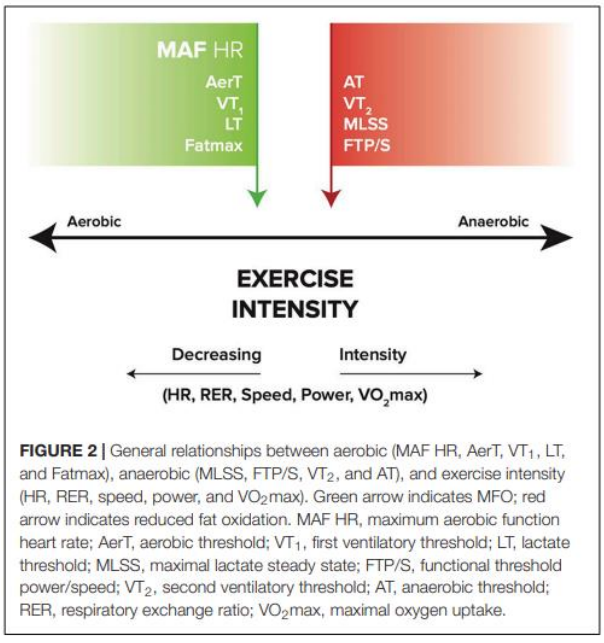


FIGURE 2 | General relationships between aerobic (MAF HR, AerT, VT_1, LT, and Fatmax), anaerobic (MLSS, FTP/S, VT_2, and AT), and exercise intensity (HR, RER, speed, power, and VO_2max). Green arrow indicates MFO; red arrow indicates reduced fat oxidation. MAF HR, maximum aerobic function heart rate; AerT, aerobic threshold; VT_1, first ventilatory threshold; LT, lactate threshold; MLSS, maximal lactate steady state; FTP/S, functional threshold power/speed; VT_2, second ventilatory threshold; AT, anaerobic threshold; RER, respiratory exchange ratio; VO_2max, maximal oxygen uptake.

ในขณะที่หากคำนวณด้วยวิธีการหาร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจหากใช้สูตรของ Fox และกำหนดอัตราชีพจรเป้าหมายในช่วงการเผาผลาญไขมันที่ดีที่สุดคือร้อยละ 60 – 82 ของ MHR จะได้ช่วงการออกกำลังกายคือ 220 – 35 x .60 และ .85 = 111 – 157 ครั้ง/ นาที

จากรายงานการศึกษาและการวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่ากลุ่มตัวอย่างซึ่งออกกำลังกายด้วยการกำหนดความหนักของการออกกำลังกายด้วยวิธีการดังกล่าวส่งผลให้ค่าไขมันในร่างกาย ขนาดรอบเอว ค่าไขมันดี (HDL–cholesterol) ความดันโลหิตและค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายมีการพัฒนาดีขึ้น (Randell et al., 2017; Cao et al., 2019)

ภาพที่ 6–5 แสดงการเปรียบเทียบความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับอัตราการเต้นของหัวใจต่าง ๆ

อ้างอิง (Maffetone& Laursen, 2020)

Heart Rate Bpm	VO2/kg ml/min/kg	EE kcal/h	EECHO kcal/h	EEFAT kcal/h	EEPRO kcal/h	FAT g/h
135	29	551	115	384	52	43
150	32	630	251	320	59	36
157	35	686	271	351	64	39
167	37	734	309	356	69	40
175	38	761	369	353	39	39
182	42	890	697	138	55	15

จากภาพจะเห็นได้ว่าการที่ร่างกายจะเผาผลาญไขมันได้มากหรือน้อยนั้นไม่จำเป็นจะต้องออกกำลังกายจนหนักมาก สังเกตว่าเมื่อออกกำลังกายจนถึงจุดสูงสุดหัวใจเต้น 182 ครั้ง/ นาที มีการเผาผลาญไขมันเพียง 15 g/h ในขณะที่การออกกำลังกายที่ทำให้หัวใจเต้น 135 ครั้ง/ นาที จะมีการเผาผลาญไขมันถึง 43 g/h

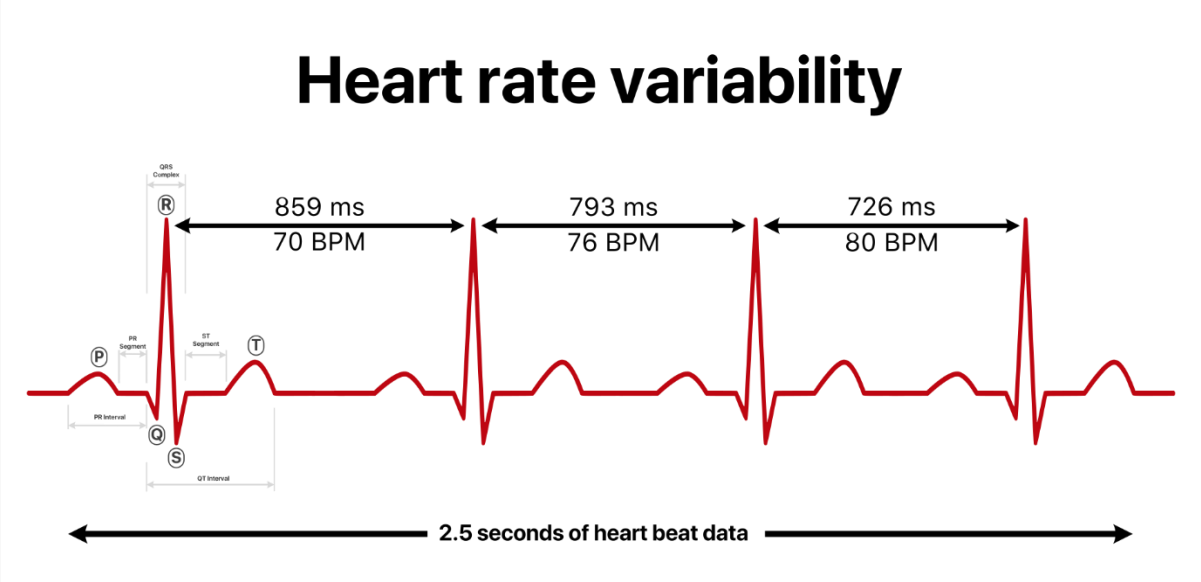
แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการออกกำลังกายเพื่อให้ถึงระดับการเผาผลาญไขมันมากที่สุดก็จะแตกต่างกันไปตามสถานภาพของแต่ละบุคคลไม่ว่าจะเป็น ปัจจัยเรื่องปริมาณของกล้ามเนื้อภายในร่างกาย สภาวะทางสุขภาพและสมรรถภาพทางกาย เพศ อายุ สภาวะทางโภชนาการ รวมไปถึงระยะเวลาที่สามารถคงการออกกำลังกายไว้ได้

10. ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate variability/ HRV)

ค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบไหลเวียนโลหิตที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ โดยเกิดจากการที่ปุ่มไซโนเอเทรียล (sinoatrial node/ SA node) บริเวณผนังของหัวใจห้องบนขวา ถูกกระตุ้นทั้งจากระบบประสาทอัตโนมัติไดแกระบบประสาทซิมพาเธติก (sympathetic) และระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (parasympathetic) หรือถูกกระตุ้นจากระบบหายใจ ซึ่งสงผลตอระบบประสาทระบบประสาทพาราซิมพาเธติก ทั้งนี้พบว่าเมื่อเราหายใจช้าลงจะทำให้ค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเครียด การออกกำลังกาย ฮอร์โมน และช่วงเวลาในการนอนหลับ ส่งผลต่อค่า HRV ด้วย (ณัฐเศรษฐ มนิมนากรและคณะ, 2561; Kleiger & et al., 2005)

ภาพที่ 6-6 แสดงความผันแปรของอัตราหัวใจเต้นจากสัญญาณ ECG

แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Heart_rate_variability#/media/File:Heart_rate_variability_(HRV).svg



ปกติแล้วการนับอัตราการเต้นของหัวใจจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จะเป็นการคำนวณสัญญาณไฟฟ้าหัวใจในช่วงคลื่นอาร์ (R-wave) หากสังเกตจากภาพจะเห็นว่าในแต่ละช่วงของสัญญาณคลื่นอาร์จะมีเวลาที่ไม่ได้สม่ำเสมอกัน โดยจะมีความแตกต่างของเวลาในแต่ละช่วงที่มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms) ความแตกต่างของเวลาในแต่ละช่วงนั้นสามารถนำมาคำนวณได้เป็นความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ

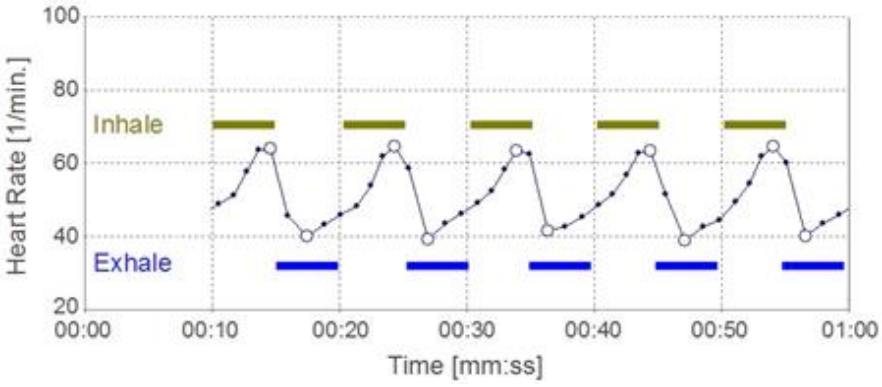
ค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจถูกกระตุ้นจากระบบประสาทอัตโนมัติ ค่านี้จึงบอกถึงความสมดุลของระบบประสาทซิมพาเธติก (sympathetic) ซึ่งเป็นระบบที่ตอบสนองเมื่อร่างกายเผชิญกับภาวะฉุกเฉินหรือเรื่องตื่นเต้น และระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (parasympathetic) ระบบประสาทที่ควบคุมให้ร่างกายเราสงบลง

ในกรณีของคนที่สุขภาพดีพักผ่อนเพียงพอจะมีค่านี้สูง และการออกกำลังกายส่งผลให้ค่าสูงขึ้น (Hottenrott et al., 2006) ในการออกกำลังกายและเล่นกีฬานั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่น หากค่าต่ำกว่าปกติที่เคยวัดได้แสดงว่าร่างกายมีการพักผ่อนไม่เพียงพอหรือมีอาการบาดเจ็บ เมื่อเราเริ่มออกกำลังกายหรือออกกำลังกายที่มีความหนักระบบ ซิมพาเธติกจะทำงาน (ณัฐเศรษฐ มนิมนากร และคณะ, 2561; Mourot et al., 2004; Hottenrott et al., 2006) เพื่อให้ระบบต่าง ๆ ภายในร่างกายมีความพร้อมในการทำกิจกรรมทางกาย หลังจากนั้นหากร่างกายมีการพักผ่อนเพียงพอระบบพาราซิมพาเธติกจะกลับเข้ามาทำงานเต็มที่ การสลับหน้าที่กันทำงานของ 2 จะทำให้เกิดความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจที่สูง ขณะเดียวกันหากค่านี้ต่ำลงแสดงว่าร่างกายเกิดภาวะอย่างหนึ่งอย่างใดหนึ่งที่ทำให้ระบบซิมพาเธติกยังคงทำงานอยู่ เช่นร่างกายเกิดการบาดเจ็บ การล้า หรือมีการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่มากเกินไป ดังนั้นค่านี้จึงเป็นประโยชน์มากในการตรวจสอบสุขภาพโดยเฉพาะการพักผ่อนและอาการบาดเจ็บของร่างกายที่อาจเกิดจากการออกกำลังกายที่มากเกินไป

มีการศึกษาวิจัยพบว่าผู้ที่มีค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจต่ำจะมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 32–45 (Hillebrand et al., 2013) การฝึกออกกำลังกายสามารถช่วยพัฒนาโดยการเพิ่มค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจได้ และการเพิ่มขึ้นก็สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย (Buchheit et al., 2013; Da Silva et al., 2014; Singh et al., 2018)

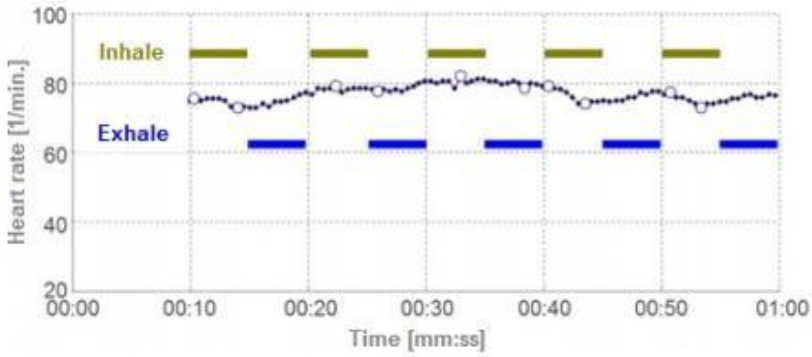
ภาพที่ 6–7 จังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation) ในนักกีฬาที่ได้เหรียญจากการแข่งขันโอลิมปิก ใน 1 นาที

แหล่งที่มา https://www.medtach.com/ecg--hrv.html



ภาพที่ 6-8 จังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation) ในผู้ที่มีความเครียดสูงใน 1 นาที

แหล่งที่มา https://www.medtach.com/ecg--hrv.html



ภาพที่ 6-7 เป็นจังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation) ในนักกีฬาที่ได้เหรียญจากการแข่งขันโอลิมปิก ใน 1 นาที จะเห็นได้ว่าจังหวะในการเต้นของหัวใจระหว่างการหายใจเข้าและหายใจออก มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเธติก ส่วนภาพที่ 6-8 เป็นจังหวะการเต้นของหัวใจขณะหายใจเข้า (inhalation) และหายใจออก (exhalation)ในผู้ที่มีความเครียดสูงใน1 นาที จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างจังหวะการเต้นของหัวใจในระหว่างการหายใจเข้าและออกแตกต่างกันน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบประสาทพาราซิมพาเธติกยังไม่พร้อมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

11. เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate monitor)

การตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ อาจจะทำได้ด้วยวิธีการที่ง่ายที่สุดคือการจับหรือการคลำเพื่อหาชีพจรที่บริเวณเส้นเลือดแดงขนาดใหญ่ทั่วร่างกาย ไปจนถึงวิธีการที่ใช้เครื่องมือในการตรวจจับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiogram/ ECG/ EKG) และการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเลือดในหลอดเลือดฝอยที่อยู่ใต้ผิวหนัง (photoplethysmogram/ PPG) คลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้าภายในที่กระตุ้นการบีบตัวของหัวใจมีจุดเริ่มต้นจากปุ่มไซโนเอเทรียล (SA node) โดยเซลล์ที่กระตุ้นให้เกิดไฟฟ้าในหัวใจได้คือ

1. ปุ่มไซโนเอเทรียล (SA-node) สร้างสัญญาณไฟฟ้าในภาวะปกติได้ประมาณ 60-100 ครั้ง/นาที

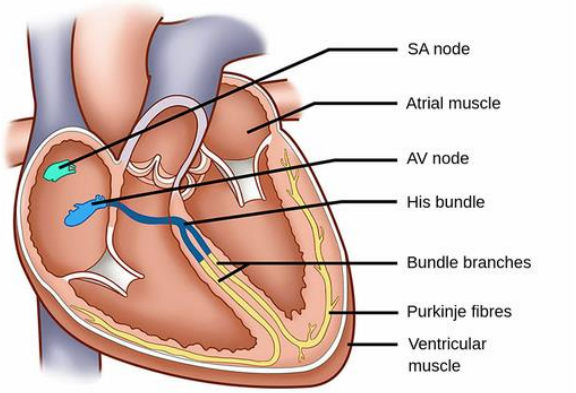
2. ปุ่มเอทริโอเวนทริคูลาร์ (AV-node) สร้างสัญญาณไฟฟ้าในภาวะปกติได้ประมาณ 40 - 60 ครั้ง/นาที เป็นส่วนสำรองในกรณีที่ปุ่มไซโนเอเทรียลเสีย

3. เส้นใยพูร์คินเจ (purkinje fibers) สามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้าในภาวะปกติได้

ประมาณ 20 – 40 ครั้ง/นาที เป็นส่วนสำรองในกรณีที่ปุ่มไซโนเอเทรียลและเอทริโอเวนทริคูลาร์เสีย

ภาพที่ 6–9 แสดงกายวิภาคของหัวใจและเซลล์ที่ให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้าหัวใจ

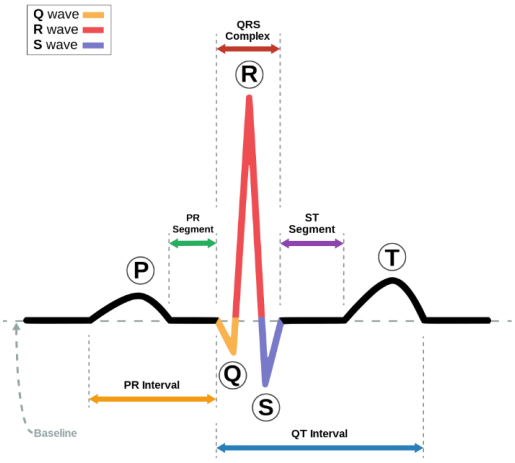
แหล่งที่มา https://www.linkedin.com/pulse/sinoatrial-node-sa-zohaib-khan



การที่จังหวะการบีบตัวหรือการเต้นของหัวใจถูกควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าภายใน การตรวจการทำงานของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ซึ่งเป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณผิวหนังจึงเป็นการวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้โดยตรง ทั้งนี้ในทางการแพทย์การตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจยังใช้สำหรับการระบุอาการต่าง ๆ ที่ไม่ปกติของหัวใจด้วย

ภาพที่ 6–10 แสดงลักษณะคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Electrocardiography#/media/File:Sinus RhythmLabels.svg



เนื่องจากการคลื่นไฟฟ้าหัวใจสัมพันธ์โดยตรงกับการบีบตัวของหัวใจ ทำให้มีการพัฒนาเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate monitor) ที่ใช้หลักการตรวจสัญญาณจากคลื่นไฟฟ้าหัวใจแบบคาดอกขึ้น โดยถูกพัฒนามาตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 80 ซึ่งจากการศึกษาวิจัย วิธีการดังกล่าวให้ค่าความแม่นยำเทียบเท่ากับการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบ ECG 3-lead (Laukkanen& Virtanen, 1998; Scheid& O'Donnell, 2019)

ภาพที่ 6-11 แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบติดหน้าอก
แหล่งที่มา ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬามหาวิทยาลัยพะเยา



นอกจากเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายคาดอกแล้ว ยังมีเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (optical sensor) ซึ่งสามารถให้ผลการวัดที่แม่นยำในกิจกรรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เช่นการวิ่งบนลู่วิ่ง การเดินเครื่องเดินอากาศ หรือการปั่นจักรยานกลางแจ้ง (Shcherbina et al., 2017; Thiebaud et al., 2018) เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายคาดอกจะส่งสัญญาณไปที่เครื่องแสดงผลใช้เทคโนโลยีแบบไร้สาย (telemetry) ส่วนเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายรัดข้อมือจะใช้เทคโนโลยีแบบเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (optical) (Scheid& O'Donnell, 2019) โดยเทคโนโลยีเซนเซอร์ชนิดใช้แสงจะให้ช่วงการวัดที่ค่อนข้างกว้าง ทำให้เกิดความแตกต่างในการวัดค่อนข้างมาก (Gillinov et al., 2017) ทั้งนี้พบว่าเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบสายรัดข้อมือหรือสายคล้องแขน อาจให้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนคือต่ำกว่าหรือสูงกว่าความเป็นจริงถึง 30 ครั้ง/ นาที (Benedetto et al., 2018) โดยอาจเกิดจากปัจจัยแทรกซ้อนเช่น ความเข้มของสีผิว ค่าดัชนีมวลกาย หรือประเภทของกิจกรรม (Shcherbina et al., 2017) แต่ถึงแม้จะมีข้อจำกัดอย่างที่กล่าวมา เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบเทคโนโลยีเซนเซอร์ชนิดใช้แสงยังคงได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน

เนื่องจากมีความสะดวกในการสวมใส่ ให้ความรู้สึกสบายและไม่เป็นอุปสรรคในการทำกิจกรรมการออกกำลังกาย

ภาพที่ 6-12 แสดงผลิตภัณฑ์เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบคล้องแขน
แหล่งที่มา ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬามหาวิทยาลัยพะเยา



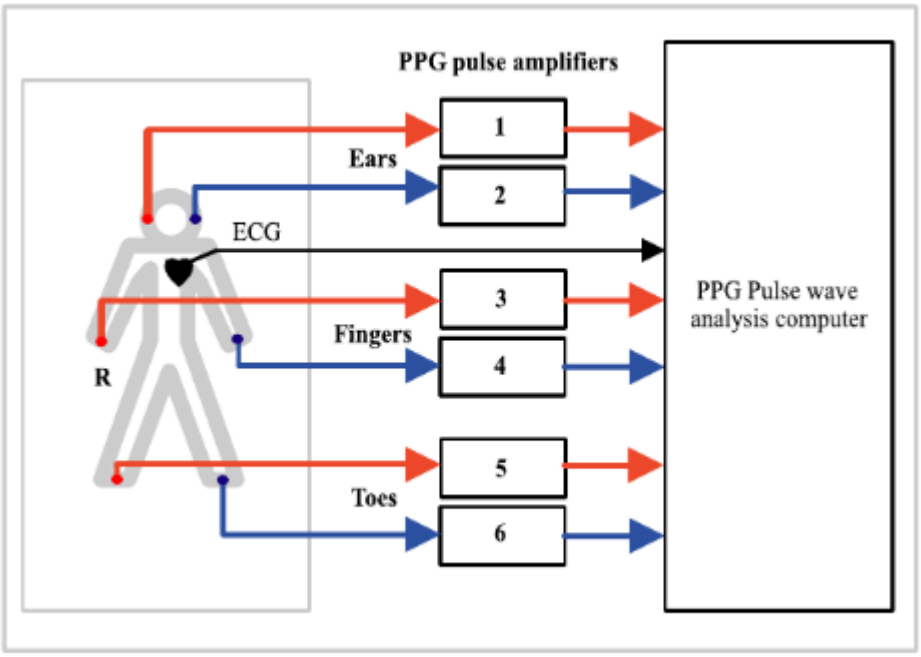
ปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจออกมาเป็นจำนวนมาก และผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีราคาอยู่ในระดับที่สามารถซื้อหามาใช้ได้โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกตามประเภทของแหล่งที่มาของสัญญาณในการวิเคราะห์ได้ 2 แบบใหญ่ ๆ (Scheid& O'Donnell, 2019) คือ

1. แบบสายคาดอก เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายมาหลายสิบปี เนื่องจากถูกพัฒนามาก่อนแบบอื่น ๆ ตัวเครื่องจะมีเซนเซอร์ที่ตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) และแปรผลสัญญาณนั้นเป็นอัตราการเต้นของหัวใจ ส่งสัญญาณไปยังนาฬิกาหรือแอพพลิเคชั่นในคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

2. แบบนาฬิกาหรือสายรัดข้อมือหรือคล้องแขน เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบนี้ กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกสบายในการใส่ มีหลักการทำงานโดยใช้เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (optical sensor) ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเลือดในเส้นเหลือดฝอย (photopletysmogram/ PPG) โดยเทคนิคดังกล่าวนอกจากจะช่วยตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจแล้วยังสามารถใช้วัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (blood oxygen saturation/ SpO_2) ค่าความดันเลือด ค่าปริมาณเลือดที่ออกจากร่างกายใน 1 นาที (cardiac output) และอัตราการหายใจ (respiration) (Kim, 2006; Kyriacou , 2006; Allen, 2007; Whinnett et al., 2006)

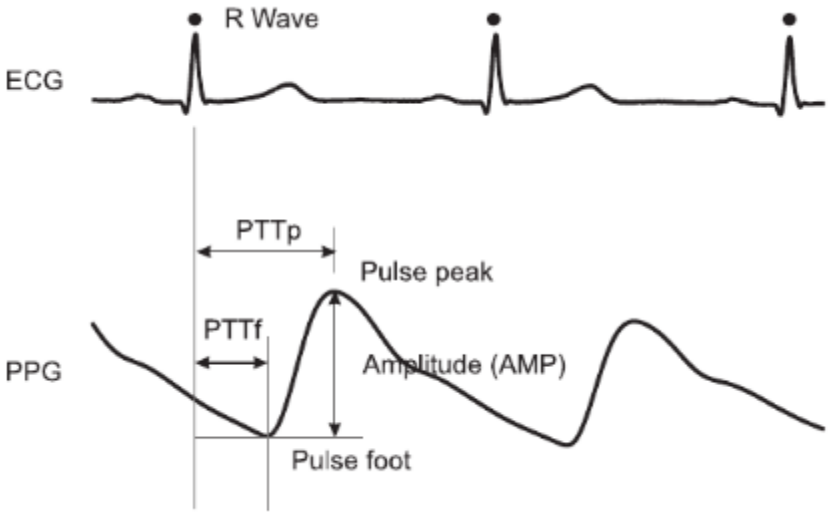
ภาพที่ 6-13 แสดงการเปรียบเทียบการวัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยวิธีการวัดจากสัญญาณ ECG และ PPG

อ้างอิง (Allen, 2007)



ภาพที่ 6-14 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบสัญญาณของคลื่น ECG และ PPG

อ้างอิง (Allen, 2007)



12. การจับชีพจร

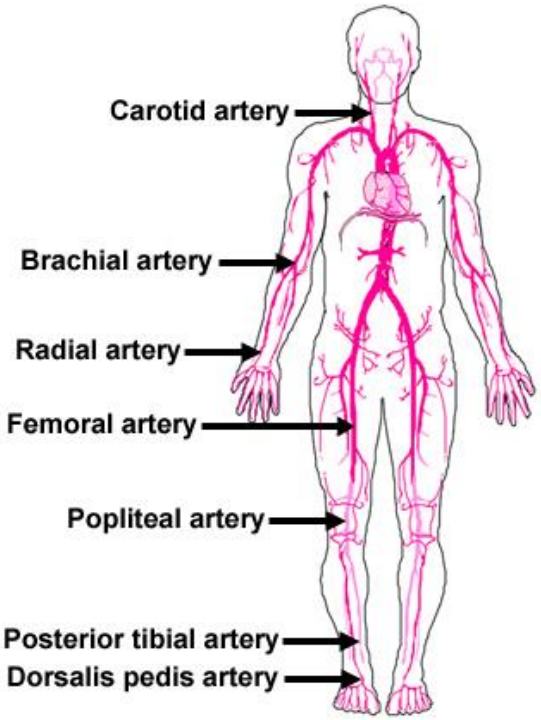
อย่างที่กล่าวมาแล้วว่าชีพจรเป็นค่าที่สามารถใช้อ้างอิงการเต้นของหัวใจได้ ดังนั้นในกรณีที่ไม่มีเครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจเราอาจวัดได้จากการจับชีพจรแทนเนื่องจากชีพจรเป็นจังหวะความดันหรือคลื่นการขยายและหดตัวของเส้นเลือดที่เกิดจากการบีบตัวของหัวใจทำให้เกิดความดันภายในผนังเส้นเลือดชีพจรจะมี 2 แบบคือ

1. ชีพจรในเส้นเลือดแดง (arterial pulse) นิยมให้จับเพื่อหาอัตราการเต้นของหัวใจโดยจะจับบริเวณเส้นเลือดแดงใหญ่ที่ผ่านไปบนกระดูก

2. ชีพจรในเส้นเลือดดำ (venuos pulse) ในทางวิทยาศาสตร์การกีฬาไม่นิยมจับชีพจรชนิดนี้

ภาพที่ 6–15 แสดงเส้นเลือดแดงที่นิยมใช้จับชีพจร

แหล่งที่มา https://healthcaresciencesocw.wayne.edu/vs/4_2.htm



ชีพจรนั้นเราสามารถสัมผัสได้ทุก ๆ ที่ ๆ มีเส้นเลือดแดง โดยที่นิยมจับมากที่สุดคือที่บริเวณข้อมือด้านนิ้วโป้ง ซึ่งมีเส้นเลือดแดงผ่านไปบนกระดูกแขนท่อนล่าง (radial artery) นอกจากนั้นยังสามารถจับชีพจรได้จากเส้นเลือดแดงใหญ่ที่คอ (carotid artery) การจับชีพจรจะนับชีพจร 15 วินาทีแล้วคูณด้วย 4 ซึ่งปกติจะอยู่ระหว่าง 60–100 ครั้ง/นาที ในขณะพัก

13. ความดันโลหิต (blood pressure)

ค่าความดันโลหิตคือความดันที่เกิดขึ้นภายในหลอดเลือด ซึ่งเกิดจากการบีบและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ แบ่งเป็น 2 ค่าคือค่าความดันโลหิตส่วนบน (systolic) และค่าความดันโลหิตส่วนล่าง (diastolic)

ค่าความดันโลหิตส่วนบนแสดงถึงความแรงในการหดตัว (บีบตัว) ของกล้ามเนื้อหัวใจในการส่งเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย การบีบตัวของหัวใจจะสร้างแรงดันความดันโลหิตส่วนบน ที่เลือดกระทำต่อหลอดเลือด ระหว่างการบีบตัวของหัวใจ ส่วนค่าความดันโลหิตส่วนล่าง เป็นแรงดันของเลือดที่กระทำภายในหลอดเลือดระหว่างที่กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัว ในการรายงานจะเขียนค่าความดันโลหิตส่วนบนและตามด้วยค่าความดันโลหิตส่วนล่าง ปกติแล้วเราจะมีค่าความดันโลหิตในขณะพัก (resting blood pressure) อยู่ที่ 120/80 mmHg ทั้งนี้หากมีค่าความดันโลหิตที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ปกติ อาจมีภาวะของความดันโลหิตต่ำหรือภาวะความดันโลหิตสูง ซึ่งโดยทั่วไปภาวะความดันโลหิตสูงมีอันตรายต่อสุขภาพค่อนข้างมากนอกจากจะส่งผลต่อการทำกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว ยังเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับโรคหัวใจและหลอดเลือด

ตารางที่ 6-4 แสดงการจำแนกภาวะความดันโลหิตสูงของสมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกา (American Heart Association)

แหล่งที่มา ผู้แต่งประยุกต์จาก https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/understanding-blood-pressure-readings

การจำแนกภาวะความดันโลหิตสูง	ค่าความดันบน (มม.ปรอท) (Systolic Blood Pressure)	ค่าความดันล่าง (มม. ปรอท) (Diastolic Blood Pressure	
ปกติ	น้อยกว่า 120	และ	น้อยกว่า 80
มีอาการความดันโลหิตสูงขั้นต้น	120-129	และ	น้อยกว่า 80
ความดันโลหิตสูงระดับที่ 1	130-139	หรือ	80-89
ความดันโลหิตสูงระดับที่ 2	140 ขึ้นไป	หรือ	90 ขึ้นไป
ความดันโลหิตสูงชนิดรุนแรง	มากกว่า 180	และ หรือ	มากกว่า 120

ระหว่างการออกกำลังกายการตอบสนองทางสรีรวิทยาเพื่อให้เพื่อส่งออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อได้อย่างเพียงพอจะทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นซึ่งถือเป็นเรื่องปกติ แต่หากมีการเพิ่มขึ้นของค่าความดันโลหิตที่มากเกินไป คือมีค่าความดันความดันโลหิตส่วนบนเพิ่มขึ้น 60 mmHg ในผู้ชาย และ 50 mmHg

ในผู้หญิงจะถือว่าเป็นการเพิ่มขึ้นที่ผิดปกติของค่าความดันโลหิตในการออกกำลังกาย (Kim& Ha, 2016)

ภายหลังการออกกำลังกายจะส่งผลเฉียบพลัน (acute effect) ต่อความดันโลหิตของร่างกาย พบว่าภายหลังการออกกำลังกายค่าความดันโลหิตจะลดลง (Pescatello& Kulikowich, 2001) โดยค่าความดันความดันโลหิตส่วนบนจะลดลงประมาณ 0.56 – 4.8 mmHg ส่วนค่าความดันความดันโลหิตส่วนล่างจะลดลงประมาณ 0.44 – 3.2 mm Hg ผลดังกล่าวจะอยู่ได้ประมาณ 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ผลดังกล่าวเกิดขึ้นได้ทั้งจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Carpio–Rivera& et al., 2016) โดยการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านจะส่งผลให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้นมากกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Cardoso& et al., 2010)

การวิ่งเป็นวิธีการออกกำลังกายที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความดันความดันโลหิตส่วนบนและ ค่าความดันความดันโลหิตส่วนล่างมากที่สุด ยิ่งระยะเวลาของการออกกำลังกายมากขึ้นค่าความดันความดันโลหิตภายหลังการออกกำลังกายก็จะยิ่งลดลงมากขึ้น การออกกำลังกายแบบเพิ่มความหนัก (incremental exercise) ทำให้ค่าความดันความดันโลหิตส่วนบนลดลงได้สูงที่สุด (Jones et al., 2007; Carpio–Rivera et al., 2016) ส่วนการฝึกด้วยแรงต้านจะส่งผลอย่างมากกับค่าความดัน ความดันโลหิตส่วนล่างภายหลังการออกกำลังกาย (Carpio–Rivera et al., 2016)

ภายหลังการออกกำลังกายความดันโลหิตควรจะลดต่ำลดซึ่งในกรณีของนักกีฬาหรือคนที่มีสุขภาพดีอาจใช้เวลาเพียง 30 นาที แต่คนทั่วไปอาจจะใช้เวลา 2–3 ชั่วโมง แต่ถ้าหากว่าความดันโลหิตยังคงสูงต่อเนื่องไปอีกหลายชั่วโมง โดยหากมีค่าความดันความดันโลหิตส่วนบนที่สูงกว่า 190 mmHg ในผู้หญิงและสูงกว่า 210 mmHg ในผู้ชาย จะถือว่าเป็นภาวะความดันโลหิตสูงที่เกิดจากการออกกำลังกายออกกำลังกาย (exercise induce hypertension) (Mohammed et al., 2020) ทั้งระยะเวลาในการฟื้นตัวของค่าความดันโลหิตและค่าความดันโลหิตที่สูงเกินปกติระหว่างออกกำลังกายมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงที่สูงขึ้นในการเกิดภาวะความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด โดยเฉพาะปัญหาเกี่ยวกับหัวใจห้องล่างซ้ายที่มีหน้าที่สูบฉีดเลือดออกจากหัวใจไปเลี้ยงร่างกาย (Kim& Ha, 2016; Lee et al., 2020, Mohammed et al., 2020)

สำหรับภาวะความดันโลหิตลดต่ำลงภายหลังการออกกำลังกายนั้น (post–exercise hypotension/ PEH) เป็นผลมาจากการที่มีปริมาณของเลือดสะสมอยู่ในร่างกายส่วนล่าง (ขา) มากกว่าปริมาณที่เลือดไหลเวียนกลับเข้าสู่หัวใจ การไหลเวียนของเลือดที่ลดลง (reduced blood flow) ส่งผลให้ความดันโลหิตลดต่ำลงไปด้วย ในบางอาจจะเกิดอาหารวิงเวียนศรีษะจากภาวะดังกล่าว (de Brito et al., 2015) ทั้งนี้ภาวะดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ต่อสุขภาพ และบางรายงานการวิจัยแสดงให้เห็นว่าภาวะความดันโลหิตลดต่ำลงภายหลังออกกำลังกายอาจช่วยลดปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดภาวะความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจได้ (Perrier–Melo et al., 2021)

สำหรับผลในระยะยาว (long-term effects) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักปานกลางเป็นประจะ 3-5 วัน/ สัปดาห์ จะส่งผลให้ค่าความดันโลหิตลดลงเฉลี่ย 3.4/ 2.4 mmHg (Fagard, 2001)

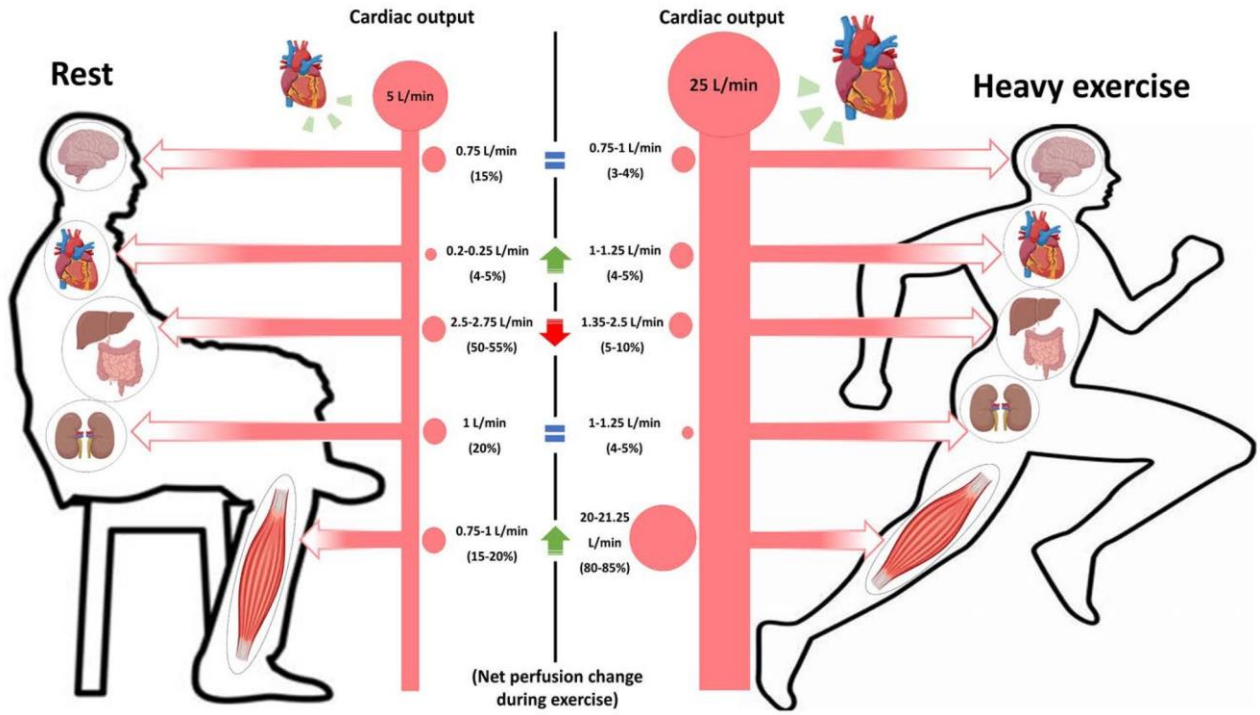
14. ปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output / CO, Q)

ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที เป็นการวัดปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจห้องล่างซ้ายไปสู่เส้นเลือดเส้นเลือดแดงใหญ่ที่สุดของร่างกายมีจุดเริ่มต้นจากหัวใจห้องล่างซ้าย (aorta๗ เข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตใน 1 นาที ซึ่งเป็นผลคูณของปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (stoke volume/ SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (heart rate) จากสมการ

$$CO = HR \times SV$$

ภาพที่ 6-16 แสดงสัดส่วนการส่งเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายในขณะพักและเมื่อมีการออกกำลังกาย

แหล่งที่มา https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00037.2021



จากภาพเราจะเห็นได้ว่าในขณะพักเลือดจะไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ รวมถึงสมองคิดเป็นร้อยละ 80 ของปริมาณเลือดทั้งหมด โดยมีเลือดไปกล้ามเนื้อประมาณร้อยละ 20 แต่เมื่อเราออกกำลังกาย เลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณกล้ามเนื้อจะเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว การเพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นเพราะร่างกายต้องส่งผ่านสารอาหารและออกซิเจนไปที่กล้ามเนื้อมากขึ้นตลอดจนต้องนำของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญออกจากกล้ามเนื้อ การที่กล้ามเนื้อมีความต้องการเลือดเพิ่มขึ้นร่างกายจึงต้องปรับตัวโดยการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ

ภาพที่ 6-17 แสดงการค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (CO) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (HR) ในขณะออกกำลังกาย และการปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกาย(VO_2) ขณะพักและออกกำลังกาย ในเพศชายและเพศหญิง

อ้างอิง (Joyner& Casey, 2015)

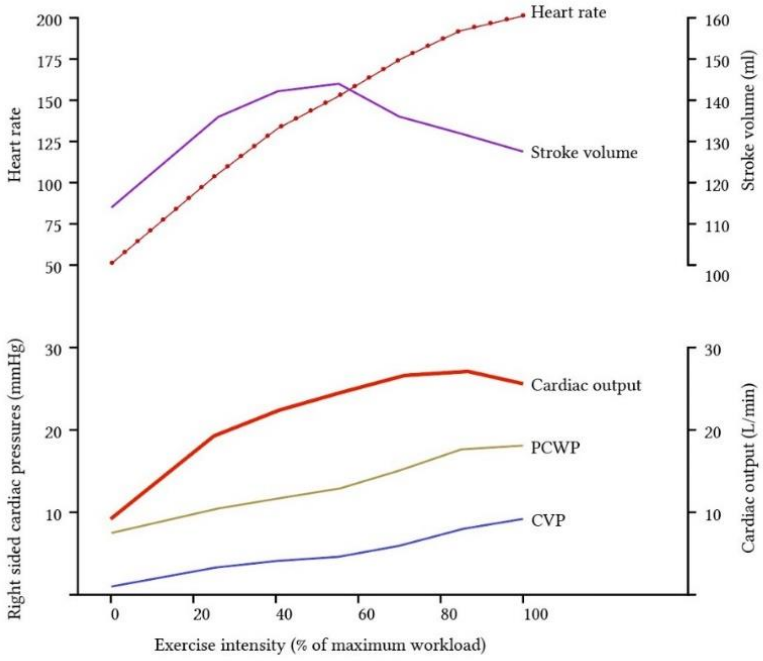
	Reference Man		Reference Woman	
	Rest	**Exercise (maximal)**	**Rest**	**Exercise (maximal)**
Vo_2, ml·kg^{-1}·min^{-1}				
Sed	3.0–3.5	<45	~3.0	<35
Active	~3.5	50–60	~3.5	40–50
Elite	3.5	70–85	3.5	~60–73
Heart rate, beats/min				
Sed	70	~200	70	~200
Active	60	~200	60	~200
Elite	50	~200	50	~200
CO, l/min				
Sed	~5	~20	~3.5–4	~15
Active	~5–6	~25	~3.5–4	~20
Elite	~5–6	30–40	~3.5–4	~25
Stroke volume, ml				
Sed	~65	~100	~55	~70
Active	~90	~125	~60–70	~100
Elite	~110	~150–200	70	~125

ในขณะพักร่างกายจะมีค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที ประมาณ 5-6 L/min แต่เมื่อออกกำลังกายอาจจะเพิ่มได้มากกว่า 30 L/min ในนักกีฬา (Mortensen& Saltin, 2014) ส่วนคนปกติอาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 25 L/min และเคยมีการบันทึกในปี ค.ศ. 1968 ว่านักกรีฑาชาวสวีเดน

ซึ่งมีค่าสูงถึง 42.3 L/min โดยมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่ 6.24 L/min หรือ 81.1 ml/kg/min จากกลุ่มตัวอย่างในนักกีฬาที่มีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดในระดับสูงคือเฉลี่ยอยู่ที่ 5.57 L/min หรือ 73.9 ml/kg/min มีปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที อยู่ที่ 36 L/min และค่าปริมาณเลือดหัวใจบีบตัวใน 1 ครั้งอยู่ที่ 189 ml (Ekblom& Hermansen, 1968) การเพิ่มขึ้นดังกล่าวเกิดจากความต้องการส่งเลือดเพื่อนำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อที่เพิ่มมากขึ้น

ภาพที่ 6-18 แสดงการค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (CO) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (HR) ในขณะออกกำลังกาย

แหล่งที่มา https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/required-reading/cardiovascular-system/Chapter%20504/cardiovascular-response-exercise



เมื่อพิจารณาจากภาพพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) หรือการเพิ่มขึ้นปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ (SV) จากสมการ CO = HR x SV ในขณะที่ออกกำลังกาย การออกกำลังกายส่งผลเฉียบพลันในการเพิ่มค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (Nystoriak& Bhatnagar, 2018) ส่วนผลในระยะยาวนั้นพบว่าการฝึกความอดทนช่วยทำทั้งค่าค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที และ ค่าปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 ครั้งเพิ่มมากขึ้น (Deborah et al., 2004; Sesay et al., 2017)

เนื่องจากการฝึกส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้นและทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง (Nystoriak& Bhatnagar, 2018)

ค่าค่าปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที ถูกใช้ครั้งแรกโดย Adolf Eugen Fick ซึ่งเป็นนักสรีรวิทยาชาวเยอรมัน มีชีวิตอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1829–1901 ซึ่งเป็นผู้คิดค้นกฎการแพร่กระจายของก๊าซ (Fick's laws on gas diffusion) และคิดค้นวิธีการหาปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที ซึ่งได้รับการเผยแพร่ในปี 1870 (Roguin, 2020)

15. แนวทางการนำค่าอัตราการเต้นของหัวใจไปใช้ในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate, HR) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการเสริมสร้างและพัฒนาสมรรถภาพทางกาย เป็นตัวบ่งชี้ความเข้มข้นของการออกกำลังกายที่จะส่งผลตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

นอกจากนี้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและอัตราการเต้นของหัวใจในระยะฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย (post–exercise HR/ recovery heart rate) ยังเป็นตัวชี้วัดความแข็งแรงหรือความฟิตของร่างกายได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจภายใน 1 นาทีหลังการออกกำลังกาย หากค่าไม่ลดลงอย่างน้อย 30 ครั้งต่อนาทีในนาทีแรก อาจบ่งชี้ว่าร่างกายมีระดับความฟิตต่ำ (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และเฉลิม ชัยวัชรา, 2544; อรัทยา ถนอมเมฆ และประทุม ม่วงมี, 2555)

อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate, MHR) นั้น ไม่ได้สะท้อนถึงสมรรถภาพทางกายโดยตรง เนื่องจากอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ภาวะพยาธิสภาพของหัวใจ ซึ่งอาจทำให้ค่าสูงกว่าปกติได้

การนำอัตราการเต้นของหัวใจมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในวิธีการวัดและหลักการที่เกี่ยวข้อง นอกจากนั้นควรทำความเข้าใจว่า แม้จะสามารถวัดได้ด้วยวิธีที่หลากหลาย ทั้งจากการจับชีพจรและการใช้เครื่องมือต่าง ๆ แต่ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่แท้จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคำนวณจากสูตรต่าง ๆ ดังนั้นการนำหลักการนำไปใช้จึงสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับบริบทเฉพาะบุคคลในขณะนั้นได้ ซึ่งมีวิธีการสำคัญดังนี้

1. กำหนดความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ด้วยการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (target heart rate/ THR) ซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธีที่สำคัญคือ

1.1 วิธีที่ 1: ใช้ค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (the percentage of maximum heart rate, %MHR)

1.2 วิธีที่ 2: ใช้ค่าร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (heart rate

reserve, % HRR) ด้วยวิธีการของ Karvonen Formula

2. สิ่งที่ต้องระวังคือ โซนอัตราการเต้นของชีพจรเป้าหมายที่ได้จาก %MHR และ %HRR จะไม่ใช่ความหนักในระดับเดียวกันเช่น การออกกำลังกายที่ระดับความหนักร้อยละ 70 ของ MHR จะไม่เท่ากับความหนักของการออกกำลังกายที่ร้อยละ 70 ของ HRR โดยความหนักของการทำงานที่ %HRR จะเป็นความหนักที่ใกล้เคียงหรือความหนักของงานที่ $\%VO_2R$ และที่สำคัญก็คือ แม้ค่า HR จะสะท้อนค่าการใช้ออกซิเจนของร่างกาย แต่ความหนักของการออกกำลังกายที่ %MHR ก็จะไม่ใช่ความหนักของการออกกำลังกายที่ร้อยละเดียวกันของ $\%VO_2max$ ด้วย

3. หากเลือกวิธีการในข้อ 1.1 จะมีวิธีการหา MHR 2 วิธีคือ

3.1 การหาอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเฉพาะบุคคลด้วยการทดสอบสมรรถภาพทางกายจนถึงจุดสูงสุด

3.2 จากสูตรที่มีหลายวิธีการแต่มีสูตรที่ได้รับความนิยม 2 สูตรคือ

3.2.1 HR max = 220 – อายุ รู้จักกันในชื่อ Fox Mathew Formula

3.2.1 HR max = 208 – (0.7 x อายุ) รู้จักกันในชื่อ Tanaka Formula

สูตรที่ 3.2.1 ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเพราะเป็นสูตรที่คิดค้นขึ้นมาก่อนและมีตัวเลขที่ง่ายต่อการจดจำ ส่วนสูตรที่ 3.2.2 ได้รับการตรวจสอบจากการศึกษาวิจัยหลายชิ้นยืนยันว่าให้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า

4. หากเลือกวิธีการในข้อ 1.2 จำเป็นจะต้องทราบอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักของตนเองซึ่งสามารถทำได้โดยการนั่งหรือนอนพักเป็นเวลาอย่างน้อย 5–10 นาที และหรือควรจะวัดในท่าพัก 15–20 นาที เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงมากขึ้น

5. เมื่อเลือกวิธีการได้แล้วให้คำนวณชีพจรเป้าหมาย รายละเอียดสามารถกลับไปดูได้ในหัวข้อที่ผ่าน ๆ มา

6. พึงระวังในการคำนวณชีพจรเป้าหมาย ไม่ว่าจะใช้วิธีการใด แม้จะไม่มีวิธีการใดที่ใช้ค่าแม่นยำที่สุด แต่หากคำนวณโดยไม่รัดกุมจะทำให้ได้ค่าอัตราชีพจรเป้าหมายที่ผิดพลาด ซึ่งจะทำให้การฝึกออกกำลังกายไม่อาจส่งผลหรือส่งผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ทั้งนี้ผู้แต่งได้ทำการศึกษาวิจัยโดยเปรียบเทียบการใช้สมการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจ

สูงสุด (MHR) ของ Fox และ Tanaka รวมถึงวิธีการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (THR) แบบร้อยละ (Percentage) และแบบ Karvonen เพื่อนำไปกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายให้กลุ่มประชากรที่เป็นคนอ้วน พบว่าทั้ง 2 สมการในการคำนวณ MHR และ 2 วิธีการในการคำนวณชีพจรเป้าหมาย ให้ผลในการออกกำลังกายได้ดีไม่แตกต่างกันคือทำให้ค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของไขมันในร่างกายกลุ่มตัวอย่างพัฒนาดีขึ้นโดยไม่พบความแตกต่างระหว่างสมการในการคำนวณ MHR และวิธีการในการคำนวณชีพจรเป้าหมาย (Rugbumrung& et al. 2025) ดังนั้นการจะเลือกใช้วิธีการใดในการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายจึงขึ้นอยู่กับความชอบส่วนบุคคล เนื่องสมการทำนายค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทั้ง 2 สามารนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดความเข้มข้นของการออกกำลังกายได้อย่างเหมาะสม ตราบใดที่การออกกำลังกายนั้นทำอย่างสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง และมีระยะเวลาที่เพียงพอต่อการส่งเสริมการพัฒนาทางสรีรวิทยา

สรุป

หัวใจนอกจากจะมีความสำคัญมากที่สุดในบรรดาอวัยวะภายในของร่างกายแล้ว ค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหัวใจยังเป็นค่าที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่สะท้อนสมรรถภาพทางกาย ในการออกกำลังกายและเล่นกีฬาจึงจำเป็นต้องนำค่าต่าง ๆ เหล่านั้นมาใช้เพื่อกำหนดวิธีและเป้าหมายของการออกกำลังกาย และการออกกำลังกายก็จะส่งผลต่อหัวใจและค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแตกต่างกันไปตามสภาวะทางสุขภาพของแต่ละบุคคล

สรุปสาระสำคัญของหัวใจที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย

1. อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) / อัตราชีพจร (pulse)/ คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (electrocardiogram ECG/ EKG) มีหน่วยวัดเป็น ครั้ง/นาที bpm/ beat per minute)

2. อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (resting heart rate / RHR) คืออัตราการเต้นของหัวใจที่วัดจากท่านั่งพักและร่างกายผ่อนคลาย เป็นค่าที่แสดงการทำงานของหัวใจที่สูบฉีดเลือดในปริมาณต่ำสุดที่ร่างกายการเมื่อไม่ได้มีกิจกรรมทางกายใด ๆ ในขณะที่กำลังนั่งหรือนอนและรู้ด้วยความสงบ ผ่อนคลาย และไม่มีอาการเจ็บป่วย โดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 60 – 100 ครั้ง/ นาที (American Heart Association) หรือ 60 – 90 ครั้ง/ นาที อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักไม่ใช่การเต้นของหัวใจที่ต่ำที่สุดของร่างกาย เพราะค่าดังกล่าว จะเกิดขึ้นในขณะที่เรานอนหลับสนิทและผ่อนคลายซึ่งโดยทั่วไปจะต่ำกว่าค่าอัตราการของหัวใจขณะพักที่ร้อยละ 10 – 20 มีค่าอยู่ที่ 45–77 ครั้ง/ นาที แตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคล อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเป็นค่าที่สะท้อนสมรรถภาพทางกาย

3. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate, MHR; HR–max) เป็นความถี่ที่หัวใจสามารถบีบตัวได้สูงสุด เป็นค่าเฉพาะบุคคล (individual) และไม่สะท้อนสมรรถภาพทางกาย หาได้จาก 2 วิธีการคือ 1) การหาอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดเฉพาะบุคคลจากการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย 2) จากสูตรที่มีหลายวิธีการแต่มีสูตรที่ได้รับความนิยม 2 สูตรคือ 2.1) จากสูตร HR max = 220 – อายุ เป็นสูตรที่เชื่อว่าพัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ช่วงปี 1930 รู้จักกันในชื่อ Fox Mathew Formula และ 2.2) HR max = 208 – (0.7 x อายุ) รู้จักกันในชื่อ Tanaka Formula

4. อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (target heart rate/ THR) คือความหนักของการออกกำลังกาย

5. ความดันโลหิต (blood pressure) แบ่งเป็น 2 ค่าคือค่าความดันโลหิตส่วนบน (systolic) และค่าความดันโลหิตส่วนล่าง (diastolic) ค่าปกติคือ 120/80

5. ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (%maximum heart rate, %MHR; %HR–max) คือความหนักของการออกกำลังกายที่คำนวณจากร้อยละของ MHR โดยส่วนใหญ่นิยมแบ่งออกเป็น 5 ระดับ เรียกว่า Heart Rate Zone

6. อัตราการเต้นของหัวใจสำรอง (heart rate reserve / HRR) คือการนำ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximum heart rate, MHR; HR–max) มาลบออกด้วย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (resting heart rate / RHR) โดยมีสูตรคือ

HRS = (MHR – RHR)

7. Karvonen Formula หรือเรียกอีกอย่างว่า (%heart rate reserve / %HRR) คือวิธีการคำนวณอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย (THR) โดยการนำ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (RHR) มาร่วมคำนวณด้วย โดยมีสูตรคือ

THR = (MHR – RHR) x (%) + (RHR)

8. ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate variability/ HRV) ค่านี้จึงบอกถึงความสมดุลของระบบ Sympathetic (ระบบประสาทที่ตอบสนองเมื่อร่างกายเผชิญกับภาวะฉุกเฉินหรือเรื่องตื่นเต้น) กับระบบ Parasympathetic (ระบบประสาทที่ควบคุมให้ร่างกายเราสงบลง) ในกรณีของคนที่สุขภาพดี พักผ่อนเพียงพอจะมีค่า HRV สูง ทั้งนี้ยังพบอีกว่าการออกกำลังกายส่งผลให้ค่า HRV สูงขึ้น

9. ปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที (cardiac output : CO, Q) ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที เป็นการวัดปริมาณของเลือดที่ออกจากหัวใจห้องล่างซ้ายไปสู่เส้นเลือด Aorta (เส้นเลือดแดงใหญ่ที่สุดของร่างกายมีจุดเริ่มต้นจากหัวใจห้องล่างซ้าย) เข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตใน 1 นาที ซึ่งเป็นผลคูณของปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง (stoke volume/ SV) และอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (heart rate) จากสมการ CO = HR x SV

รายงานการวิจัยของผู้แต่ง

Rugbumrung M, Rukbumrung T, Impanya S, Thurayot A. () Effects of Aerobic Exercise on Physical Fitness in Obesity Using Fox vs. Tanaka's Maximum Heart Rate and Percentage vs. Karvonen Methods. Int J Exerc Sci. 2025 Sep 1;18(8):695–711. doi: 10.70252/XEPS8890.

บรรณานุกรม

ณัฐเศรษฐ มนิมนากร และคณะ. (2561). การประเมินความผันแปรอัตราหัวใจเตนและการประยุกตใช ในเวชปฏิบัติ. เวชศาสตรฟนฟูสาร. 28(1): 32–36.

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และเฉลิม ชัยวัชราภรณ์. (2544). ผลการใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะฟื้นตัว. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม–ธันวามคม).

อรัทยา ถนอมเมฆ และประทุม ม่วงมี. (2555). ผลของความเข้มข้นของเครื่องดื่มผสมกลูโคสที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจปริมาณแลคเตทและกลูโคสในเลือด ในระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกายของนักกีฬาหญิง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1, กรกฎาคมคม

Achten, J.& Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. Sports Med. 33(7):517–538.

ACSM. (2010). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. eighth ed. Baltimore, Md: Lippincott Williams & Wilkins.

ACSM. (2018). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. tenth ed. Baltimore, Philadelphia: Wolters Kluwe.

Allen, J. (2007). Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement. Physiol Meas. 28(3): R1–39.

American Heart Association. All About Heart Rate (Pulse). American Heart Association. All About Heart Rate (Pulse). https://www.heart.org/en/health–topics/high–blood–pressure/the–facts–about–high–blood–pressure/all–about–heart–rate–pulse

Avram, R., Tison, G.H., Aschbacher, K.& et al. (2019). Real–world heart rate norms in the Health eHeart study. NPJ Digit Med. 2:58.

Azza, Y., Grueschow, M., Karlen, W.& et al. (2020). How stress affects sleep and mental health: nocturnal heart rate increases during prolonged stress and interacts with childhood trauma exposure to predict anxiety. Sleep. 43(6): zsz310.

Benedetto, S., Caldato, C., Bazzan, E.& et al. (2018). Assessment of the Fitbit Charge 2 for monitoring heart rate. PLoS One. 13(2): 0192691.

Bjørke, A.C.H., Raastad, T,& Berntsen, S. (2020). Criteria for the determination of maximal oxygen uptake in patients newly diagnosed with cancer: Baseline data from the randomized controlled trial of physical training and cancer. (Phys–Can). PLoS ONE 15(6): 1–18.

Buchheit, M., Voss, S.C., Nybo, L. (2013). Physiological and performance adaptations to an in–season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. Scand J Med Sci Sports. 21: e477–85.

Cao, L., Jiang, Y., Li, Q.& et al. (2019). Exercise training at maximal fat oxidation intensity for overweight or obese older women: a randomized study. J. Sports Sci. Med. 18, 413–418.

Cardoso, C.G. Jr., Gomides, R.S., Queiroz, A.C.& et al. (2010). Acute and chronic effects of aerobic and resistance exercise on ambulatory blood pressure. Clinics (Sao Paulo). 65(3): 317–25.

Carpio–Rivera, E., Moncada–Jiménez, J., Salazar–Rojas& et al. (2016). Acute Effects of Exercise on Blood Pressure: A Meta–Analytic Investigation. 106(5): 422–33.

Da Silva, D.F., Verri, S.M., Nakamura, F.Y.& et al. (2014). Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: a case study with a high–level team. Eur J Sport Sci. 14:443–51.

Deborah, A.B., Keith, S.& George, M.H. (2004). Physiological effects of exercise. Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain. 4(6). 185–188.

de Brito, L.C., Rezende, R.A., da Silva Junior, N.D.& et al. (2015). Post–Exercise Hypotension and Its Mechanisms Differ after Morning and Evening Exercise: A Randomized Crossover Study. PLoS One. 10(7): e0132458.

Drust, B., Atkinson, G& Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. Sports Med 37: 783–805.

Ekblom, B.& Hermansen, L. (1968). Cardiac Output in Altheas. Journal of Applied Physiology. 25(5). 619–625.

Fagard, R.H. (2001). Exercise characteristics and the blood pressure response to dynamic physical training. Med Sci Sports Exerc. 33(Suppl. 6): S484–92.

Fairbarn, M.S., Blackie, S.P., McElvaney, N.G& et l., (1994). Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. Chest. 105(5): 1365–9.

Fox III, S.M. Naughton, J.P.& Haskell, W.L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heartdisease. Ann Clin Res. 3:404–432.

Froelicher, V.F.& Myers, J.N. (2000). Exercise and the heart (4th ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Gillinov, S., Etiwy, M., Wang, R.& et al. (2017). Variable accuracy of wearable heart rate monitors during aerobic exercise. Med Sci Sports Exerc. 49(8): 1697–703.

Gillum, R. F. (1992). Epidemiology of resting pulse rate of persons ages 25–74–data from NHANES 1971–74. Public Health Rep. 107(2), 193–201.

Gellish RL, Goslin BR, Olson RE& et al. (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. Med Sci Sports Exerc. 39: 822–829.

Golding, L. A., Myers, C. R.& Sinning, W. E. (1989). Y's way to physical fitness: the complete guide to fitness testing and instruction. Champaign, IL

Gomes, K. B., Perez, A. J., Carletti, L., & Marques, A. (2016). Heart rate as an indicator for exercise prescription for normal, overweight, and obese adolescents. Motriz: Revista de Educação Física, 22(2), 27–35. https://doi.org/10.1590/S1980–6574201600020004

Garzon–Camelo, M., Juneau, M., Nigam, A., Comtois, A.–S., & Gayda, M. (2014). Relationship Between %VO2max, %HRmax, %HRR and %VO2R For Exercise Training Prescription On Immersible Ergocycle: 3052 Board #338 May 30, 3 30 PM – 5 00 PM. Medicine & Science in Sports & Exercise, 46(5S), 837–838. https://doi.org/10.1249/01.mss.0000496009.32745.27

Hillebrand, S., Gast, K.B., de Mutsert, R.& et al. (2013). Heart rate variability and first cardiovascular event in populations without known cardiovascular disease: meta–analysis and dose–response meta–regression. Europace. 15:742–9

Hottenrott, K., Hoos, O.& Esperer, H.D. (2006). Heart rate variability and physical exercise. Current status. Herz. 31:544–52.

Jones, H., George, K., Edwards, B.& Atkinson G. (2007). Is the magnitude of acute post–exercise hypotension mediated by exercise intensity or total work done? Eur J Appl Physiol. 102(1): 33–40.

Joyner, M.J.& Casey, DP. (2015). Regulation of increased blood flow (hyperemia) to muscles during exercise: a hierarchy of competing physiological needs. Physiol Rev. 95(2): 549–601.

Karvonen, M.J., Kentala, E.& Mustala, O. (1975). The effects of training on heart rate: a longitudinal study. Ann Med Exper Fenn. 35(3): 307–315.

Kim, D.& Ha, J.W. (2016). Hypertensive response to exercise: mechanisms and clinical implication. Clin Hypertens. 22:17.

Kim, J.S., Chee, Y.J., Park, J.W.& et al. (2006). A new approach for non–intrusive monitoring of bloodpressure on a toilet seat. Physiol Meas. 27: 203–11.

Kleiger, R.E., Stein, P.K., Bigger, J.T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. Ann Noninvasive Electrocardiol. 10: 88–101.

Kyriacou, P.A. (2006). Pulse oximetry in the oesophagus Physiol. Meas. 27. R1–35.

Laukkanen, R.& Virtanen, P. (1998). Heart rate monitors: state of the art. J Sports Sci. 16(4): 3–7.

Lee, J, Vasan, R.S.& Xanthakis, V. (2020). Association of Blood Pressure Responses to Submaximal Exercise in Midlife With the Incidence of Cardiovascular Outcomes and All–Cause Mortality: The Framingham Heart Study. J Am Heart Assoc. 9(11): e015554.

Maffetone, P.& Laursen, P.B. (2020). Maximum Aerobic Function: Clinical Relevance, Physiological Underpinnings, and Practical Application. Front. Physiol. 11:296.

Mason, J.W., Ramseth, D.J., Chanter, D.O.& et al. (2007). Electrocardiographic reference ranges derived from 79,743 ambulatory subjects. J Electrocardiol. 40(3): 228–34.

Meyer, T., Gabriel, H.H.& Kindermann, W. (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO2max or HRmax adequate? Med. Sci. Sport Exerc. 31:1342–1345.

Mohammed, L.L.M., Dhavale, M., Abdelaal, M.K.& et al. (2020). Exercise–Induced Hypertension in Healthy Individuals and Athletes: Is it an Alarming Sign? Cureus. 12(12): e11988.

Moore, K. L., Dalley, A. F.& Agur, A. M. R. (2009). "1". Clinically Oriented Anatomy. Wolters Kluwel Health/Lippincott Williams & Wilkins. pp. 127–173

Mortensen, S.P.& Saltin, B. (2014). Regulation of the skeletal muscle blood flow in humans. Exp Physiol. 99(12): 1552–8.

Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S.& et al. (2004). Decrease in heart rate variability with overtraining: Assessment by the Poincare plot analysis. Clin Physiol Funct Imaging. 24:10–8.

Nikolaidis, P.T., Rosemann, T.& Knechtle, B. (2018). Age–Predicted Maximal Heart Rate in Recreational Marathon Runners: A Cross–Sectional Study on Fox's and Tanaka's Equations. Front. Physiol.

Nystoriak, M.A.& Bhatnagar, A. (2018). Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. Front Cardiovasc Med. 28;5: 135.

O'Toole, M.L., Douglas, P.S.& Hiller, W.D. (1998). Use of heart rate monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. J Sports Med Phys Fitness. 38(3):181–7.

Panton, L.B., Graves, J.E., Pollock, M.L.& et al. (1996). Relative Heart Rate, Heart Rate Reserve, and Vo2 During Submaximal Exercise in the Elderly, The Journals of Gerontology: Series A. 51(4): M165–M171.

Perrier–Melo, R.J., Germano–Soares, A.H., Brito, A.F.& et al. (2021). Post–exercise hypotension in response to high–intensity interval exercise: potential mechanisms. Rev Port Cardiol (Engl Ed). S0870–2551(21)00320–6.

Pescatello, L.S.& Kulikowich, J.M. (2001). The aftereffects of dynamic exercise on ambulatory blood pressure. Med Sci Sports Exerc. 33(11): 1855–61.

Randell, R.K., Rollo, I., Roberts, T.J.& et al. (2017). Maximal fat oxidation rates in an athletic population. Med. Sci. Sports Exerc. 49, 133–140.

Robergs, R A.& Landwerh, R. (2002). The surprising of history of the “HRmax=220–age” equation. Journal of The AmericanSociety of Exercise Physiologists (ASEP). 5(2): 1–10

Roguin, A. (2020). Adolf Eugen Fick (1829–1901) – The Man Behind the Cardiac Output Equation. The American Journal of Cardiology. 133: 162–165.

Scheid, J.L.& O’Donnell, E. (2019). Revisiting Heart Rate Target Zones Through the Lens of Wearable Technology. ACSM's Health & Fitness Journal. 23(3): 21–26.

Sesay, A. K., Mansaray, A. B.& Ali, J. S. (2017). Exercise and Its Corresponding Effect on Cardiac Output. International Journal of Scientific and Research Publications. 7(2): 545–555.

Shcherbina, A., Mattsson, C.M., Waggott, D.& et al. (2017). Accuracy in wrist–worn, sensor–based measurements of heart rate and energy expenditure in a diverse cohort. J Pers Med. 7:3

Singh, N., Moneghetti, K.J., Christle, J.W. & et al. (2018). Heart Rate Variability: An Old Metric with New Meaning in the Era of Using mHealth technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part Two: Prognosis and Training. Arrhythm Electrophysiol Rev. 7(4):247–255.

Taber, C. W.& Venes, D. (2009). Taber's cyclopedic medical dictionary. F. A. Davis Co. pp. 1018–1023

Tanaka, H., Monahan, K.D.& Seals, D.R. (2001). Age–predicted maximal heart rate revisited. JACC. 37(1): 153–156.

Thiebaud, R., Funk, M.D., Patton, J.C.& et al. (2018). Validity of wrist-worn consumer products to measure heart rate and energy expenditure. Digit Health. 4: 1–7.

Waldeck, M.R.& Lambert, M.I. (2003). Heart rate during sleep: implications for monitoring training status. J Sports Sci Med. 2(4): 133-138.

Warberton, D.E., Nicol, C.W.& Bredin, S.D. (2006). Prescribing exercise as preventive therapy. CMAJ. 74: 961-74.

Wernbrom, M., Augustsson, J.& Thomee, R. (2007). The inference of frequency, intensity, volume and mod of strength training on whole muscle cross – section area in human. Sport med. 37 (3): 225-264

Whinnett, Z.I., Davies, J.E., Willson, K. & et al. (2006). Determination of optimal atrioventricular delay for cardiac resynchronization therapy using acute non-invasiveblood pressure. Europac. 8: 358-66.

ดัชนี

หน้า

ก

กระดูก

- กระดูกแกนกลางของร่างกาย 93,150
- กระดูกแขนท่อนล่างและมือ 152
- กระดูกแขนและไหล่ 152
- กระดูกเชิงกรานและต้นขา 152
- กระดูกรยางค์ 96,150
- กระดูกสันหลัง 95
- กระดูกสันหลังและทรวงอก 152
- กระดูกหัวเข่า, ขาและเท้า 152

กระสวยกล้ามเนื้อ 50

กิจกรรมทางกาย 16

- ความหมายของกิจกรรมทางกาย 18

กีฬา

- กีฬาและการเมือง 19
- ความหมายของกีฬา 18

กล้ามเนื้อ 102

- กลุ่มกล้ามเนื้อ
  - กลุ่มกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว 111
  - กลุ่มกล้ามเนื้อขาด้านหลัง 120
  - กลุ่มกล้ามเนื้องอสะโพก 114
  - กลุ่มกล้ามเนื้อน่อง 122
  - กลุ่มกล้ามเนื้อหน้าอก 107
  - กลุ่มกล้ามเนื้อหมุนหัวไหล่ 104
  - กลุ่มกล้ามเนื้อเหยียดสะโพกและกางสะโพก 120
  - กลุ่มกล้ามเนื้อหลัง 109
  - กลุ่มกล้ามเนื้อหัวไหล่ 102
  - กล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหน้า 105
  - กล้ามเนื้อแขนท่อนบนด้านหลัง 106
- ความไม่สมดุลกันของกล้ามเนื้อ 181
- ประเภทของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อโครงร่างหรือกล้ามเนื้อลาย 172
กล้ามเนื้อประเภทหดตัวช้า 173
กล้ามเนื้อประเภทหดตัวเร็ว 173
กล้ามเนื้อเรียบ 172
กล้ามเนื้อหัวใจ 172

การหดตัวของกล้ามเนื้อ 175
การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวของกล้ามเนื้อไม่มีการเปลี่ยนแปลง 175
การหดตัวของกล้ามเนื้อที่ความยาวมีการเปลี่ยนแปลง 176
การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อหดสั้นเข้า 176
การหดตัวของกล้ามเนื้อชนิดที่ความยาวของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 176
การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบใช้ความเร็วคงที่ 177
การหดตัวของกล้ามเนื้อแบบนี้แรงเฉื่อยคงที่ 179

ข

ข้อต่อ 98
ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 1 ระนาบ 101
ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 2 ระนาบ 102
ข้อต่อที่เคลื่อนที่ได้ 3 ระนาบ 102
ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย 100
ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก 100
ข้อต่อแบบกระดูกอ่อน 99
ข้อต่อแบบเคลื่อนไหวไม่ได้ 100
ข้อต่อแบบซินโนเวียล 100
ข้อต่อแบบเส้นใย 98
ขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก 222

ค

ความดันโลหิต 266
เคลื่อนไหว
การเคลื่อนไหวขั้นพื้นฐาน 136
รูปแบบการเคลื่อนไหวพื้นฐาน 7 รูปแบบ 137
การก้าว-เดิน หรือการวิ่ง 144

การก้าวไป-กลับ 143
การดึง 146
การผลักหรือการดัน 145
การพับสะโพกหรือลำตัว 142
การย่อตัว 139
การหมุน 147
การเคลื่อนไหวของร่างกาย
การกระดกข้อเท้าขึ้น 84
การกางแขน – ขาออกจากลำตัว 84
การคว่ำ, การคว่ำมือ 84
การงอ, กระดูกสันหลัง, กระดูกแขนหรือขา 84
การงอข้อเท้าลง 84
การงอที่มากกว่าปกติ 84
การบิดฝ่าเท้าเข้าด้านใน 85
การบิดฝ่าเท้าออกด้านนอก 85
การยกขึ้น 85
การหงาย, การหงายมือ 84
การเหยียด, กระดูกสันหลัง, กระดูกแขนหรือขา 84
การเหยียดที่มากกว่าปกติ 84
การหุบแขน – ขาเข้าสู่ลำตัว 84
การหมุนหรือการเอี้ยว 84
แคลอรี่ 191

จ

จลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน 203

ช

ชีพจร 247
การจับชีพจร 265

ท

ท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์ 85
ทดสอบ

การทดสอบความพร้อมในการเคลื่อนไหว 148

พ

พังผืด 124
กลุ่มอาการปวดกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อพังผืด 126
พลังงาน
การวัดทางตรง 231
การวัดทางอ้อม 231
ค่าเศษส่วนลมหายใจ 232
ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ 233
แคลอรี่ 191
ระบบพลังงานของร่างกาย 191
ระบบแอนแอโรบิคไกลโคไลซิส 195
ระบบแอนแอโรบิค-ฟอสฟาเจน 193
ระบบแอโรบิค 197
หน่วยของพลังงานในร่างกาย 191
อัตราการเผาผลาญพลังงาน 230

ฟ

ฟังก์ชันนอลเทรนนิ่ง
การฝึกฟังก์ชันนอลเทรนนิ่ง 137

ย

ย่อ-ยก 87

ร

ระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิค 224
จุดเริ่มล้า 224
ระดับการทำงานเชิงแอโรบิค 219
ระนาบทางกายวิภาคศาสตร์ 86
ระนาบหน้า - หลัง 86
ระนาบด้านข้าง 89
ระนาบขอบฟ้า 91

ระบายอากาศ(การ)
จุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ 222
ขีดจำกัดการระบายอากาศ 225

ล

ลมหายใจ
ค่าเศษส่วนลมหายใจ 232
ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนลมหายใจ 233
ลักษณะรูปร่างมนุษย์ 80
แลคติก 219
แลคเตท 219
จุดเปลี่ยนแรกของค่าการสะสมแลคเตทในเลือด 222

ว

วัด
การวัดขนาดของร่างกายด้วยมิติเส้นรอบวง 127
วิวัฒนาการ มนุษย์ 3

ส

สมรรถภาพทางกาย 27
ประเภทของสมรรถภาพทางกาย
สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว 31
สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา 29
สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ, สุขะสมรรถนะ 27
องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกาย
การทำงานประสานกันของร่างกาย 63
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ 37
ความแข็งแรงแบบพลังระเบิดหรือยืดหยุ่น 42
ความแข็งแรงแบบอดทน 42
ความแข็งแรงสัมพัทธ์ 40
ความแข็งแรงสูงสุด 39
ความแข็งแรงสมบูรณ์ 39
ความคล่องแคล่วว่องไว 59

ความเร็ว 53
ความเร็วเชิงแข็งแรง 54
ความเร็วเชิงอดทน 55
ความอดทนของกล้ามเนื้อ 35
ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ 33
ความอ่อนตัวของร่างกาย 49
ความอ่อนตัวแบบคงที่ 49
ความอ่อนตัวเชิงเคลื่อนไหว 49
พลังของกล้ามเนื้อ 56
เวลาปฏิกิริยา 61
เวลาการเคลื่อนไหว 62
เวลาตอบสนอง 62
สมดุลการทรงตัว 60
การทรงตัวขณะเคลื่อนที่ 60
การทรงตัวขณะอยู่กับที่ 60
องค์ประกอบของร่างกาย 44
ส่วนสูงและน้ำหนักตัว 46

ห

หัวใจ

คลื่นไฟฟ้าหัวใจ 242
โซนอัตราการเต้นของหัวใจ 247
ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในแต่ละครั้ง 263
ปริมาณเลือดที่ถูกส่งออกมาจากหัวใจใน 1 นาที 263
อัตราการเต้นของหัวใจ 247
เครื่องตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ 260
ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ 258
โซนอัตราการเต้นของหัวใจ 252
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก 248
อัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย 252
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด 249
การคำนวณร้อยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดโดยใช้สูตร
วิธีการของทานากะ 251

วิธีการของฟ็อกซ์ 250
การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยวิธีออกกำลังกาย 252
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ใช้พลังงานแบบแอโรบิก 256
อัตราการเต้นของหัวใจสำรอง 253
ร้อยละของอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง 254

อ

ออกกำลังกาย
การออกกำลังกายและสังคม 19
ความหมายของการออกกำลังกาย 18
วิวัฒนาการของออกกำลังกาย 9
ออกซิเจน
เกณฑ์การตัดสินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดของ 212
การเป็นหนี้ออกซิเจน 209
การใช้ออกซิเจนของร่างกายในขณะพัก 215
การใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย 216
ค่าการใช้ออกซิเจนภายหลังออกกำลังกาย / ค่าการเผาผลาญภายหลังการออกกำลังกาย 218
จลศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน 203
ระยะที่ 1 หรือระยะแรกสุด 205
ระยะที่ 2 หรือ ระยะที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณการใช้ออกซิเจน 206
ระยะที่ 3 208
ระยะคงที่ 208
ระยะที่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนอย่างช้า ๆ 208
ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายใน 1 นาที 211
เกณฑ์การตัดสินค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด 214
ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายแบบสมบูรณ์ 211
ปริมาณการใช้ออกซิเจนของร่างกายแบบสัมพัทธ์ 211
ปริมาณคงที่ของการใช้ออกซิเจน 213
ภาวะออกซิเจนในร่างกายต่ำ 218
ออกซิเจนที่ขาดหายไป 209
เอทีพี 192
เอทีพี-พีซี 194
แอนแอโรบิก 193,195

แอนแอโรบิกไกลโคไลซิส 195
แอนแอโรบิก-ฟอสฟาเจน 193
แอนแอโรบิกเทรชโฮลด์ 225
ขีดจำกัดการระบายอากาศ 225
ขีดจำกัดการสะสมแลคเตทในเลือด 225
ระดับการทำงานเชิงแอนแอโรบิก 225
จุดเริ่มล้า 225
แอโรบิก 198
ขีดจำกัดการทำงานเชิงแอโรบิก 222
จุดเปลี่ยนแรกของขีดจำกัดการระบายอากาศ 222
แอโรบิกเทรชโฮลด์ 222

Index

Page

A

Abduction 84

Adduction 84

Aerobic 198

Aerobic threshold/ AeT, Lactate threshold1, Ventilation Threshold1 222

First lactate threshold/ LT1 222

First ventilatory threshold/ VT1 222

Afterburn effect 218

Anaerobic 193, 195

Anaerobic glycolysis/ Anaerobic lactic acid system 195

Anaerobic/ phosphagen system/ ATP – PC system / Anaerobic alactic 193

Anaerobic threshold/ AT 225

Lactate threshold/ LT2 225

Ventilation Threshold/ VT2 225

Anatomical plane 86

Frontal/ lateral plane 89

Sagittal plane 86

Transverse/ horizontal plane 87

Anatomical position 85

ATP 192

ATP-PC 194

B

Bicep curl 88

Blood pressure 266

Body types 80

Ectomorph 81

Endomorph 81

Mesomorph 82

C

Calorie 191
Circumduction 84
Circumferential dimension 127

D

Dorsiflexion 84

E

Excess post-exercise oxygen/ EPOC 218
Elevation 85
Energy
    Direct calorimetry 231
    Energy system 191
        Aerobic system 197
        Anaerobic glycolysis/ Anaerobic lactic acid system 196
        Phosphagen system / ATP – PC system / Anaerobic alactic system 193
    Energy unit 191
    Indirect calorimeter 231
    Respiratory exchange ratio, RER 230
    Respiratory quotient, RQ 229
Eversion 85
Excess post-exercise oxygen; EPOC/ afterburn effect 216
Extension 84

F

Fascial 124
Flexion 84
Functional training 137

G

Golgi Tendon Organ 50

H

Heart
- Cardiac output: CO, Q 263
- Electrocardiogram ECG/ r EKG 242
- Heart rate 247
  - Heart rate monitor 260
  - Heart rate variability/ HRV 258
  - Maximum Aerobic Heart Rate; MAHR 256
  - Maximum heart rate, MHR; HRmax 249
    - Maximum heart rate formula 250
      - Fox-formula 250
      - Tanaka-formula 251
    - Heart rate reserve / HRR 253
      - % of heart rate reserve / %HRR / Karvonen-formula 254
    - exercise testing for individual maximum heart rate 252
    - Target heart rate/ THR 252
    - The percentage of maximum heart rate 245
  - Resting heart rate / RHR 248
- Heart rate zone 252
- Stoke volume/ SV 264

Hyperextension 84

Hyperflexion 84

Hypoxemia 218

I

Inversion 85

lactic acid 219

lactate 219
- First lactate threshold/ LT1 222

J

Joint 98
- Biaxial joint 102

Cartilaginous joint 99
Fibrous joints 98
Freely moveable/ Synovial joint/ Diarthrosis 100
Immovable joints/ Fibrous joint/ Synarthrosis 100
Slightly moveable joint/ Cartilaginous joint/ Amphiarthrosis 100
Synovial joint 100
Triaxial joint 102
Uniaxial joint 101

L

Lactate 218
Lactate threshold/ LT2; onset of blood lactate accumulation/ OBLA 225
Lactic acid 218

M

Metabolic equivalent task / METs 230
Mitochondrial Eve 1,2
Movement
Fundamental movement 136
7 movement patterns exercise 137
Gait 144
Hip-hinge 142
Lunge 143
Pull 146
Push 145
Rotation & twist 147
Squat 139
Muscle 102
Muscle contraction 175
Isoinertial contraction 179
Isokinetic contraction 177
Isometric contraction/ Static contraction 175
Isotonic contraction/ Dynamic contraction 176

Concentric contraction 176

Eccentric contraction 176

Muscle Group

Back 109

Biceps brachii 105

Calf muscle 122

Core muscle 111

Deltoids 102

Hamstring 120

Hip extensor, Hip abductor 120

Hip Flexors 114

Pectoralis 107

Rotator cuff muscle 104

Triceps brachii 106

Muscle imbalance 181

Muscle Types

Cardiac muscle 172

Skeletal muscle 172

Fast twitch fiber 173

Slow twitch fiber 173

Smooth muscle 172

Muscle spindle 50

Myofascial pain syndrome/ MPS 124

O

Oxygen consumption

Maximal oxygen uptake/ Maximal Oxygen Consumption / VO_2max 211

Absolute VO_2max 211

Relative VO_2max 211

VO_2max Citation 214

Oxygen consumption kinetic/ VO_2max Kinetics 203

Phase I: cardio-dynamic component/ early component 205

Phase II: fast component / rapid component 206

Phase III 208

Phase III - steady state 208

Phase III - slow component 208

Oxygen consumption plateau VO_2 213

Oxygen debt 209

Oxygen deficit 209

VO2 at Exercise 216

VO_2 at Rest/ Resting VO_2 215

VO_2max criteria 212

P

Physical fitness 27

Types of Physical Fitness

Bio–motor ability 31

Health-Related Fitness 27

Skill/ Sport/ Special/ Motor Related Fitness 29

Components of Physical Fitness

Agility 59

Balance 60

Static balance 60

Dynamic balance 60

Body-composition 44

Body-flexibility 49

Active-flexibility 49

Dynamic-flexibility 49

Mobility 49

Passive-flexibility 49

Static-flexibility 49

Cardio-respiratory endurance 33

Coordination 63

Muscular-endurance 35

Muscular-strength 37

Absolute- strength 39
Explosive/ Elastic-strength, Strength-speed 42
Maximal-strength 39
Relative-strength 40
Strength-endurance 42
Power 56
Reaction time 61
Movement time 62
Response time 62
Speed 53
Speed-strength 54
Speed-endurance 55
Plantarflexion 84
Pronation 84
Pulse 247
Pulse monitor 265

R

Respiratory exchange ratio/ RER 233
Respiratory quotient/ RQ 232
Rotation 84

S

Skeleton
Appendicular skeletal 96,150
Arm and shoulder bones 152
Axial skeletal 93,150
Forearm and hand bones 152
Knee, leg and foot bones 152
Pelvic and thigh bone 152
Spinal/ Spine 95
Spine and thorax bones 152
Squat 87

Supination 84

T

Test

The Functional Movement Screen (FMS) 148

V

ventilatory threshold 225

First ventilatory threshold/ VT1 222

Ventilatory threshold/ VT2 225

Y

Y-chromosomal Adam 1,3