

3.1 ความนำ

ระบบโครงกระดูกและกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย (movement mechanism) นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อื่นที่ช่วยให้มนุษย์สามารถคงชีวิตอยู่ได้ ระบบโครงกระดูกทำหน้าที่เป็นคานส่งกำลังทางกลซึ่งสามารถทำงานดังกล่าวได้โดยอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อ (contraction of the muscles) การเคลื่อนไหวของร่างกายที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบโครงกระดูกและกล้ามเนื้อเป็นสิ่งที่นักกายศาสตร์ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก มีการค้นคว้าและวิจัยต่างๆ เพื่ออธิบายให้เข้าใจถึงกลไกการทำงานเหล่านั้น ในบทนี้จะอธิบายให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างของกระดูกส่วนต่างๆ การเชื่อมต่อหรือข้อต่อที่มีความสำคัญต่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย ลักษณะของกล้ามเนื้อ กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางสรีระของร่างกายที่เกี่ยวข้อง เช่น การเผาผลาญอาหาร การสร้างและใช้พลังงานของร่างกายที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงาน ตลอดจนผลเสียหรือการบาดเจ็บต่อร่างกายที่เกิดขึ้นจากการทำงานที่ไม่เหมาะสมซึ่งนักกายศาสตร์สามารถใช้ในการพิจารณาในการออกแบบลักษณะงาน เครื่องมือ เครื่องจักร ให้มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

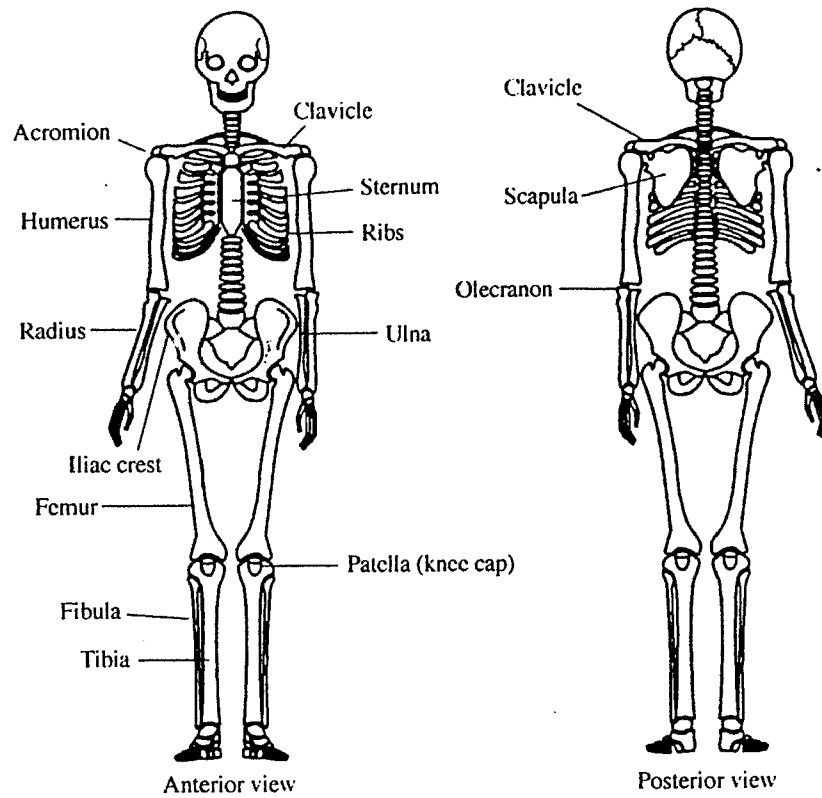
3.2 ระบบโครงกระดูก (Skeletal system)

ระบบโครงกระดูกของร่างกายเป็นระบบที่ประกอบด้วยกระดูกส่วนประเภทต่างๆ จำนวน 206 ชิ้น เชื่อมต่อกันซึ่งข้อต่อ (joint) ในแต่ละส่วนของร่างกายจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น cartilage tissues, hemopoietic tissues ที่ทำให้ข้อต่อแต่ละส่วนมีความแตกต่างกันไปตามหน้าที่และความจำเป็นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้สะดวกและสามารถรับการส่งผ่านแรงได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังถือว่าเป็นส่วนค้ำชูร่างกายให้ตั้งตรงได้และยังช่วยปกป้องอวัยวะต่างๆ ที่อยู่ในร่างกายได้ เช่น กะโหลก (Skull) ป้องกันสมอง, ซีโครง (rib cage) ป้องกันหัวใจ, ปอด และอวัยวะภายในอื่นๆ

กระดูกทั้งหมด 206 ชิ้นของร่างกายโดยปกติจะถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ตามรูปร่างที่ปรากฏให้เห็น คือ

- 1.) กระดูกลำยาว (long bone) มีลักษณะทรงกระบอกยาว เป็นส่วนประกอบของร่างกายบริเวณแขน ขา นิ้วมือและนิ้วเท้า เช่น humerus, radius, ulna, femur, tibia, fibula และ phalanges ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1

- 2.) กระดูกลำสั้น (short bone) มีลักษณะทรงกระบอกหรือข้อเรียบบสั้นๆ อยู่ที่บริเวณข้อมือและข้อเท้า เช่น carpals และ tarsals



รูปที่ 3.1 โครงกระดูกของมนุษย์

- 3.) กระดูกแบน (flat bone) เป็นกระดูกรูปร่างแบนและอาจเป็นแผ่น เป็นส่วนประกอบของร่างกายบริเวณ ลำตัว หน้าอก และ ศรีษะ เช่น scapulae, ribs และ skull
- 4.) กระดูกทรงไม่แน่นอน (irregular bones) มีลักษณะรูปร่างที่ไม่อยู่ใน 3 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น คือมักจะมีรูปร่างซับซ้อนมีส่วนโค้งยื่นต่อไปมา เป็นส่วนประกอบของร่างกายบริเวณ สะโพก และลำตัว เช่น vertebrae, sacrum, coccyx, mandible และ hyoid bone

โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับกระดูกทั้งหมดของร่างกายมนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1.) โครงกระดูกส่วนแกน (Axial skeleton) ประกอบด้วย กะโหลก (the skull; the head, face, and ear bones), กระดูกโคนลิ้น (the hyoid bone), กระดูกสันหลัง (the vertebral bones in the spien), กระดูกซี่โครง (the ribs and sternum or breast bone), และ กระดูกเชิงกราน (the pelvis)

2.) โครงกระดูกส่วนยื่น (appendicular skeleton) ประกอบด้วย กระดูกส่วนที่ติดกับโครงกระดูกส่วนแกน เป็นส่วนที่ยื่นออกไปจากลำตัว เช่น แขนกับมือ และ ขากับเท้า ซึ่งมักจะใช้ศัพท์ในการเรียกรวมๆ ว่า the upper and lower extremities

- แขนกับมือ (the upper extremities) ประกอบด้วย กระดูกไหปลาร้า และกระดูกสะบักบริเวณหัวไหล่ (the clavicle and scapula in the shoulder), humerus อยู่บริเวณแขนส่วนบน (upper arm), radius และ ulna อยู่บริเวณแขนส่วนล่าง (the forearm), กระดูกบริเวณมือและข้อมือ (the wrist and the hand bone)

- ขากับเท้า (the lower extremities) ประกอบด้วย กระดูกส่วนน่อง (the femur in the thigh), กระดูกเข่า (the patella หรือ the knee cap), กระดูกหน้าแข้ง (the fibula and tibia) อยู่บริเวณขาส่วนล่าง และ กระดูกส่วนเท้า

3.3 คาทิเลจ (cartilage)

คาทิเลจ เป็นเนื้อเยื่อลักษณะใส ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาที่บริเวณข้อต่อกระดูก เซลล์ของคาทิเลจจะถูกฝังยึดติดแน่นกับส่วนของกระดูก คาทิเลจมีคุณสมบัติของความยืดหยุ่นและทนทาน สามารถเปลี่ยนรูปและสร้างขึ้นใหม่ได้ มีหน้าที่สำคัญช่วยในการรองรับแรงที่กระทำส่งผ่านจากโครงสร้างกระดูกได้ในระดับหนึ่ง คาทิเลจถูกพบอยู่บริเวณข้อต่อต่างๆ ของโครงสร้างกระดูก เช่น ที่ลำกระดูกสันหลัง (spinal column) ซึ่งเรียกว่า หมอนรองกระดูก (intervertebral disks) ที่ผิวข้อต่อของกระดูกส่วนแขนขา และ ที่ปลายของซี่โครง (the end of ribs) คาทิเลจเป็นเนื้อเยื่อประเภทเดียวที่ไม่มีส่วนประกอบของเส้นประสาท (nerves) และเส้นเลือด (avascular) ฝังอยู่ภายใน (Anthony and Kolthoff, 1975¹ และ Chaffin and Andersson, 1991)² ดังนั้นสารอาหารและออกซิเจนจะเข้าสู่คาทิเลจด้วยวิธีการแพร่ (diffusion) และเข้าสู่คาทิเลจผ่านทางท่อขนาดเล็กจำนวนมากอยู่ในเส้นใยที่ล้อมรอบเนื้อเยื่อส่วนนี้ แต่ในบางกรณีอาจซึมเข้าโดยผ่านทางของเหลวไซโนเวียล (synovial fluid) คาทิเลจที่มีอยู่ในร่างกายสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

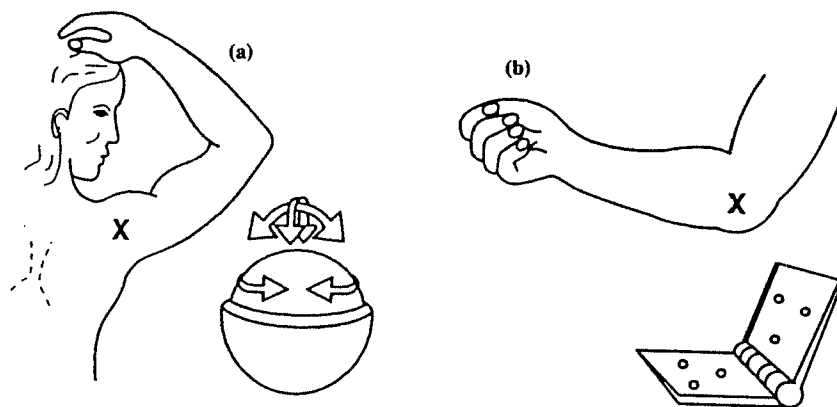
- 1.) Hyaline cartilage tissue เป็นเนื้อเยื่อที่ล้อมรอบผิวที่เป็นข้อ (articular surface) เช่น ส่วนต่อของกระดูกเพื่อป้องกันการกระแทกที่จะเกิดขึ้นบริเวณข้อต่ออื่นๆ
- 2.) Fibrous cartilage tissue เป็นเนื้อเยื่อส่วนที่มีความแข็งแรงมากและมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ที่สูงสุดในทั้ง 3 แบบ คาทิเลจ ชนิดนี้ได้แก่ ribcage และ เส้นใยที่ล้อมรอบหมอนรองกระดูก (fibrocartilages)
- 3.) Elastic cartilage tissue เป็นเนื้อเยื่อที่มีความยืดหยุ่นสูงและการจับยึดที่แน่น คาทิเลจ ชนิดนี้พบในบริเวณส่วนที่ยื่นออกจากร่างกาย เช่น ไบหู และจมูก

3.4 ข้อต่อ (Joints) และการเคลื่อนไหว (joint movements)

ข้อต่อเป็นส่วนเกิดขึ้นเพื่อการเชื่อมต่อระหว่างกระดูกสองส่วนหรือมากกว่า ประเภทหรือชนิดของข้อต่อสามารถแบ่งได้ตามรูปร่างของกระดูกที่ต่อกันและความต้องการในการเคลื่อนที่ของอวัยวะนั้นๆ ตัวอย่างเช่น อวัยวะที่มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ข้อต่อก็จะถูกออกแบบมาให้มีโครงสร้างที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ที่มีความราบเรียบไม่เกิดการสะดุดหรือขัดขวางการเคลื่อนที่ ในขณะที่ส่วนที่ไม่ต้องการให้เคลื่อนที่มากนัก กระดูกก็จะถูกสร้างให้มีรูปร่างที่จะสามารถจำกัดการเคลื่อนที่ของข้อต่อนั้นๆ

การแบ่งประเภทของข้อต่อที่อยู่ในร่างกายที่นิยมทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือแบ่งโดยการพิจารณาจากลักษณะการเคลื่อนที่หรือหน้าที่ที่ต้องการ การแบ่งในลักษณะนี้จะทำให้ข้อต่อถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

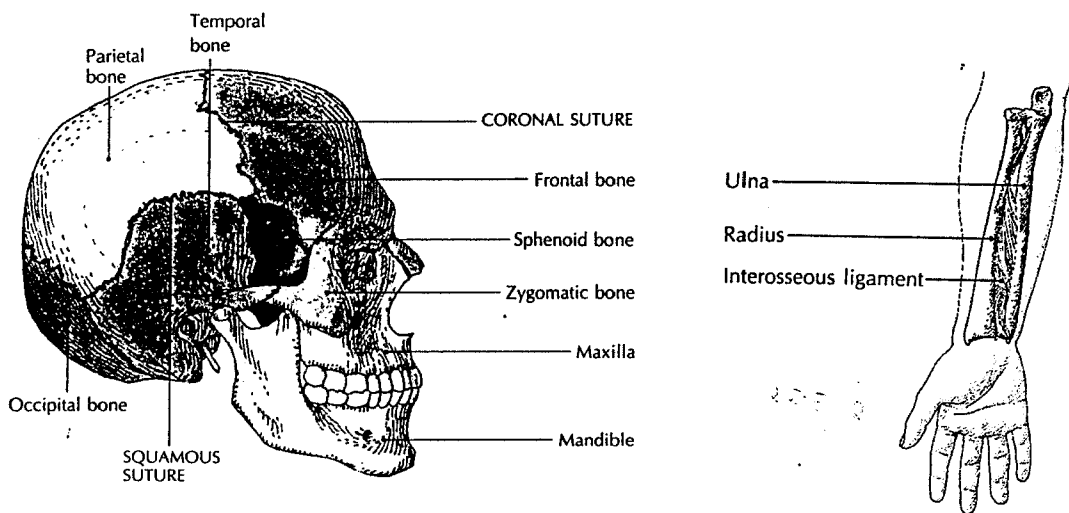
- 1.) Diarthroses หรือ diarthrotic joints เป็นลักษณะของข้อต่อที่จะยอมให้มีเคลื่อนที่ได้ค่อนข้างอิสระ (freely movable joint) เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างพื้นผิวของกระดูกสองส่วนที่ต่อกัน ตัวอย่างของข้อต่อในลักษณะนี้ได้แก่ ball and socket joints เช่นบริเวณข้อต่อหัวไหล่ สะโพก หรือ hinge joint เช่น ข้อต่อบริเวณข้อศอก และหัวเข่า เป็นต้น ดูภาพประกอบในรูปที่ 3.2
- 2.) Amphiarthrosis เป็นข้อต่อที่มีลักษณะให้เกิดเกิดการเคลื่อนที่ได้เล็กน้อย หรือมีการจำกัดทิศทางและปริมาณการเคลื่อนที่ เช่น กระดูกของแขนส่วนล่าง ระหว่าง ulna และ radius ซึ่งจะถูกยึดติดด้วยเส้นใยคาคิเลจ หรือที่เรียกว่า interosseous ligaments การเคลื่อนที่ของกระดูกทั้งสองส่วนเกิดขึ้นในลักษณะของการบิดตัวได้เล็กน้อย
- 3.) Synarthroses หรือ synarthrotic joints เป็นลักษณะของข้อต่อที่ไม่ให้กระดูกส่วนประกอบบริเวณนั้นเกิดการเคลื่อนที่ ลักษณะของข้อต่อประเภทนี้ได้แก่ กระดูกในส่วนกะโหลกศีรษะ ซึ่งในตอนเด็กบางข้อต่อของกระดูกในส่วนนี้จะมียึดติดกันเป็นข้ออุนุญาตให้เคลื่อนที่ได้บ้าง แต่เป็นผู้ใหญ่ข้อต่อเหล่านั้นจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกันและไม่สามารถเคลื่อนไหวได้



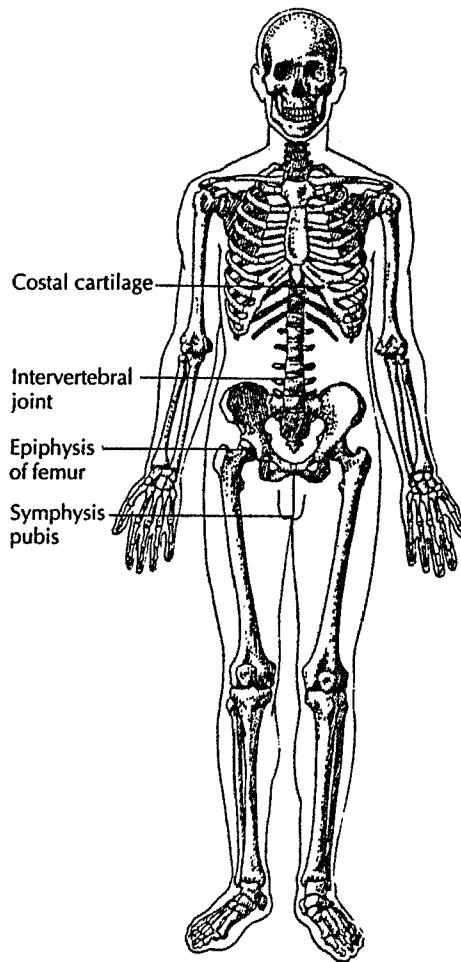
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของข้อต่อที่สามารถเคลื่อนที่ได้เกือบอิสระ บริเวณ (ก.) หัวไหล่ (ข.) ข้อศอก

การแบ่งประเภทของข้อต่ออาจแบ่งได้ด้วยอาศัยความแตกต่างของโครงสร้างของส่วนประกอบที่ว่าเป็นคือ (1) รูปแบบของผิวที่ต่อเชื่อมกัน เช่นลักษณะของผิวบริเวณกระดูกส่วนต่อจะเป็นแบบโพรงลึก โค้งเว้าหรือโค้งนูน และ (2) ประเภทของเนื้อเยื่อที่เชื่อมยึดกระดูกส่วนที่ต่อกัน ความแตกต่างเหล่านี้ทำให้แบ่งประเภทของข้อต่อออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1.) Fibrous joints เป็นข้อต่อชนิดผิวกระดูกส่วนต่อไม่มีช่องว่างหรือโพรงที่ว่างที่กระดูกเกิดการขยับตัว นอกจากนี้กระดูกส่วนต่อยังถูกยึดด้วยเส้นใยอย่างแน่นหนาทำให้ข้อต่อประเภทนี้เคลื่อนที่ได้ไม่ได้หรือได้น้อยมากในบางส่วน เช่น ข้อต่อกระดูกกะโหลก (squamous suture) และ การต่อเชื่อมกระดูกแขนด้วย interosseous ligament ที่แสดงในรูป 3.3 (ก.) และ (ข.) ตามลำดับ
- 2.) Cartilaginous joints ข้อต่อประเภทนี้เป็นลักษณะการต่อเชื่อมของกระดูกที่สำคัญหลายส่วน เช่น บริเวณสะโพก และลำสันหลัง เป็นต้น ข้อต่อแบบนี้ส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ได้ไม่มาก เช่น ข้อต่อกระดูกสันหลัง (intervertebral joint) เนื้อเยื่อบริเวณนี้จะเป็นพวก fibrocartilage สำหรับข้อต่อประเภท hyaline cartilage เมื่อเติบโตเป็นผู้ใหญ่จะกลายเป็นกระดูก เช่น ข้อต่อบริเวณสะโพก (epiphyseal plate of femur) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3 (ค.)



รูปที่ 3.3 (ก.) ข้อต่อบริเวณกระดูกกะโหลก และ (ข.) ข้อต่อของแขนส่วนล่าง



รูปที่ 3.3 (ค.) Cartilaginous joints บนส่วนต่างของร่างกาย

3.) Synovial joints เป็นข้อต่อที่อนุญาตให้กระดูกส่วนต่อเกิดการเคลื่อนไหวได้ในช่วงกว้าง ลักษณะของข้อต่อประเภทนี้คือกระดูกส่วนต่อทั้งสองส่วนจะถูกหุ้มด้วย hyaline articular cartilage ที่ช่องว่างระหว่างผิวคาคิเลจที่บรรจุของเหลวสำหรับหล่อลื่นเรียกว่า synovial fluid และทั้งหมดจะถูกล้อมรอบด้วยผนังที่มีความยืดหยุ่น มีหลายลักษณะดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4

3.5 การเคลื่อนไหวของข้อต่อ

ข้อต่อกระดูกภายในร่างกายส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเป็นแบบที่สามารถเคลื่อนไหวได้ หรือที่เรียกว่า ข้อต่อแบบไซโนเวีย (synovial) การเคลื่อนไหวบริเวณส่วนต่อจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหน้าที่และรูปร่างของกระดูกส่วนนั้นๆ รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นลักษณะของการเคลื่อนไหวแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับข้อต่อประเภทนี้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

- 1.) การเคลื่อนที่แบบแกนเดียว (uniaxial) เป็นการเคลื่อนที่ของกระดูกในแกนเดียว ซึ่งเกิดขึ้นในสองลักษณะคือ แบบงอไปมา (hinge) และ แบบหมุนรอบแกน (pivot) ข้อต่อส่วน

ที่เป็นแบบงอไปมาเช่น ข้อศอก ข้อเข่า และข้อเท้า สำหรับแบบหมุนรอบแกน เช่น ข้อต่อข้อมือของกระดูกสันหลังส่วนคอกับกระดูกโกลกศีรษะ รูปที่ 3.4 (ก.)

- 2.) การเคลื่อนที่แบบสองแกน (biaxial) เป็นการเคลื่อนที่ของกระดูกในส่วนนั้นได้มากกว่าแบบแรก ส่วนต่อของกระดูกจะมีลักษณะเป็นรูปไข่ (ellipsoidal) ทำให้กระดูกในส่วนนั้นเคลื่อนที่ได้สองแกน ทำให้เกิดร่างกายสามารถงอ ยืด บิด และหมุน ได้แก่ ข้อต่อนิ้วส่วนสันมือ มีชื่อว่า metacarpophalangeal (knuckle) joints ของทุกนิ้ว ยกเว้นนิ้วหัวแม่มือ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ข.)
- 3.) การเคลื่อนที่แบบหลายแกน (multiaxial) เป็นลักษณะของข้อต่อที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งสามแกน แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ค.) คือ (1) ผิวแบนเรียบ (gliding) จะมีการเคลื่อนที่แบบสไลด์ในช่องไม่มากนัก (2) อานม้า (saddle) อนุญาตให้มีการเคลื่อนที่ในแบบกางออกและหุบเข้า (abduction และ adduction) และ ร่องทรงกลม (ball-and-socket) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ทุกลักษณะตามที่กล่าวไปแล้วทั้งหมด

3.6 ระบบกล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscle system)

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำหนักเกือบ 50% ของร่างกาย เป็นส่วนของกล้ามเนื้อที่มีอยู่เกือบ 400 มัดทั่วร่างกาย แต่และมัดมีหน้าที่เฉพาะที่แตกต่างกันไปซึ่งเกือบทั้งหมดเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อจะก่อให้เกิดแรงและโมเมนต์กระทำ ต่อข้อต่อส่วนต่างๆ มากน้อยตามแต่ภาระงาน (physical work load) ที่ร่างกายต้องการกระทำ โดยการควบคุมผ่านทางระบบประสาท

3.7 การแบ่งกลุ่มของกล้ามเนื้อ

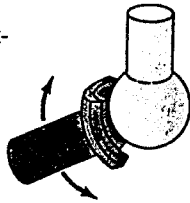
ระบบกล้ามเนื้อภายในร่างกายมนุษย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1.) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscles) เป็นกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานโดยอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องมีการกระตุ้นระบบประสาทจากภายนอก การหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นไปอย่างช้าๆ กล้ามเนื้อชนิดนี้ได้แก่ กล้ามเนื้อบริเวณ กระเพาะอาหาร เส้นเลือด เป็นต้น
- 2.) กล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac muscles) เป็นกล้ามเนื้อที่ทำงานโดยอัตโนมัติ แต่มีการหดตัวที่ช้ากว่า กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อส่วนนี้มีคุณลักษณะที่สำคัญในการกระตุ้นการทำงานด้วยตัวเอง
- 3.) กล้ามเนื้อโครงร่าง (Skeletal muscles) เป็นกล้ามเนื้อที่จะมีการทำงานเนื่องจากการกระตุ้นจากระบบประสาทภายนอก สามารถหดตัวได้อย่างเร็ว ซึ่งมากกว่า กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อชนิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเคลื่อนไหวและทำงานของร่างกาย ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่นักการยศาสตร์ให้ความสำคัญ

UNIAXIAL movement of bone about one axis of rotation

(ก)

Hinge: convex surface of one bone fitted into concave surface of other. Flexion, extension.



Elbow, interphalangeal joints, knee, ankle.



Pivot: central bony pivot surrounded by collar of bone and ligament. Supination, pronation, rotation.



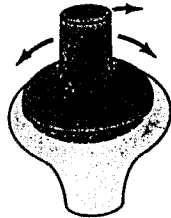
Proximal radioulnar joint, atlantoaxial joint.



BIAXIAL movement of bone about two axes of rotation

(ข)

Condyloid (ellipsoidal): modified ball-and-socket. Flexion, extension, abduction, adduction, circumduction.



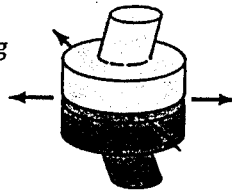
Metacarpophalangeal (knuckle) joints, except thumb.



MULTIAXIAL movement of bone about three axes

(ค)

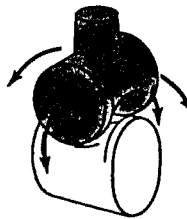
Gliding: essentially flat articular surfaces. Simple gliding movement within narrow limits.



Between articular processes of vertebrae, acromioclavicular joint, some carpal and tarsal bones.



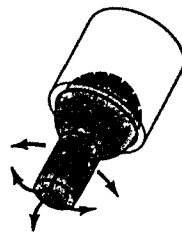
Saddle: opposing articular surfaces with both concave and convex surfaces that fit into one another. Abduction, adduction, opposition, reposition.



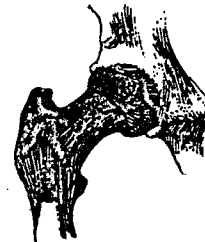
Carpometacarpal joint of thumb.



Ball-and-socket: globelike head of one bone fitted into cuplike concavity of another bone. Flexion, extension, internal rotation, lateral rotation, abduction, adduction, circumduction.



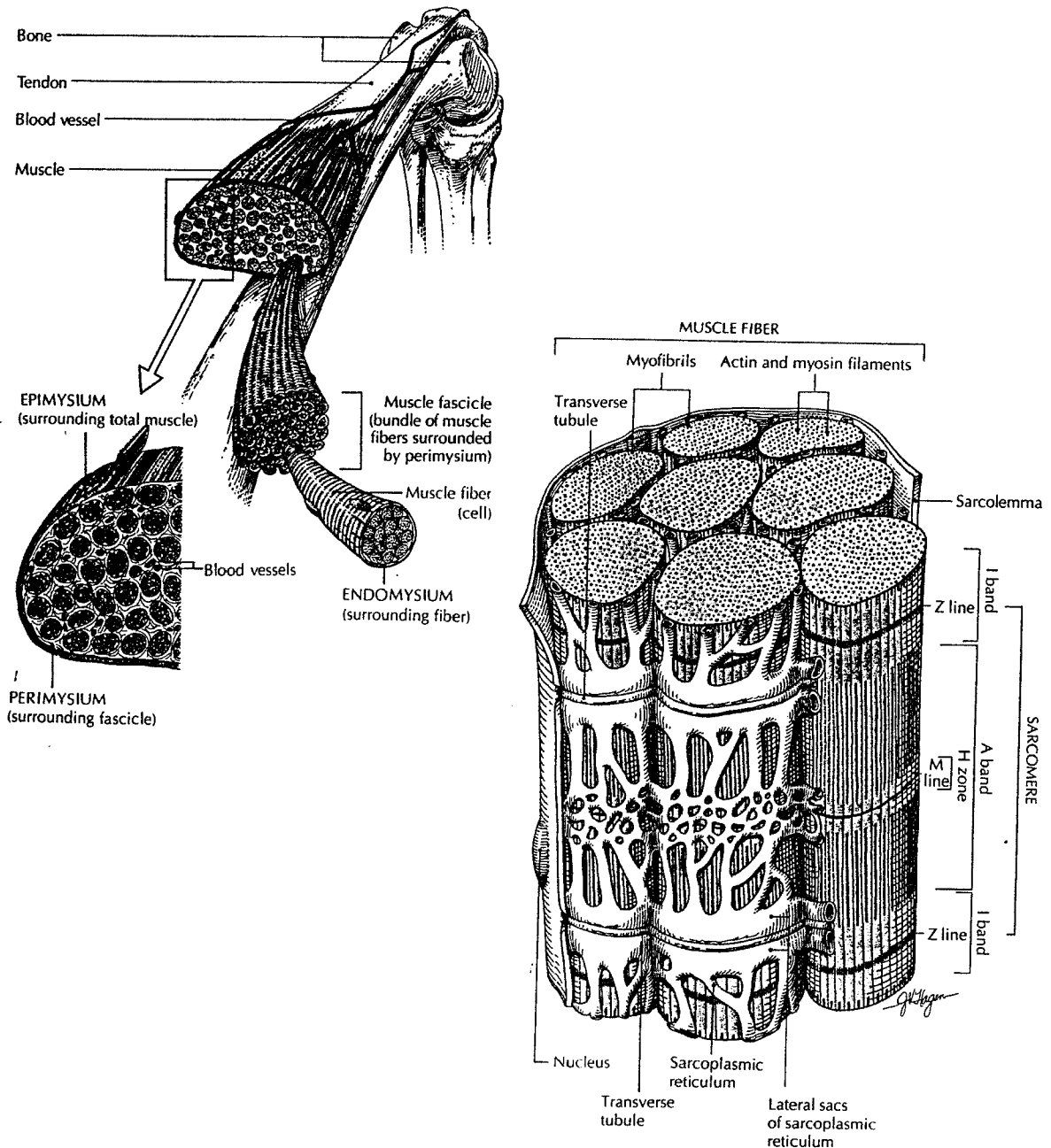
Shoulder joint, hip joint.



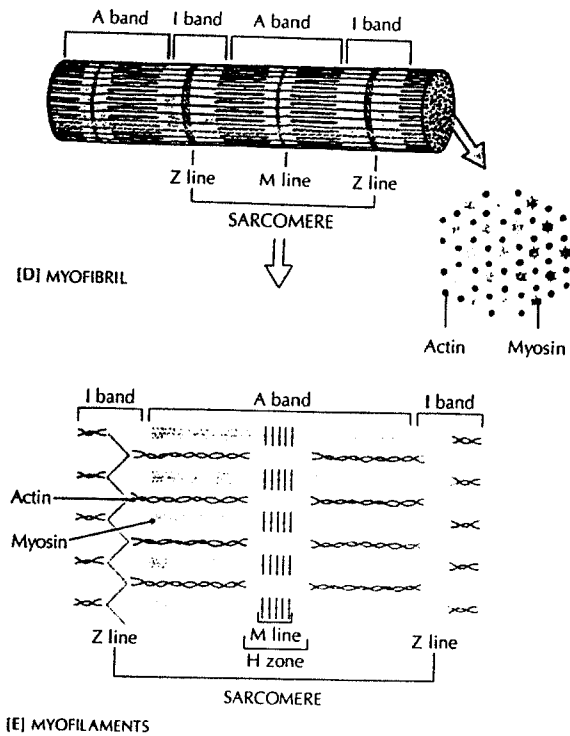
รูปที่ 3.4 โครงสร้างแบบต่างๆ ของข้อแต่แบบ synovial (ก.) เคลื่อนที่แกนเดียว (uniaxial), (ข.) เคลื่อนที่สองแกน (biaxial) และ (ค.) เคลื่อนที่หลายแกน (multiaxial)

3.8 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

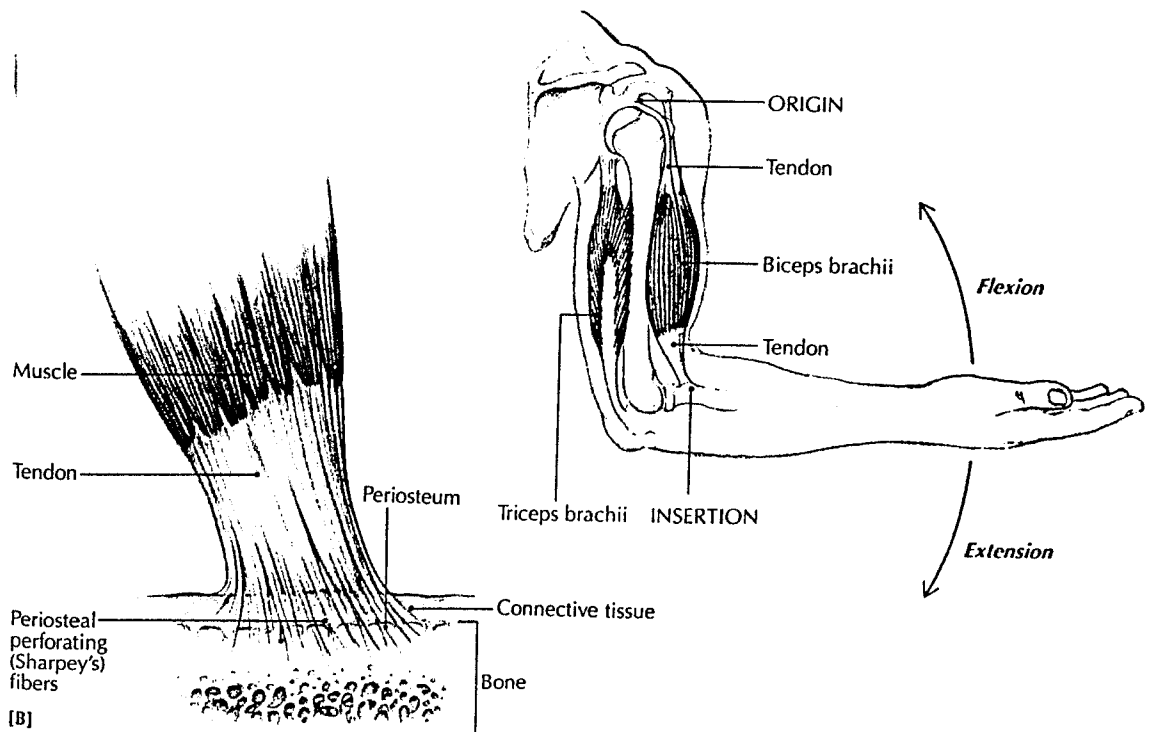
กล้ามเนื้อแต่ละมัดประกอบด้วยเซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ได้แก่ เซลล์กล้ามเนื้อจำนวนมากหรือที่เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fibers) นอกจากนั้นก็เป็นเนื้อเยื่อที่เชื่อมยึดกัน (connective tissue) และ ส่วนของเส้นใยประสาท (nerve elements) เส้นใยกล้ามเนื้อเป็นลักษณะของเซลล์ที่มีรูปร่างยาว (long multinuclear cylindrical cells) เกือบทั้งหมดเรียงตัวตามแนวยาวรวมเข้าเป็นกลุ่มย่อยๆ เรียกว่า myofibrils ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยสองชนิดเรียกว่า แอกติน (actin) และ ไมโอซิน (myosin) ที่ต่อประสานกันดังแสดงในรูปที่ 3.6



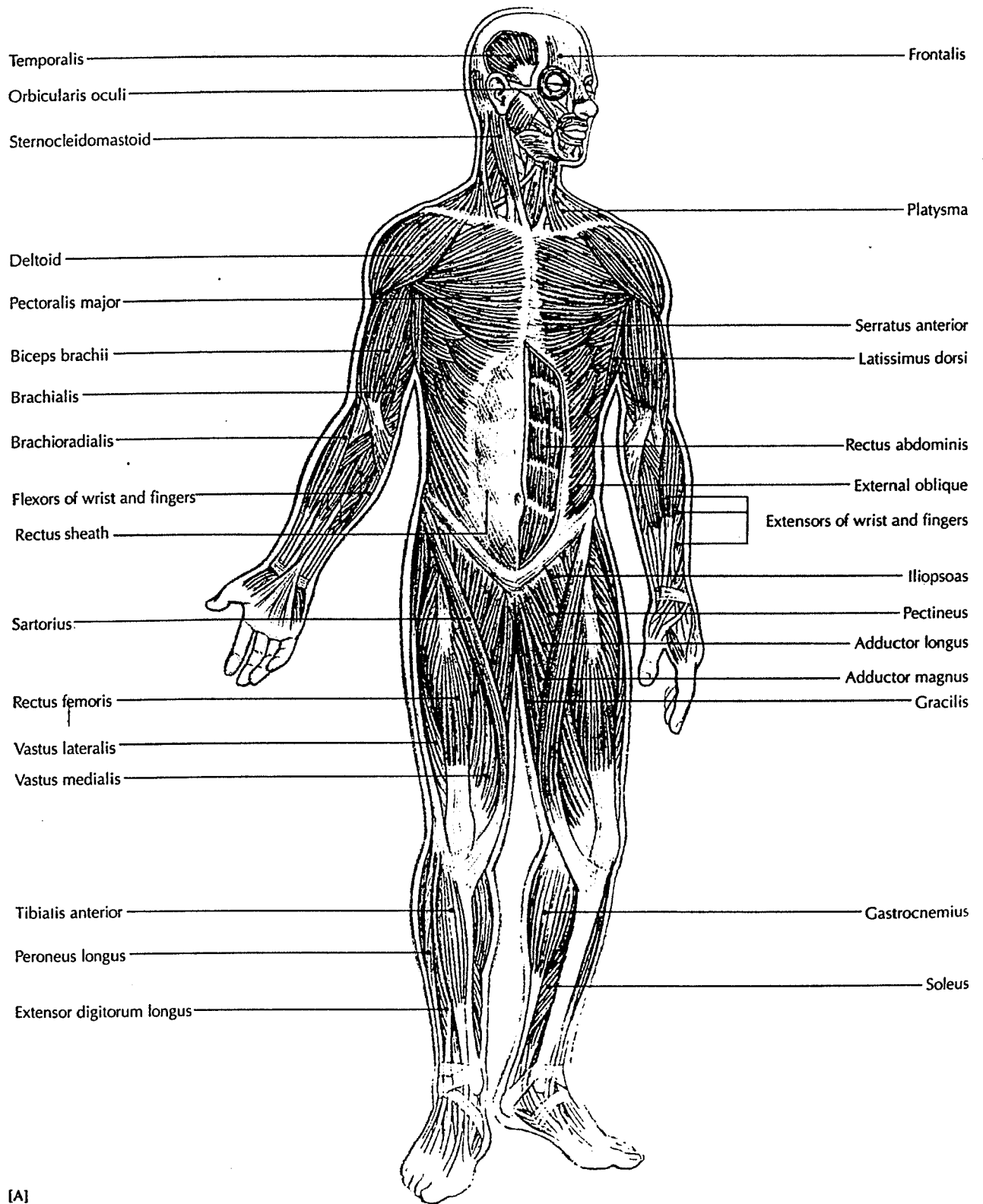
รูปที่ 3.5 ภาพหน้าตัดแสดงโครงสร้างภายในของกล้ามเนื้อ



รูปที่ 3.6 โครงสร้างภายในของกล้ามเนื้อแสดงให้เห็นเส้นใยแอกตินและไมโอซิน

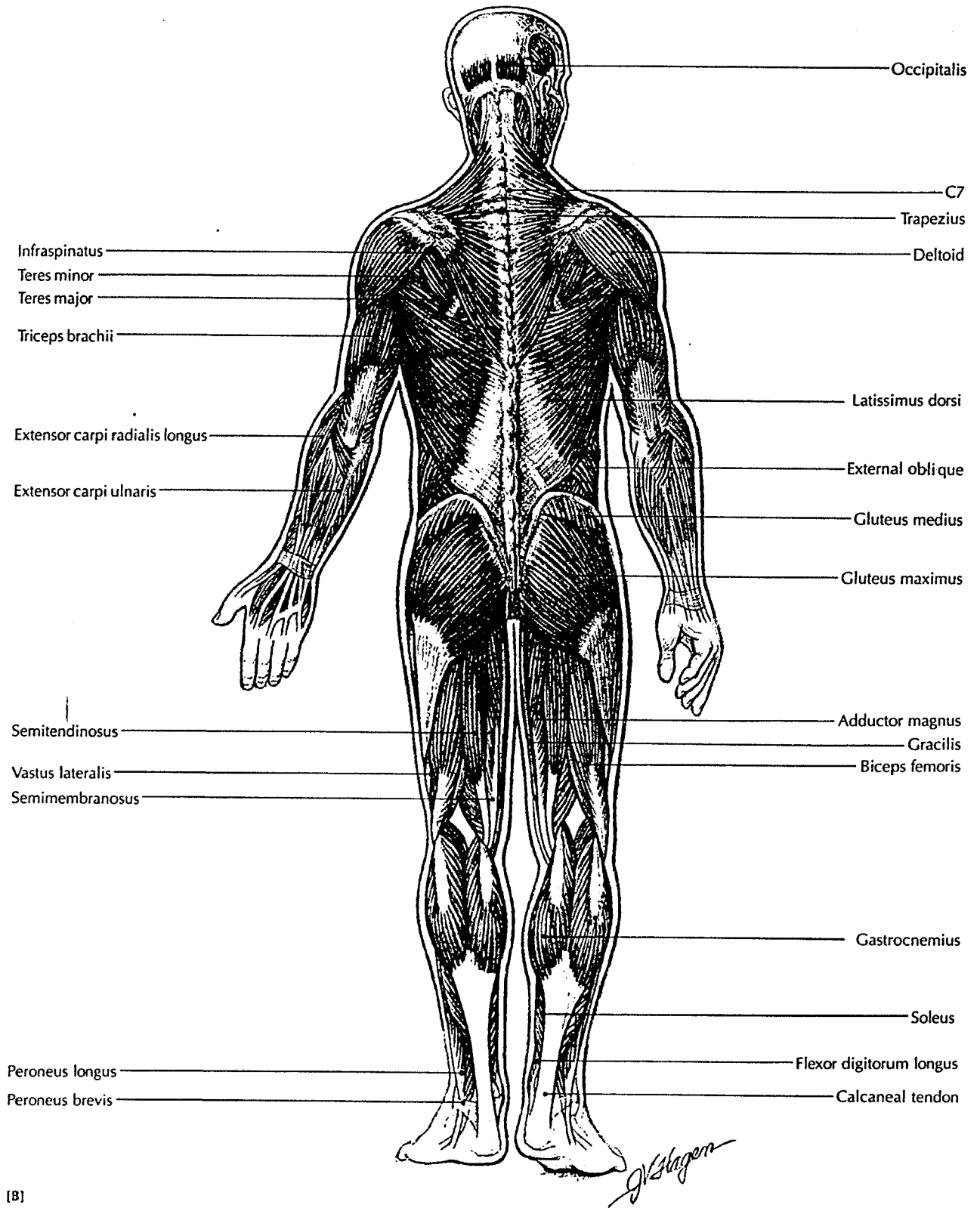


รูปที่ 3.7 (ก.) กล้ามเนื้อและการยึดติดกับส่วนโครงกระดูก



[A]

รูปที่ 3.7 (ข.) กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายในมุมมองด้านหน้า

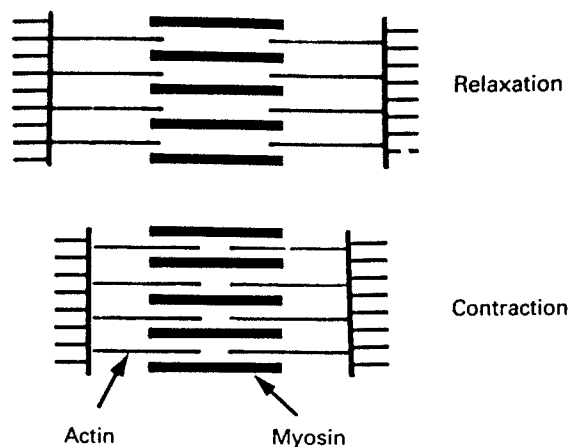


[B]

รูปที่ 3.7 (ค.) กล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกายในมุมมองด้านหลัง

3.9 กำลังของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะสำคัญเพราะจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำเอาพลังงานจากสารอาหารมาใช้เป็นพลังงานทางกลเพื่อให้ร่างกายสามารถเคลื่อนที่และทำงานได้ การทำงานของกล้ามเนื้อเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ (muscular contraction) ซึ่งพบว่ากล้ามเนื้อบางส่วนสามารถหดตัวได้มากถึงครึ่งหนึ่งของความยาวเดิม การหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการเคลื่อนที่เข้าหากันของเส้นใย แอคติน และไมโอซิน การเคลื่อนที่ดังกล่าวสามารถอธิบายให้เห็นชัดเจนมากขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองในรูปที่ 3.8 พลังงานจากกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อยส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากระยะการหดตัวของกล้ามเนื้อนั้น นี่เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้นักกีฬาพยายามที่จะทำให้กล้ามเนื้อของพวกเขายืดออกให้มีความยาวโดยการออกกำลังกายทางท่าทางที่ใช้ในการยืดกล้ามเนื้อ

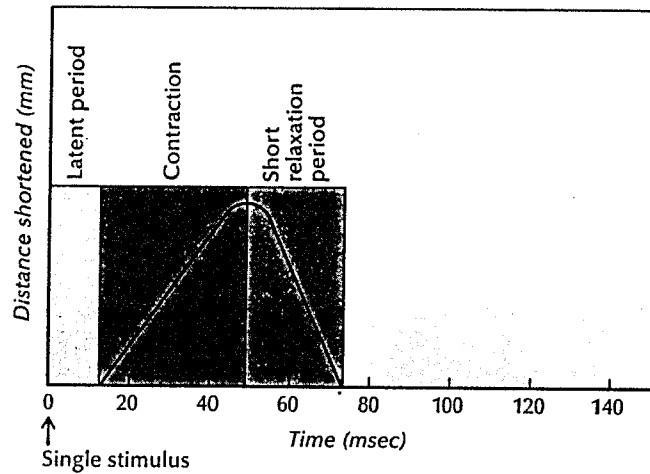


รูปที่ 3.8 แบบจำลองแสดงให้เห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเส้นใยแอคตินและไมโอซิน

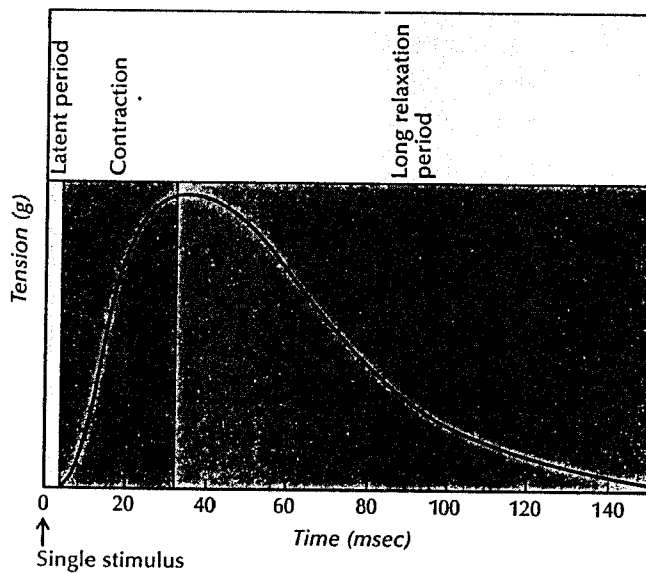
การหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะให้แรงแก่ร่างกายด้วยค่าที่จำกัดค่าหนึ่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อยส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยกล้ามเนื้อ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้ออยู่ระหว่าง $0.3-0.4 \text{ N/mm}^2$ เมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นกล้ามเนื้อขนาดพื้นที่หน้าตัด 100 mm^2 สามารถที่จะใช้แรงได้ถึง $30-40 \text{ N}$ หรือประมาณ $3-4$ กิโลกรัม และนี่เองทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ ด้วยโครงสร้างของร่างกายทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีความแตกต่างกันระหว่างเพศคือหญิงจะน้อยกว่าชายประมาณ 30% เมื่อเปรียบเทียบที่การฝึกฝนที่เท่าเทียมกัน

กล้ามเนื้อจะให้แรงมากที่สุดในช่วงเริ่มต้นของการหดตัวจากภาวะการพัก เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวมีมากที่สุดกำลังของกล้ามเนื้อจะมีค่าน้อยลง รูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของแรงดึงที่กล้ามเนื้อกระทำได้เทียบกับระยะการหดสั้นตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเห็นชัดเจนว่าแรงดึง (tension force) สูงสุดเกิดขึ้นภายในระยะเวลาอันสั้นและเป็นตำแหน่งที่กล้ามเนื้อไม่ได้หดตัวสูงสุด แต่จะ

เกิดขึ้นในช่วงแรกๆ ของการหดตัว รอบระยะเวลาของการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อ (contraction-relaxation cycles of muscles) ที่บางส่วนมีค่าสั้นมาก เช่น กล้ามเนื้อตา ประมาณ 30 msec ในขณะที่บางส่วนยาวมาก เช่น กล้ามเนื้อขาที่เรียกว่า soleus จะมีรอบระยะเวลาของการหดและคลายตัวประมาณ 3000 msec ดังแสดงในรูปที่ 3.10

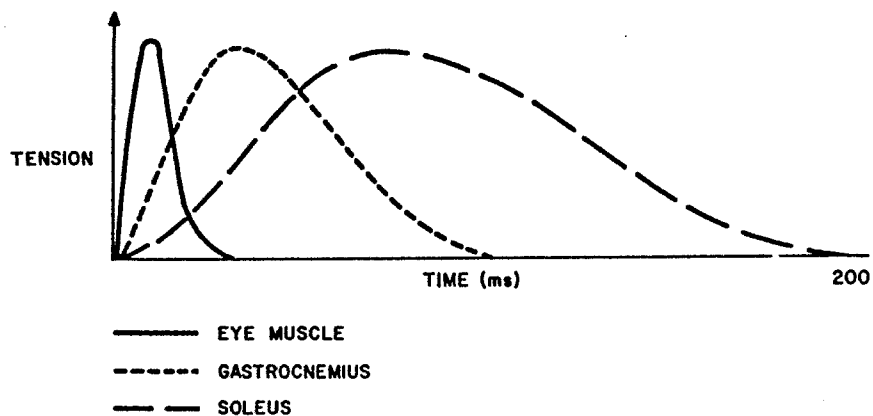


[A] ISOTONIC CONTRACTION



[B] ISOMETRIC CONTRACTION

รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของแรงดึงและเวลาที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกายของกล้ามเนื้อกับรอบระยะเวลาของการหดตัวด้วยความเร็วที่แตกต่างกันของกล้ามเนื้อตา (eye muscle) และกล้ามเนื้อขาส่วนล่าง (gastrocnemius และ soleus)

3.10 การควบคุมประสาทของกล้ามเนื้อ (Neural control of muscles)

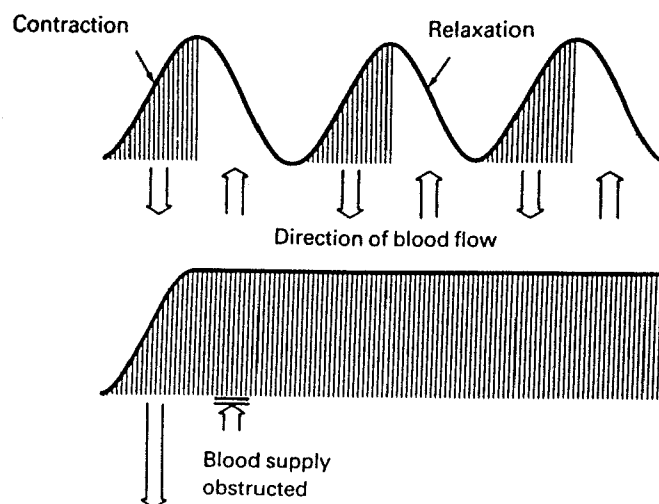
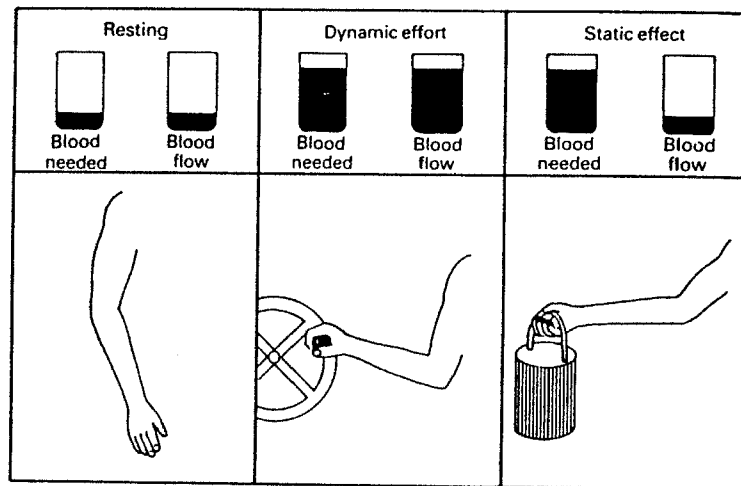
ในการควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อโครงร่าง ระบบประสาทส่วนที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ motor nerves และ sensory nerves

motor nerves มีหน้าที่หลักในการนำสัญญาณผ่านทางเส้นประสาทไปสู่กล้ามเนื้อ ส่วนต่างๆ เป็นผลให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว ในขณะที่ sensory nerves ทำหน้าที่ในการนำส่งข้อมูลกลับไปยังจุดรวมประสาทซึ่งอยู่บริเวณ แนวของกระดูกสันหลัง หรือ ไปยังสมอง

3.11 ความล้าของกล้ามเนื้อ

การหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นเวลานานจะทำให้เกิดความล้าและความเจ็บปวดแก่กล้ามเนื้อส่วนนั้นๆ กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้ตลอดเวลาเนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจะทำให้ระบบการส่งเลือดเข้าสู่ภายในกล้ามเนื้อส่วนนั้นทำไม่ได้ยากหรือบางครั้งอาจไม่สามารถทำได้ ในขณะที่ความต้องการเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อเกิดการใช้งาน ดังนั้นการใช้งานของกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานโดยไม่ผ่อนคลาย หรือที่เรียกว่า การใช้แรงแบบสถิต (static load) จะส่งผลให้ปริมาณเลือดที่สามารถไหลเข้าสู่กล้ามเนื้อทำได้น้อยและเกิดผลเสียมากกว่าการทำงานในแบบเคลื่อนที่ (dynamic effort) รูปที่ 3.11 (ก.) แสดงให้เห็นความต้องการและความสามารถในการไหลของเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อเมื่อทำงานในภาวะต่างๆ สำหรับรูปที่ 3.11 (ข.) แสดงให้เห็นแบบจำลองการไหลของเลือดผ่านเข้าออกจากกล้ามเนื้อคือ ในช่วงของการหดตัวกล้ามเนื้อจะทำให้การบีบให้เลือดไหลออกและเมื่อมีการคลายตัวเลือดใหม่ก็จะนำเอาออกซิเจนและสารอาหารไปยังเซลล์ภายในกล้ามเนื้อ การไหลเข้าออกจะเกิดขึ้นเป็นจังหวะตาม

การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ แต่ถ้ากล้ามเนื้อส่วนใดมีการหดตัวเพียงอย่างเดียวจะทำให้เลือดใหม่ไม่สามารถนำออกซิเจนและสารอาหารไปยังเซลล์ภายในกล้ามเนื้อได้ ลักษณะดังกล่าวจะส่งผลเสียต่อกล้ามเนื้อคือทำให้เกิดความล้าเนื่องจากการสะสมของกรดชนิดหนึ่งชื่อว่า กรดแลคตริก (lactic acid) ที่เป็นผลมาจากการใช้พลังงานในภาวะที่กล้ามเนื้อส่วนนั้นหรือร่างกายขาดออกซิเจน



รูปที่ 3.11 แบบจำลองแสดงการไหลของเลือดเข้าออกจากกล้ามเนื้อของการใช้แรงแบบคงที่ (static effort) และหดคลายสลับไปมา (dynamic effort)

ความล้าของกล้ามเนื้อถูกพิจารณาเป็นพื้นฐานสำคัญของการออกแบบทางการยศาสตร์ เราพอที่จะสรุปได้ว่า การทำงานใดๆ ก็ตามที่มีการใช้งานของกล้ามเนื้อแบบหดและคลายตัวอยู่ตลอดเวลาหรืองานที่กล้ามเนื้อไม่หดตัวอยู่กับที่ จะเป็นผลดีกว่าการทำงานในลักษณะที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวเป็นเวลานาน (static work)

3.12 กระบวนการสร้างพลังงานให้กล้ามเนื้อ

การหดตัวของกล้ามเนื้อต้องอาศัยพลังงาน พลังงานเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นโดยขบวนการทางเคมีภายในร่างกาย โดยการเปลี่ยนสารประกอบฟอสเฟตที่มีพลังงานสูง (energy-rich phosphate compound) ไปเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่มีพลังงานต่ำ กระบวนการดังกล่าวจะปล่อยพลังงานออกมากระทำกับองค์ประกอบทางโปรตีนของเซลล์กล้ามเนื้อที่อยู่บนเส้นใยแอกตินและไมโอซิน ทำให้เส้นใยเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และนำไปสู่การหดตัวของกล้ามเนื้อ

สารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูงของสิ่งมีชีวิตคือ อดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate; ATP) ปฏิกริยาการแตกตัวของสารชนิดนี้จะให้พลังงานจำนวนมากดังอธิบายแล้วข้างต้น หลังจากนั้นสาร ATP จะเปลี่ยนเป็น ADP หรือที่เรียกว่า อดีโนซีน ไดฟอสเฟต (adenosine diphosphate) ซึ่งเป็นสารประกอบพลังงานต่ำ สารประกอบพลังงานสูงเหล่านี้จะถูกเก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อแล้ว ยังถูกสำรองไว้ที่เนื้อเยื่อส่วนอื่นๆ เก็บทั่วร่างกายเป็นการสำรองซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ในภาวะที่กล้ามเนื้อต้องการ แหล่งพลังงานที่อยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้ออีกประเภทหนึ่งนอกเหนือจากสาร ATP คือ ฟอสโฟครีเอทีนหรือฟอสฟาเจน (phosphocreatine หรือ phosphagen) สารเหล่านี้จะแตกตัวออกให้พลังงานในระดับที่ไม่แตกต่างกับ ATP หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็น กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) และ ครีเอทีน (creatine)

สารประกอบฟอสเฟตพลังงานต่ำที่เป็นผลจากการแตกตัวเพื่อให้พลังงานจะถูกเปลี่ยนกลับคืนไปเป็นสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูงในสภาพที่พร้อมจะให้พลังงานอีกครั้ง การเปลี่ยนกลับดังกล่าวจำเป็นต้องใช้พลังงานส่วนที่จะได้มาจากกลูโคส (glucose) และสารประกอบของไขมัน (fat) และโปรตีน (protine)

3.13 บทบาทของ กลูโคส ไขมัน และ โปรตีน

กลูโคส เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ได้จากน้ำตาลที่อยู่ในกระแสเลือดและเป็นพลังงานหลักที่ให้กับร่างกายในขณะทำงาน สำหรับในช่วงที่ร่างกายพักหรือทำงานเบาๆ พลังงานในการเปลี่ยนกลับสารประกอบฟอสเฟตพลังงานต่ำจะมาจากสารประกอบของไขมันและโปรตีนซึ่งจะอยู่ในรูปของ กรดไขมันและกรดอะมิโน (amino acid) ดังนั้นทั้งกลูโคส ไขมัน และโปรตีนถือว่าเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานกับร่างกายโดยทางอ้อม

3.14 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ กลูโคส

กลูโคสจะถูกลำเลียงไปตามกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ต่างๆ ของกล้ามเนื้อโดยจะอยู่ในรูปของ กรดไพรูวิก (pyruvic acid) พลังงานจะได้รับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ pyruvic acid ซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

1.) ในภาวะที่ใช้ ออกซิเจน (aerobic glycolysis) ปฏิกริยาระหว่างกรดไพรูวิกกับออกซิเจน จะให้พลังงาน น้ำ และ คาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานถูกใช้เพื่อเปลี่ยนสารประกอบฟอสเฟต พลังงานต่ำกลับไปเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่มีพลังงานสูง และพร้อมที่จะให้พลังงานแก่เซลล์ ของกล้ามเนื้อเพื่อให้เกิดการหดตัว

2.) ในภาวะที่ขาดออกซิเจน (anaerobic glycolysis) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อเป็นเวลานานโดยไม่คลายตัวจะทำให้เลือดไม่สามารถนำออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ของกล้ามเนื้อนั้นๆ ได้ ทำให้เกิดภาวะการขาดออกซิเจน ในสภาพดังกล่าวกรดไพรูวิกจะยังสามารถแตกตัวเพื่อให้พลังงานได้ แต่ผลที่เกิดขึ้นหลังปฏิกริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดกรดชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกว่า กรดแลคติก (lactic acid) ซึ่งถือว่าเป็นของเสียที่จะส่งผลต่อความล้าและการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อเมื่อกรดดังกล่าวถูกสะสมในปริมาณมาก การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของกรดไพรูวิกในภาวะขาดออกซิเจนจะให้พลังงานน้อยลง แต่ประสิทธิภาพที่การทำงานของกล้ามเนื้อสูงจะสูงขึ้น

3.15 ภาวะการขาดออกซิเจน

เมื่อคนใช้กำลังจากกล้ามเนื้ออย่างหนัก จะทำให้มีความต้องการใช้ออกซิเจน ในปริมาณที่สูงขึ้น และทำให้ร่างกายไม่สามารถทำงานส่งออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายได้ทันกับปริมาณที่ต้องการ เราเรียกรวมภาวะดังกล่าวว่าการหายใจไม่ทัน (out of breath) เมื่อร่างกายต้องทำงานอยู่ในลักษณะขาดออกซิเจนเป็นเวลานานก็จะเกิดการสะสมของกรดแลคติก ส่งผลต่อความล้าของร่างกาย อย่างไรก็ตามกรดแลคติกสามารถเปลี่ยนกลับคืนสู่กรดไพรูวิกได้เมื่อร่างกายได้พักและมีปริมาณออกซิเจนที่เข้าสู่ร่างกายเพียงพอ เพราะออกซิเจนส่วนที่เหลือจากการใช้งานของร่างกายจะรวมกับกรดแลคติกเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก ทำให้ปริมาณของกรดแลคติกลดลง จนเข้าสู่ภาวะปกติที่ไม่ส่งผลต่อความล้าของกล้ามเนื้อ รูปที่ 3.12 เป็นแผนภาพที่จะแสดงให้เราเข้าใจถึงความเกี่ยวข้องของกระบวนการต่างๆ ที่นำไปสู่การหดตัวของกล้ามเนื้อ

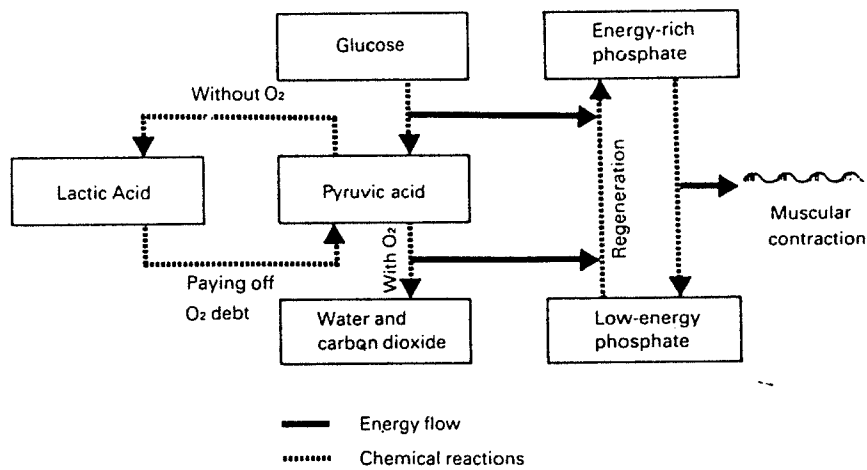
3.16 การไหลเวียนของเลือดในร่างกาย

สารอาหาร เช่น กลูโคส ไขมัน โปรตีน ตลอดจน ออกซิเจนจะถูกลำเลียงไปยังเซลล์ของกล้ามเนื้อผ่านตัวระบบการไหลเวียนของเลือด เมื่อกล้ามเนื้อออกแรงหรือร่างกายมีความต้องการใช้แรงจากกล้ามเนื้อมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อระบบการไหลเวียนของเลือด ซึ่งพอที่จะสรุปได้เป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

- 1.) ความต้องการโลหิตไหลเวียนมากขึ้น
- 2.) หัวใจทำงานเร็วขึ้น
- 3.) ความดันโลหิตสูงขึ้น
- 4.) เกิดการขยายของเส้นเลือดที่จะนำไปสู่กล้ามเนื้อนั้น

จากผลการศึกษาของ Scherrer 1967 ซึ่งถูกสรุปไว้ในหนังสือของ Grandjean (1995) แสดงให้เห็นความแตกต่างของปริมาณเลือดหรืออัตราการไหลของเลือดในร่างกายขณะที่ทำงานที่ภาระงานแตกต่างกันดังนี้

ขณะที่กล้ามเนื้อพัก อัตราการไหล	4 ml/min/100 g muscle
ทำงานไม่หนักมาก อัตราการไหล	80 ml/min/100 g muscle
เมื่อต้องทำงานหนักมาก อัตราการไหล	150 ml/min/100 g muscle



รูปที่ 3.12 แผนภาพกระบวนการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อ

3.17 ความร้อนในร่างกาย

ความร้อนถูกผลิตขึ้นในร่างกายในขณะที่กล้ามเนื้อมีการใช้งานซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในร่างกายเพื่อใช้ในการสร้างสารประกอบฟอสเฟตพลังงานสูง ความร้อนที่ถูกสร้างภายในกล้ามเนื้อประกอบด้วย

- 1.) ความร้อนที่เกิดในขณะร่างกายพัก ซึ่งมีค่าประมาณ 1.3 kJ/min สำหรับผู้ชายที่มีน้ำหนักตัว 70 kg เป็นความร้อนที่เกิดจากการใช้พลังงานในการรักษาโครงสร้างของโมเลกุลและศักย์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในเซลล์ของกล้ามเนื้อ
- 2.) ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงาน (initial heat) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาที่กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ทำหรือการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ
- 3.) ความร้อนที่เกิดขณะร่างกายพัก (Recovery heat) เกิดขึ้นในช่วงหลังจากที่กล้ามเนื้อคลายจากการหดตัวแล้ว สามารถเกิดต่อเนื่องไปจนถึง 30 นาทีหลังจากการพัก

3.18 การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าภายในกล้ามเนื้อ

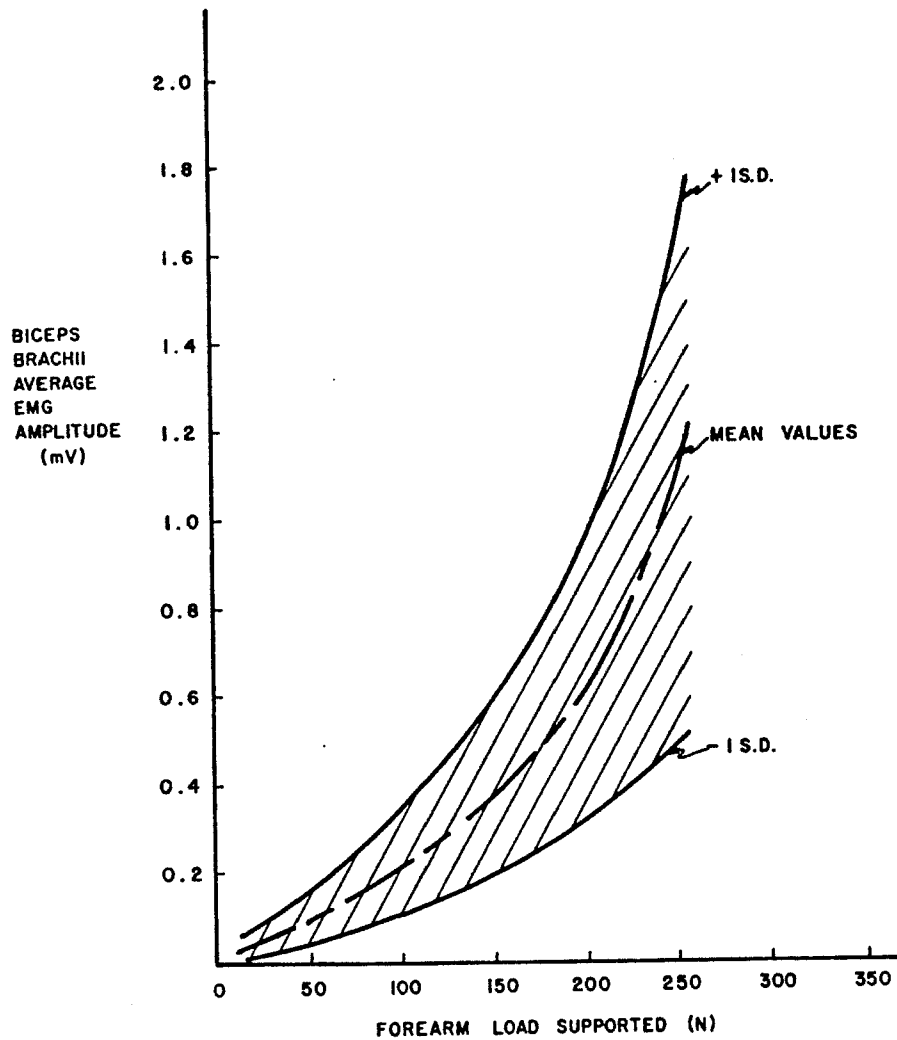
เป็นที่ทราบกันดีว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อที่เป็นผนังบางๆ (membrane) ซึ่งจะมีการแลกเปลี่ยนประจุ (ions) กันอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่พักศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อจะมีค่าอยู่ระหว่าง 70-90 mV (Chaffin and Anderson, 1991) โดยภายนอกเซลล์จะมีค่าเป็นบวก เมื่อเทียบกับภายใน การเปลี่ยนแปลงขั้วของเซลล์จะถูกกระตุ้นผ่านทางเส้นประสาทมายังเซลล์ของเส้นใยกล้ามเนื้อซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกระตุ้นให้ทำงานของระบบประสาท ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์ได้ทำการวัดค่าศักย์ทางไฟฟ้าได้ด้วยการติดตัวรับสัญญาณซึ่งอาจเป็น แบบเข็ม (needle electrode) หรือ แบบแผ่น (surface electrode) ไว้ที่บริเวณกล้ามเนื้อเพื่อบันทึกค่าดังกล่าว เราเรียกการวัดค่าศักย์ทางไฟฟ้านี้ว่า electromyography (EMG) ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่วัดของกล้ามเนื้อ (myoelectric activity) เป็นผลรวมที่เกิดขึ้นจากหลายๆ หน่วยของเซลล์กล้ามเนื้อ

โดยทั่วไปในการศึกษาและวิจัยทางการแพทย์นิยมใช้ตัวรับสัญญาณแบบแผ่น ซึ่งติดไว้ที่ผิวหนังบริเวณกล้ามเนื้อที่ต้องการวัด มากกว่า แบบเข็มที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลทางคลินิกเพื่อประกอบการวินิจฉัยโรค เหตุผลหลักของการบันทึกค่า EMG เพื่อที่จะทำนายการออกแรงดึงของกล้ามเนื้อ ความสัมพันธ์ของค่า EMG กับ แรงของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ซึ่งพอสรุปได้ว่า การเพิ่มของแรงดึงภายในกล้ามเนื้อจะทำให้ค่าของ EMG มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำที่พยายามโดยกล้ามเนื้อกับค่าของ EMG ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.13 เป็นค่าเฉลี่ยของ EMG ที่วัดได้โดยใช้ตัวรับสัญญาณแบบแผ่น พบว่าการออกแรงดึงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า EMG เพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่อยู่ในลักษณะเชิงเส้นตรง (Zuniga and Simmons, 1969)³

3.19 หลักการวิเคราะห์ความล้าของกล้ามเนื้อด้วยค่า EMG

การวิเคราะห์ความล้าของกล้ามเนื้อที่นิยมใช้ มี 2 วิธีการ วิธีแรกคือการเปรียบเทียบกับค่าศักย์ทางไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวสูงสุด (maximal voluntary contraction; MVC) เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขการออกแรงของกล้ามเนื้อในท่าทางหนึ่งๆ ที่จะให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อในส่วนที่สนใจมากที่สุด หลังจากนั้นค่าของ MVC ก็จะถูกใช้ในการเปรียบเทียบกับการทำงานในภาวะต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาเกณฑ์ที่เหมาะสมของการทำงานเพื่อไม่ให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ซึ่งพอที่จะสรุปกว้างๆ ได้ดังนี้ (Grandjean, 1995) การออกแรงในภาวะสถิต (static muscle effort) จะทำให้การไหลเวียนของเลือดเข้าออกระหว่างกล้ามเนื้อทำได้จำกัดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแรงที่กล้ามเนื้อใช้ ถ้าแรงที่ใช้เป็น 60% ของค่าสูงสุด การไหลเวียนของเลือดจะถูกขัดขวางโดยสิ้นเชิง การทำงานในลักษณะดังกล่าวต่อเนื่องกันจะส่งผลให้เกิดความล้าต่อกล้ามเนื้อส่วนนั้นๆ ถ้าแรงที่ใช้น้อยกว่า 15-20% ของค่าสูงสุด การไหลเวียนของเลือดจะยังสามารถทำงานเป็นปกติ อย่างไรก็ตามยังมีผลการศึกษาของนักวิจัยบางท่าน (Nemecek et al., 1971 และ van Wely, 1970) พบว่า การใช้แรงในภาวะสถิต ของ

กล้ามเนื้อที่มีค่าอยู่ระหว่าง 15-20% ของค่าสูงสุดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ตลอดวัน เป็น
 เดือนๆ อาจนำไปสู่ความล้าและอาการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EMG (mV) บริเวณ biceps brachii ที่วัดด้วยตัวรับสัญญาณแบบแผ่น (surface electrode) กับการใช้แรงดึงของกล้ามเนื้อแขน

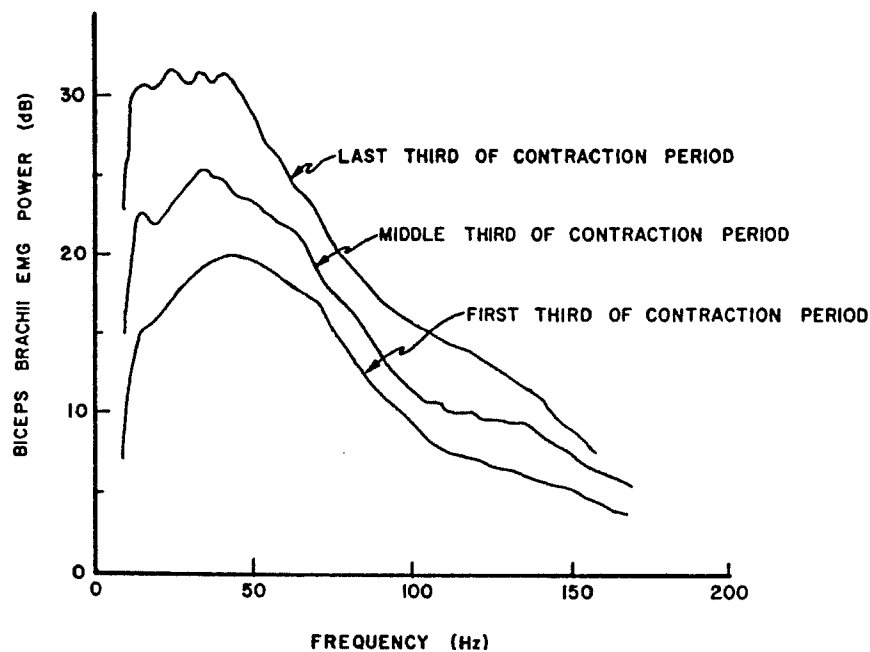
อีกวิธีการหนึ่งที่มีผู้ได้พยายามศึกษาและใช้ในการวัดความล้าของกล้ามเนื้อคือการเปรียบเทียบขนาดสัญญาณและความถี่ของค่า EMG ที่วัดได้ในภาวะต่างๆ กัน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.14 (Stern, 1971) พบความแตกต่างที่พอสรุปได้ว่าความล้าของกล้ามเนื้อส่งผลให้ขนาดของสัญญาณมีค่ามากขึ้นในขณะที่ความถี่ของสัญญาณมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ยังมีผู้พบว่ากล้ามเนื้อส่วนที่มีความล้าอาจทำให้ค่าความถี่ของสัญญาณมีค่าน้อยกว่าความถี่ของสัญญาณในขณะพักถึง 2 เท่า (Stulen และ DeLuca, 1979; Lindstrom et. al., 1977) การศึกษาดังกล่าวดูเหมือนว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หาระยะเวลาจำกัดที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อการทำงานเมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในลักษณะการใช้งานแบบสติด

3.20 สถานะการณ์ที่ควรพิจารณาของการใช้แรงในภาวะสถิต ที่อาจเป็นอันตราย

1. ถ้าแรงที่ใช้มีค่ามาก และอยู่ในภาวะสถิตเป็นเวลาตั้งแต่ 10 วินาทีขึ้นไป
2. ถ้าแรงที่ใช้ขนาดปานกลางแต่คงอยู่เป็นเวลานาน 1 นาที หรือมากกว่า
3. ถ้าแรงที่ใช้มีน้อยและถูกกระทำต่อเนื่องเป็นเวลานาน 4 นาที หรือมากกว่า

3.21 ลักษณะของงานที่มักจะพบว่ามีการใช้แรงของกล้ามเนื้อในภาวะสถิต

- งานส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก้มตัวไปข้างหน้าหรือด้านข้าง
- การถือของไว้ในมือ
- การขนย้ายหรือเคลื่อนย้ายสิ่งของส่วนที่แขนเคลื่อนที่อยู่ในแนวระดับ
- การใช้แรงของขาเพื่อกดคันบังคับด้วยเท้า
- ยืนในตำแหน่งหนึ่งๆ เป็นเวลานาน
- การผลักหรือลากวัตถุหนักๆ
- การทำงานที่ต้องโน้มศีรษะไปด้านหน้าหรือด้านหลัง
- การทำงานที่ต้องยกไหล่อยู่เป็นเวลานาน



รูปที่ 3.14 ความแตกต่างของค่า EMG บริเวณกล้ามเนื้อ biceps brachii ของการใช้แรงในภาวะปกติและภาวะที่มีความล้า โดยการออกแรงในครั้งที่ 3 จะให้ค่าสัญญาณ EMG ที่แตกต่างกับ 2 ครั้งแรก

3.22 ผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดจากการใช้แรงของกล้ามเนื้อในภาวะสถิต

การใช้กล้ามเนื้อแรงจากกล้ามเนื้อมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายดังนี้

1. การใช้พลังงานที่สูงขึ้น
2. อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น
3. ต้องการระยะเวลาในการพักที่ยาวนาน

3.23 ปัญหาของโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ (musculoskeletal troubles)

การใช้แรงจากกล้ามเนื้อในภาวะคงที่เป็นเวลานาน และซ้ำกันทุกวัน สามารถนำไปสู่การทำลายของ joints, ligaments และ tendons การบาดเจ็บอย่างรุนแรงหรือเรื้อรังเหล่านี้โดยปกติถูกสรุปอยู่ในคำนิยามว่า musculoskeletal disorders

3.24 ลักษณะของการบาดเจ็บที่พบในโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ (musculoskeletal disorders)

1. ข้ออักเสบ (arthritis) เกิดขึ้นบริเวณข้อต่อเนื่องจาก mechanical stress
2. การอักเสบของเส้นเอ็น (tendon sheaths) ที่เรียกว่า tendinitis or peritendinitis
3. การอักเสบของบริเวณจุดยึดเอ็น (the attachment-points of tendons)
4. อาการเสื่อมของข้อ (Symptoms of arthrosis; chronic degeneration of the joints)
5. การกระตุกและเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ (Painful muscle spasms)
6. ปัญหาของหมอนรองกระดูก (intervertebral disc troubles)

3.25 ปัญหาการบาดเจ็บของโครงกระดูกและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal troubles)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- 1.) ปัญหาชั่วคราว (reversible musculoskeletal troubles)
 - เกิดเป็นช่วงสั้นๆ
 - เกิดบริเวณกล้ามเนื้อและเอ็น และจะหายไปทันทีที่ภาวะการใช้แรงแบบคงที่หมดไป
 - ปัญหาเหล่านี้อาจเรียกว่า the pains of weariness
 - 2.) ปัญหาถาวร (presistent musculoskeletal troubles)
 - เกิดกับกล้ามเนื้อและเอ็นที่ยึดออก (strained)
 - มีผลกระทบต่อข้อต่อ (joints) และ เนื้อเยื่อที่อยู่ติดกันด้วย
 - อาการบาดเจ็บไม่หายไปเมื่องานหยุด แต่ยังคงอยู่ต่อไป
 - การบาดเจ็บในลักษณะสามารถทำให้เกิดการอักเสบ (inflammatory) และ การเสื่อมในส่วน of เนื้อเยื่อที่ถูกทำด้วยแรงที่มาก (the overloaded tissues)
 - พนักงานที่มีอายุมากมีแนวโน้มที่จะมีปัญหาในลักษณะ presistent นี้
- ปัญหาในระดับนี้ จะส่งผลเสียต่อพนักงานที่ทำงานติดต่อกันเป็นเวลาหลาย ๆ ปี เช่น

- การอักเสบเรื้อรัง (chronic inflammations) ของ tendon sheaths
- การเปลี่ยนรูปของข้อต่อ (deformations of joint)

3.26 ทำางการทำงานกับปัญหาการใช้กล้ามเนื้อในภาวะสถิต

ปัญหาที่คาดว่าจะเป็ผลของการใช้แรงของกล้ามเนื้อในภาวะคงที่สามารถพิจารณาได้จากลักษณะต่างๆ ต่อไปนี้

ท่าทาง	ผลกาที่เป็ไปได้
การยืนในสถานที่หนึ่งๆ	เท้าและขา เกิดเส้นโลหิตพอง (varivose veins)
การนั่งตัวตรงโดยปราศจากที่พิงหลัง	การยึดตัวของกล้ามเนื้อหลัง
การนั่งเก้าอี้ที่มีที่นั่งสูงเกินไป	หัวเข่า, น่องขา และเท้า
การนั่งเก้าอี้ที่มีที่นั่งต่ำเกินไป	หัวไหล่ และคอ
ลำตัวโค้งไปด้านหน้าในขณะที่นั่งหรือยืน	บริเวณเอว และ ส่วนของหมอนรองกระดูก
แขนยื่นไปด้านหน้า ด้านหลัง หรือด้านข้าง	หัวไหล่และแขนส่วนบน เนื้อที่หุ้มบริเวณหัวไหล่ (periarthritis of shoulders)
ศีรษะก้มไปด้านหน้าหรือเงยหลัง	คอ และหมอนรองกระดูก
การบีบจับเครื่องมือหรือ อุปกรณ์ที่ไม่เป็นธรรมชาติ	ข้อมือ การอักเสบที่เป็ไปได้ของเอ็น

เอกสารอ้างอิง

- Anthony, C.P. and Kolthoff, N.J. (1975) Textbook of Anatomy and Physiology, 9th ed. C.V. Mosby, St Louis.
- Chaffin, D.B. and Andersson, G.B. (1991) Occupational Biomechanics. John Wiley & Son, Inc. UK.
- Granjean, E. (1995) . "Fitting the Task to the Man" 4th Edition. Taylor & Francis. London. UK.
- Tayyari, F. and Amith, J.L. (1997) "Occupational Ergonomics : Principles and applications." Chapman & Hall. London, UK.
- Zuniga, E.N. and Simons, D.G. (1969) Nonlinear relationship between averaged electromyogram potential and muscle tension in normal subjects. Arch. Phys. Med. Rehab. , 50, 613-620.