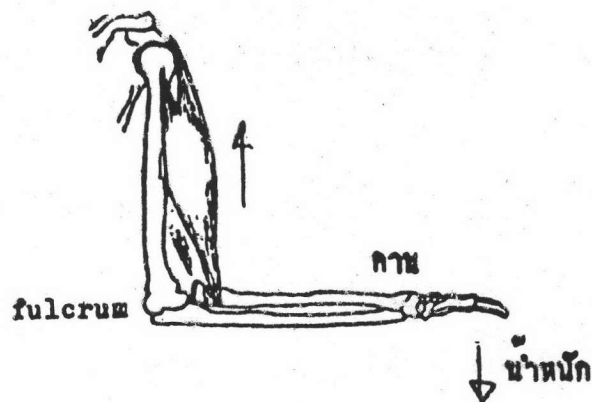


บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 กล้ามเนื้อลาย (Striated voluntary or Skeletal muscle) เป็นกล้ามเนื้อชนิดหนึ่งที่พบติดกับกระดูกหรือพังผืด ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกล้ามเนื้อบริเวณแขนและลำตัว กล้ามเนื้อลายส่วนใหญ่ทำงานภายใต้อำนาจจิตใจโดยการทำงานร่วมกับกระดูก เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหว กระดูกทำหน้าที่เป็นคาน น้ำหนักร่างกายและหรือวัตถุที่ต้องการเคลื่อนไหวเป็นความต้านทาน ข้อกระดูกเป็นจุด fulcrum แรงที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อจะเป็นแรงต่อสู้กับความต้านทาน เพื่อทำให้เกิดภาวะสมดุล ดังรูปที่ 1 (ราตรี สุดทรวง, 2531)



รูปที่ 1 แสดงการทำงานของกล้ามเนื้อ biceps ร่วมกับกระดูก

2.2 ลักษณะและการทำงานของกล้ามเนื้อลาย

ลักษณะทางกายวิภาค รูปที่ 4 (ราตรี สุตทรวง, 2531) มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างลักษณะทางกายวิภาคของกล้ามเนื้อและความสามารถในการทำงานของมัน ในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะทางกายวิภาคอย่างย่อๆ เพื่อใช้ประกอบการศึกษาหลักการหดตัวของกล้ามเนื้อ

1. ลักษณะที่เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่ากล้ามเนื้อประกอบด้วยเซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม แต่ละเซลล์เรียกว่า ใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) ผนังเซลล์เรียกว่า sarcolemma เซลล์กล้ามเนื้อต่างๆ รวมกลุ่มกันโดยมีเนื้อเยื่อประสาน (connective tissue) ที่เรียกว่า collagen fibers ยึดเอาไว้ มีชื่อเรียกต่างกันแล้วแต่ตำแหน่งที่อยู่ (วินิตา บัณฑิต, 2535) ซึ่งได้แก่

1. Epimysium คือเนื้อเยื่อประสานที่ล้อมรอบกล้ามเนื้อหลายมัด (muscle bundles or fasciculi)

2. Perimysium คือเนื้อเยื่อประสานที่ล้อมรอบกล้ามเนื้อแต่ละมัด (muscle fasciculus)

3. Endomysium คือเนื้อเยื่อประสานมีลักษณะเป็นร่างแหบางๆ คลุมอยู่รอบเซลล์ของกล้ามเนื้อแต่ละอัน

ภายในกล้ามเนื้อลายจะพบว่ามี

1.1 นิวเคลียสอยู่ผิวของผนังเซลล์ อาจจะมีอันเดียวหรือหลายอันก็ได้ การที่นิวเคลียสอยู่ที่ผิวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้กล้ามเนื้อลายหดตัวได้เร็วกว่ากล้ามเนื้อชนิดอื่น

1.2 ไซโทพลาสซึมที่เรียกกันว่า sarcoplasm ภายใน sarcoplasm มีไมโทคอนเดรียเป็นแหล่งพลังงาน

1.3 Myofibrils ซึ่งเป็นกลุ่มของโปรตีนในกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการหดตัว (contractile proteins หรือ myofilaments) กลุ่มโปรตีนยึดหดตัวเหล่านี้ถูกหุ้มด้วย sarcoplasmic reticulum ซึ่งก็พัฒนามาจาก endoplasmic reticulum ของเซลล์ชนิดอื่นนั่นเอง ความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดตามโครงสร้างระหว่าง sarcoplasmic reticulum และ myofilaments มีความสำคัญเกี่ยวกับความคล่องตัวของการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ

โปรตีนที่ทำหน้าที่หดตัวมีหลายชนิดและมีขนาดต่าง ๆ กัน การเรียงตัวของ myofilaments ที่มีความหนาไม่เท่ากันนี้ ทำให้เราเห็น "ลาย" ในเซลล์กล้ามเนื้อ เมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์โปรตีนยึดหดตัวเหล่านี้มีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน คือ

ก. Anisotropic หรือ A band เป็นลายหนา ทึบแสง และไม่ค่อยสม่ำเสมอ (anisotropic) A band มี myofilaments หลายชนิดปนกันอยู่ จึงทำให้เห็นไม่สม่ำเสมอ แต่โปรตีนยึดหดตัวที่สำคัญที่สุดคือ myosin ตรงกลางของ A band เป็นบริเวณที่เรียกว่า H zone บริเวณนี้มี myosin อยู่เป็นส่วนใหญ่

ข. Isotropic หรือ I band เป็นลายบาง ค่อนข้างโปร่งแสง และสม่ำเสมอ (isotropic) ส่วนใหญ่มี myofilaments ชนิดเดียวคือ actin filaments จึงทำให้ลักษณะค่อนข้างสม่ำเสมอดี I band แต่ละอันถูกแบ่งกลางด้วยเส้นทึบเรียกว่า Z line ระยะระหว่าง Z line 2 อันเรียกว่า sarcomere

2. ลักษณะที่เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนได้ให้ความกระจ่างต่อโครงสร้างละเอียดของเซลล์กล้ามเนื้อเพิ่มเติม จากความรู้ที่ได้จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา ทำให้เราเข้าใจการทำงานของเซลล์ชนิดนี้ดีขึ้นความรู้เพิ่มเติมที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีดังนี้

2.1 ผนังเซลล์กล้ามเนื้อ (sarcolemma) ได้ยื่นลงไปเป็น myofibrils ส่วนของผนังเซลล์ที่ยื่นลงไปนี้เรียกว่า transverse tubular system (T system หรือ T tubule) หน้าที่สำคัญของ T system คือ ช่วยกระจายศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานจากผนังเซลล์กล้ามเนื้อมายัง myofibrils ซึ่งอยู่ในกลางเซลล์ ทำให้ myofibrils แต่ละส่วนได้รับศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานอย่างสม่ำเสมอ ถ้าให้สารเคมีที่ไปทำลาย T system แม้จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานใน sarcolemma จะไม่มีการหดตัวเกิดขึ้น

2.2 Sarcoplasmic reticulum ของเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งเจริญมาจาก endoplasmic reticulum ได้พัฒนาไปมาก โดยมันจะหุ้ม myofibrils เราจึงอาจเรียก sarcoplasmic reticulum ว่า longitudinal tubular system เนื่องจาก sarcoplasmic reticulum จำเป็นต้องได้รับศักย์ไฟฟ้าขณะทำงาน จึงจะทำให้มีการหดตัวของกล้ามเนื้อได้ จึงจำเป็นที่ลักษณะทางโครงสร้างของ sarcoplasmic reticulum ต้องสัมพันธ์กันกับ T system อย่างใกล้ชิด กล่าวคือ บริเวณปลายสุดของ sarcoplasmic reticulum จะขยายออก เรียกชื่อว่า terminal cisterna และจะประกบกันเป็น triad หรือ diad กับ T system

2.3 สะพานเชื่อม (cross bridges) ถ้าใช้กำลังขยายมากๆ จะพบว่า มีรอยต่อระหว่าง myosin และ actin filaments บริเวณ A band รอยต่อนี้เรียกว่า สะพานเชื่อม (cross bridges)

ลำดับการทำงานของกล้ามเนื้อในการหดตัว กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะ
 ตอบสนองที่สำคัญอันหนึ่งของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อต้องเกิดร่วมกับ
 ประสาทเสมอ อาจเกิดในอำนาจจิตใจ (voluntary) หรือนอกอำนาจจิตใจ
 (reflex responses) ก็ได้ ในการหดตัวของกล้ามเนื้อมีปรากฏการณ์ต่าง ๆ
 เกิดขึ้นตามลำดับ ดังนี้

1. ต้องมีกระแสประสาทเกิดขึ้นในเส้นประสาท presynaptic
 กระแสประสาทนี้จำเป็นสำหรับการหลั่งสารสื่อประสาท acetylcholine
 synaptic cleft

2. Acetylcholine จะรวมกับ receptor protein ที่
 ผนังเซลล์ไอออนต่าง ๆ เกิด depolarization ของผนังเซลล์ ถ้า
 depolarization ไม่มากพอ ก็จะอยู่เฉพาะที่ end plate ไม่กระจาย
 ไปทั่วเซลล์กล้ามเนื้อ เราเรียกว่าเกิด end plate potential

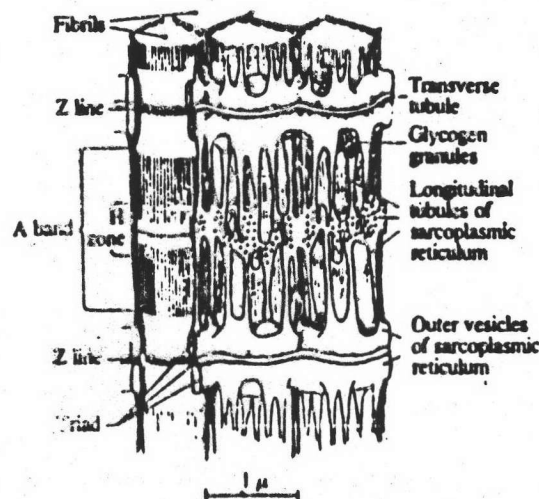
ถ้า depolarization ถึง threshold ก็จะเกิด action
 potential ของกล้ามเนื้อ หรือเรียกว่า muscle impulse ซึ่งจะกระจาย
 ไปทั่วผนังเซลล์กล้ามเนื้อ รวมทั้งกระจายไปถึง myofibril ตรงใจกลาง
 เซลล์กล้ามเนื้อ การเกิดและการกระจายของศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานคล้ายคลึงกับ
 เซลล์ประสาท

3. ต้องมีขบวนการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานเป็น
 พลังงานกล ได้แก่ การหดตัวของกล้ามเนื้อ ขบวนการเปลี่ยนพลังงานนี้เรียกว่า
 excitation contraction coupling (E-C coupling) (ราตรี สุดทรวง,
 2531)

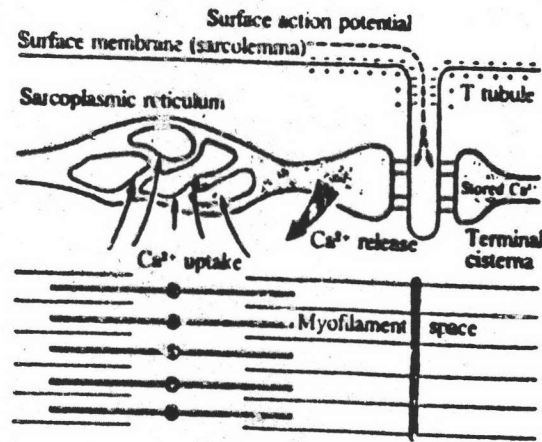
ขบวนการ Excitation contraction coupling รูปที่ 2,3 เมื่อ depolarization ที่ motor end plate มีมากจนเกิดศักย์ไฟฟ้า ขณะทำงาน ซึ่งกระจายไปตาม T system ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของ diad หรือ triad ใน triad นี้ T system อยู่ห่างจาก terminal sac ของ sarcoplasmic reticulum เพียง 120 อังสตรอม ศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานที่กระจายไปตาม T system จะกระตุ้นให้ sarcoplasmic reticulum ซึ่งมีแคลเซียมมาเป็นจำนวนมาก หลั่งแคลเซียมออกสู่ myofilaments ซึ่งถูกล้อมด้วย sarcoplasmic ซึ่งรับผิดชอบต่อการหดตัวและแรงที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ

4. Myofilaments จะต้องเลื่อนเข้าหากัน I band จะแคบลง ส่วน A band จะมีขนาดคงที่

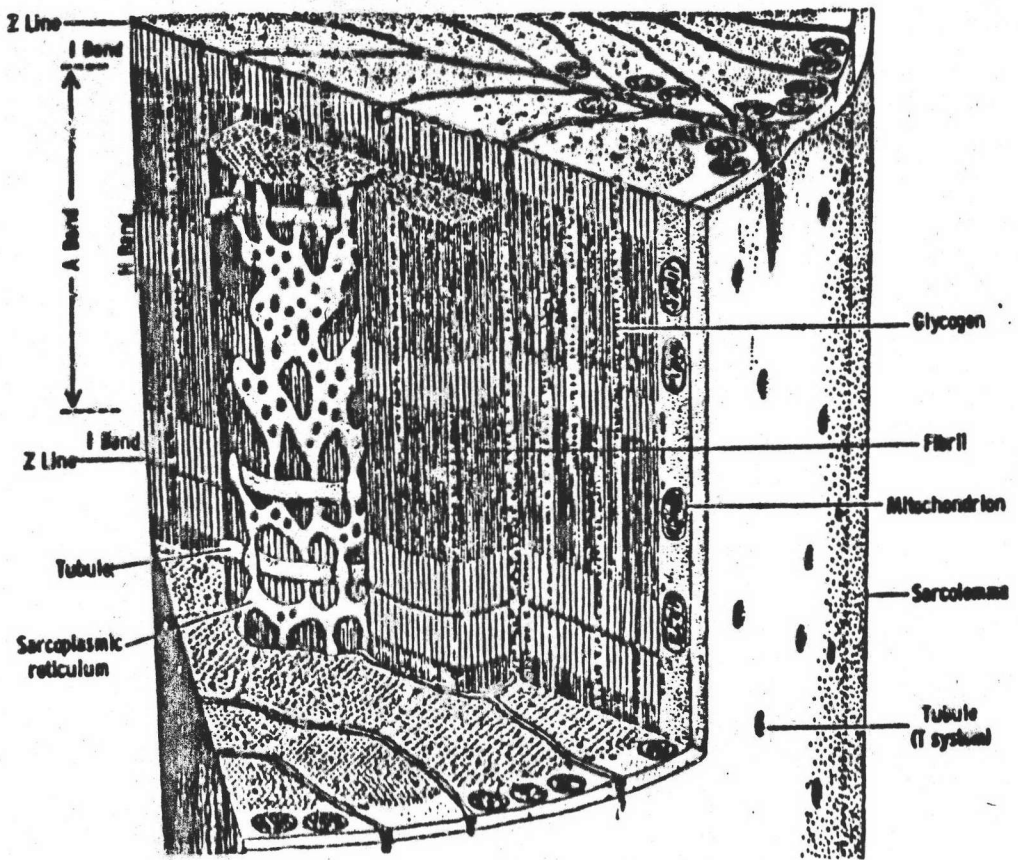
5. ต้องมีขบวนการที่ทำให้เกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อ เพื่อให้กล้ามเนื้อกลับสู่สภาพก่อนทำงาน (ราตรี สุดทรวง, 2531)



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของ longitudinal (LT) และ Transverse tubule (TT) ที่ต่อเป็น triad กับ Z line



รูปที่ 3 แผนผังแสดง excitation-contraction coupling



รูปที่ 4 แสดงลักษณะทางกายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย

การเคลื่อนเข้าหากันของ myofilaments

1. ชนิดของโปรตีนใน myofilaments

1.1 Myosin โปรตีนนี้ถูกแยกออกได้เป็น heavy meromyosin (HMM) และ light meromyosin (LMM) HMM แยกออกได้อีกเป็น HMM S1 และ HMM S2 HMM S1 เป็นส่วนที่มี ATPase activity จะย่อย ATP ทำให้ crossbridges ไปจับกับ actin การย่อย ATP จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมี แคลเซียมออกมาจาก sarcoplasmic reticulum

1.2 Actin ที่ทำหน้าที่หดตัวจะต้องมีลักษณะเป็นเส้น (Fibrous actin) ซึ่งมี 2 เส้นไขว้กันในแต่ละหน่วยที่เห็นใน I band

1.3 Tropomyosin มีลักษณะเป็นเส้นพันอยู่รอบโมเลกุลของ actin

1.4 Troponin จะรวมกับ tropomyosin เป็น tropomyosin-troponin complex ซึ่งในสภาวะปกติจะจับกับ actin ไม่ให้ actin ไปรวมกับ myosin

2. ความสัมพันธ์ระหว่าง myofilaments ต่าง ๆ ในขบวนการหดตัว ถ้ามีการกระตุ้นที่ผนังเซลล์ เกิดศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งกระจายไปตาม T system ไปกระตุ้น sarcoplasmic reticulum ให้หลั่งแคลเซียมออกมา แคลเซียมจะไปกันไม่ให้ Tropomyosin-troponin complex ทำงาน actin ก็สามารถรวมกับ myosin ได้ นอกจากนี้แคลเซียมจะกระตุ้น myosin ATPase enzyme ย่อย ATP ได้พลังงาน ทำให้สะพานเชื่อมทำงานดึงเอา actin filaments ผ่านเข้า myosin filaments เข้าไปด้านใน เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ขบวนการคลายตัวของกล้ามเนื้อ

ในระหว่างที่มี depolarization ผ่าน T tubule จะทำให้มีการหลั่งแคลเซียมออกจาก terminal cisternae ของ sarcoplasmic reticulum ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ หลังจากนั้นการกระตุ้นหยุดลง แคลเซียมจะกลับคืนสู่ sarcoplasmic reticulum โดยขบวนการแคลเซียมปั๊ม ในขบวนการนี้แคลเซียมจะหลุดออกจาก myofibrils ไปเกาะกับผนังของ sarcoplasmic reticulum ที่ผนัง sarcoplasmic reticulum มี เอนไซม์ ATPase ย่อย ATP ให้พลังงานปั๊มเอาแคลเซียมที่รวมตัวกับผนังของ sarcoplasmic reticulum ให้เข้ามาอยู่ใน lumen ของ sarcoplasmic reticulum และจากนั้นจะกลับคืนสู่ที่เดิมที่ terminal cisternae เมื่อขาดแคลเซียมใน myofibrils สะพานเชื่อมก็จะแยกตัวออก และ enzyme actomyosin ATPase ก็ไม่ทำงาน กล้ามเนื้อก็จะคลายตัวกลับคืนสู่สภาพปกติ

วินิดา บัณฑิต, 2535 ได้รวบรวมเกี่ยวกับ Innervation และ blood supply ของกล้ามเนื้อลายไว้ดังนี้

1. Motor unit ประกอบด้วย nerve fiber 1 อันไปเลี้ยงกล้ามเนื้อทั้งมัด

2. Myoneural junction (motor end plate) เป็นอาณาเขตที่ motor nerve ไปสัมผัสกับ muscle fiber ในการทำงานของกล้ามเนื้อ เส้นประสาทส่วนปลายจะปล่อย chemical mediator ออกไปกระตุ้นกล้ามเนื้อให้หดตัว

เส้นเลือดที่ไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้ออยู่เป็นจำนวนมากส่วนใหญ่เป็นชนิด continuous blood vessels

2.3 ชนิดต่าง ๆ ของกล้ามเนื้อลาย

1. Red muscle เมื่อภาวะสด ๆ เห็นเป็นสีแดง เพราะมีส่วนประกอบของ myoglobin และเส้นเลือดจำนวนมาก เซลล์กล้ามเนื้อมีขนาดเล็ก ภายในเซลล์มี mitochondria ขนาดเล็ก แต่มีจำนวนมาก mitochondrial cristae ค่อนข้างใหญ่ แสดงว่าการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้ต้องเกี่ยวข้องกับ oxidative phosphorylation นอกจากนี้ยังพบว่า Z line หนา และมี sarcoplasmic reticulum (SER) แบบที่ complex การทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้เป็นแบบที่มีการหดตัวอย่างช้า แต่สามารถทำงานทนอยู่ได้เป็นเวลานาน ๆ เช่น กล้ามเนื้อที่แขนและขา เป็นต้น










2. White muscle เมื่อภาวะสด ๆ เห็นเป็นสีขาว เพราะมี glycogen เป็นจำนวนมาก มีเส้นเลือดเลี้ยงน้อย เซลล์กล้ามเนื้อชนิดนี้ที่ขนาดใหญ่ และภายในเซลล์มี mitochondria ขนาดเล็กและจำนวนน้อย Z line แคน sarcoplasmic reticulum แบบง่าย ๆ การทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้ได้พลังงานจาก anaerobic glycolysis ดังนั้นสามารถหดตัวได้เร็ว แต่ไม่ทนทานต่อการทำงาน เช่น กล้ามเนื้อที่หน้าอก เป็นต้น

3. Intermediate muscle มีลักษณะกึ่งกลางระหว่างกล้ามเนื้อลายทั้งสองชนิดที่กล่าวมาแล้ว ส่วนใหญ่มีโครงสร้างคล้าย red muscle แต่มี sarcomeres เล็กกว่า และมี Z line ที่บาง


Victor Dubowitz, (1985) แบ่งชนิดของกล้ามเนื้อลายตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้


1. ลักษณะที่ปรากฏทางกายวิภาค (Anatomical appearance)
 - a. Red หรือ White fiber
 - b. Dark หรือ Light fiber
 - c. High หรือ Low granularity fiber
 - d. Rich หรือ Poor inprotoplasm fiber
2. ลักษณะที่ปรากฏทางสรีรวิทยา (Physiological behaviour)
 - a. Slow หรือ Fast fiber
 - b. High หรือ Low resistance to fatigue fiber
3. คุณสมบัติทางชีวเคมี (Biochemical properties)
 - a. High หรือ Low respiratory activity fiber
 - b. High หรือ Low enzyme หรือ chemical constituents fiber
4. ลักษณะที่ปรากฏทางฮิสโตเคมี (Histochemical feature)
 - a. High หรือ Low enzyme content fiber
 - b. Enzyme profile of fiber
 - c. Immonocytochemical characterization

นอกจากนี้ Brooke and Kaiser (1970) ได้แบ่งชนิดของกล้ามเนื้อ
 ไลยจากการย้อมด้วยเทคนิค ATPase ซึ่งเป็นเทคนิคทางฮิสโตเคมี
 (Histochemical technique)

Muscle fiber type	1	2A	2B
ATPase (pH 9.4)			
ATPase preincubated pH 4.6			
ATPase preincubated pH 4.3			

 = ตัดสีจางมาก

 = ตัดสีจาง

 = ตัดสีเข้มมาก

และมีผู้ทำการศึกษาร่วมกันระหว่าง เทคนิคทางฮิสโตเคมี กับ
ลักษณะที่ปรากฏทางสรีรวิทยา ได้ผลเปรียบเทียบกัน ดังนี้

Histochemical type	Physiological nomenclature		
	Bernard et al (1971)	Peter et al (1972)	Bruke et al (1971, 1973)
1	Slow twitch intermediate	Slow twitch oxidative	Slow twitch
2A	Fast twitch red	Fast twitch oxidative glycolytic	Fast twitch fatigue resistant
2B	Fast twitch white	Fast twitch glycolytic	Fast twitch fatigue resistant

2.4 ความผิดปกติของกล้ามเนื้อลายเมื่อเส้นประสาทที่มาเลี้ยงถูกตัดขาดออกไปก็จะเกิด atrophy คือการที่ขนาดของกล้ามเนื้อลดลงเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ของกล้ามเนื้อลดลง myofibrils ลดน้อยลง นอกจากนี้กล้ามเนื้อลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ คือ

1. Fibrillation เป็นลักษณะที่มองเห็นการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย เป็นระลอกคลื่นเป็นระยะ ๆ ซึ่งเกิดจากการที่ muscle fiber ในแต่ละ fiber บีบคลายตัวไม่ประสานสัมพันธ์กัน (uncoordinate contraction) ซึ่งเป็นอาการที่เกิดขึ้นเองไม่สามารถควบคุมได้ แต่จะไม่พบในกล้ามเนื้อลายที่ปกติ Schiff (1851) เป็นผู้รายงานเกี่ยวกับการเกิด fibrillation ของกล้ามเนื้อที่ขาดเส้นประสาทมาเลี้ยงเป็นคนแรก

2. Acetylcholine (Ach) Hypersensitivity เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อลายที่ขาดเส้นประสาทไปเลี้ยงทำให้ไวต่อการถูกกระตุ้นจาก Ach เนื่องจาก Ach receptor ซึ่งปกติจะอยู่บริเวณ end plate ของ sarcolemma เข้าร่วมกับเยื่อหุ้มเซลล์ของกล้ามเนื้อลาย (Axelsson, 1959) แต่การเกิด fibrillation จะไม่เกี่ยวข้องกับ Ach hypersensitivity

3. Other membrane change ค่าของ resting membrane potential ของกล้ามเนื้อที่ขาดประสาทไปเลี้ยงจะต่ำลง และกล้ามเนื้อลายที่ขาดเส้นประสาทไปเลี้ยงจะเพิ่มความต้านทานของ transmembrane (Ware, 1954; Albuquerque and MacIsaac, 1970; Guth, Kemmerer, and Samaras, 1981) นอกจากนี้บริเวณ endplate membrane ของกล้ามเนื้อลายที่ขาดเส้นประสาทไปเลี้ยงจะเกิดคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า pacemaker characteristics ซึ่งทำให้เกิด fibrillation กับกล้ามเนื้อลายได้ (Bekmar, 1966; Purves, 1974)

4. Other electrical and mechanical change

กล้ามเนื้อลายที่ขาดเส้นประสาทไปเลี้ยงจะสูญเสียการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าที่มีช่วงกระตุ้นสั้นมาก (น้อยกว่า 10 มิลลิวินาที) ถ้าช่วงกระตุ้นมากกว่า 10 มิลลิวินาทีจะสามารถทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวได้ (Nelson and Carrier, 1987)

ถ้ามีการต่อการเส้นประสาทในระยะ 3-4 เดือนแรก กล้ามเนื้อลายจะสามารถทำงานได้อย่างเดิม แต่ถ้าเส้นประสาทถูกตัดขาดนานเกิน 4 เดือน เซลล์กล้ามเนื้อจะเสื่อมสลายไปด้วย ถ้านานถึง 2 ปี จะถูกแทนที่ด้วยไขมัน และ fibrous tissue กล้ามเนื้อจะหดตัวสั้นลง มีการเกร็งตัวแข็งของกล้ามเนื้อ เรียก contracture กล้ามเนื้อจะมีความต้านทานสูงต่อการถูกดึงให้ยืดออก (ราตรีสุดทรวง, 2531)

2.5 แสงเลเซอร์ (laser light)

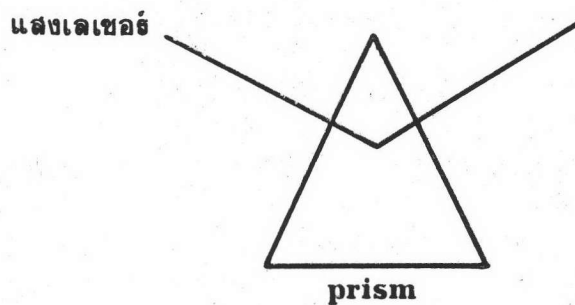
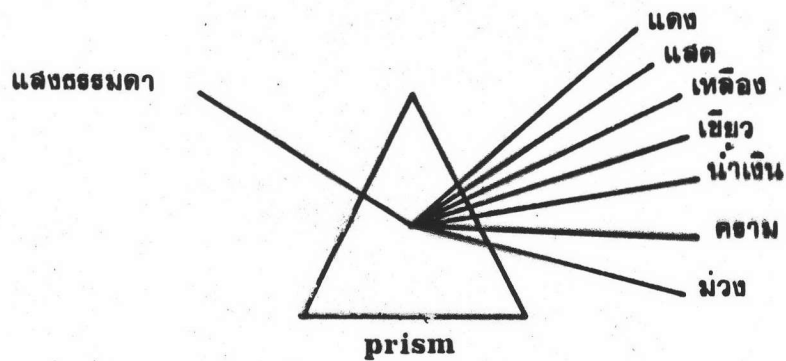
Laser เป็นคำย่อมาจาก Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation

ในปี ค.ศ. 1957 Dr. Charles Towners และ Dr. AL. Schawlow ได้เสนอบทความอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการให้กำเนิดแสงเลเซอร์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 Dr. Maiman ได้สร้างเครื่องเลเซอร์ขึ้นเป็นเครื่องแรก

2.6 คุณสมบัติของแสงเลเซอร์

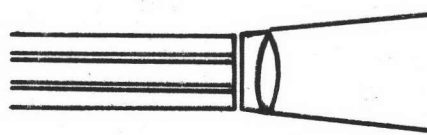
แสงเลเซอร์มีคุณสมบัติแตกต่างจากแสงปกติธรรมดา คือ

1. Monochromatic หมายถึง แสงเลเซอร์ที่จะมีลำแสงเป็นสีเดียวตลอด ซึ่งแสงธรรมดaprะกอบด้วยลำแสงหลายสี ซึ่งจะเห็นได้จากการผ่านลำแสงธรรมดาสู่ prism จะมีการแยกแสงเป็นหลายสี ที่เรียกว่า spectrum ส่วนแสงเลเซอร์เมื่อผ่าน prism จะยังคงลำแสงสีเดียว ดังรูปที่ 5

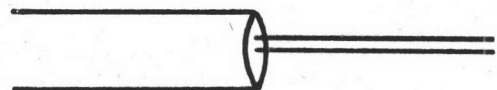


รูปที่ 5 แสดงลักษณะของแสงธรรมดาและแสงเลเซอร์เมื่อผ่าน prism

2. Minimal beam divergence หมายถึง แสงเลเซอร์จะ
 ไม่มีการกระจายความเข้มของแสงมากเหมือนแสงธรรมดา ดังรูปที่ 6 ซึ่งในระยะ
 ทาง 1,000 ฟุต ห่างจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมดา จะกระจายลำแสงขยายคลุม
 พื้นที่ 200 ฟุต แต่ละแสงเลเซอร์จากระยะเดียวกัน กระจายคลุมเนื้อที่เพียง 1 ฟุต
 ซึ่งทำให้แสงเลเซอร์มีความสว่างมากกว่า และให้พลังงานมากกว่าแสงธรรมดา
 ทั่วไป แสงธรรมดาจากหลอดไฟฟ้า 3 วัตต์ ไม่สามารถอ่านหนังสือได้ ต้องใช้ถึง
 40 วัตต์ ในขณะที่แสงเลเซอร์ 3 วัตต์จะเผาแท่งไม้ได้ ถ้า 40 วัตต์สามารถ
 ละลายโลหะได้



แสงปกติ

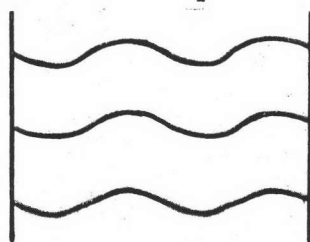


แสงเลเซอร์

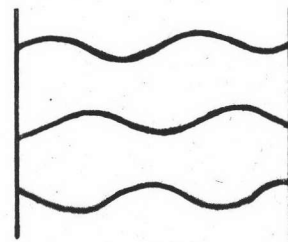
รูปที่ 6 แสดงการกระจายของแสงปกติและแสงเลเซอร์

3. Coherence หมายถึง แสงเลเซอร์มีความเป็นระเบียบ
 คลื่นแสงมีความพร้อมเพรียงเริ่มจากจุดเดียวกัน ซึ่งต่างจากแสงธรรมดาที่คลื่นแสง
 ไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 7 เปรียบแสงเลเซอร์เหมือนการเดินแถวของทหารที่เป็น
 ระเบียบใน

ขณะที่แสงธรรมดาเหมือนฝูงชนที่เดินกันอย่างไม่เป็นระเบียบ



แสงเลเซอร์

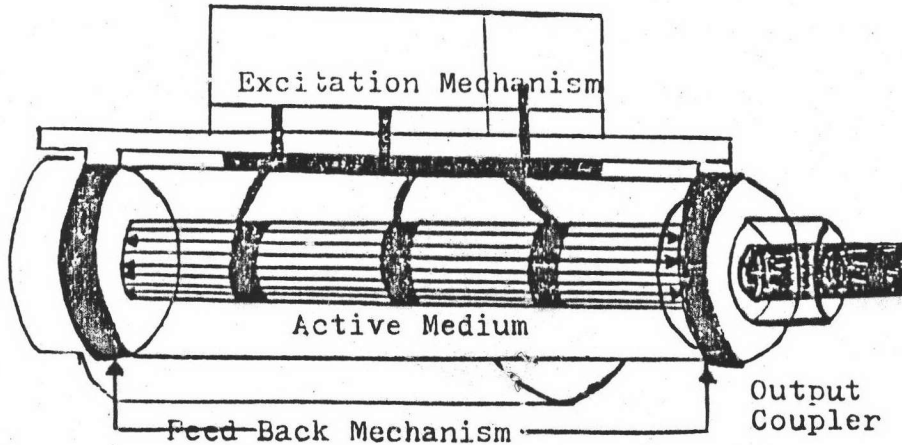


แสงปกติ

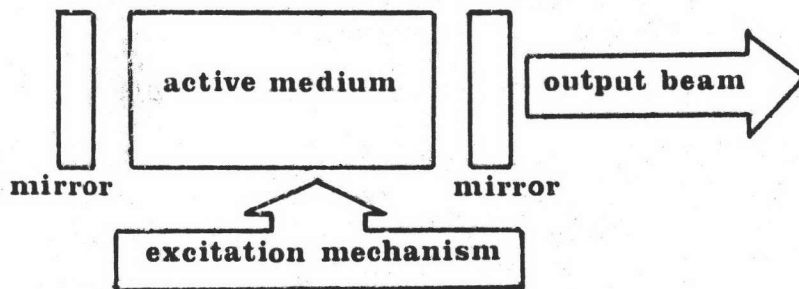
รูปที่ 7 แสดงลักษณะคลื่นของแสงเลเซอร์และแสงปกติ

2.7 เครื่องเลเซอร์และส่วนประกอบ

เครื่องเลเซอร์มีมากมายหลายขนาด และพลังงานที่ให้ก็แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการใช้งานแต่จะมีส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกัน 4 ส่วน ดังรูปที่ 8,9



รูปที่ 8 เครื่องเลเซอร์



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องเลเซอร์

1. Excitation Mechanism

ส่วนที่ให้พลังงานเพื่อก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ โดยทั่วไปแหล่งให้พลังงานแก่เครื่องเลเซอร์ เป็นพลังงานรูป electrical หรือ optical ขึ้นอยู่กับชนิดของ active medium ที่ใช้ เช่น

ถ้าใช้ก๊าซเป็น active medium ส่วนมากจะใช้พลังงานในรูป electrical เป็นตัวกระตุ้นก๊าซซึ่งจะรับพลังงานและให้ลำแสงเลเซอร์ออกมา

ถ้าใช้ของแข็งเป็น active medium ส่วนมากเราใช้พลังงานในรูป optical โดยใช้แสงที่เกิดจากตะเกียงที่สว่างมาก ๆ (flash lamps) พลังงานจากแสงตะเกียงไฟฟ้าจะถูกสะสมใน active medium และให้แสงเลเซอร์ออกมา

2. Active medium

เป็นส่วนที่ภายหลังจากเครื่องได้รับพลังงานแล้วเปลี่ยนพลังงานเป็นแสงสว่างและทำให้ลำแสงมีความเข้มเพิ่มขึ้น (Amplified) อาจเป็นทั้งของแข็ง, ของเหลว, ก๊าซ หรือ semi-conductor crystals ส่วนมากเราจะเรียกชื่อเลเซอร์ตาม active medium ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้ทับทิมสังเคราะห์เป็น medium จะเรียกว่า Ruby laser ถ้าใช้ก๊าซ He-Ne เป็นส่วนผสมของก๊าซทั้งสองชนิดเป็น active medium จะเรียกว่า diod laser หรือ semi-conductor laser ซึ่งเป็นเลเซอร์ที่มีขนาดเล็กที่สุด

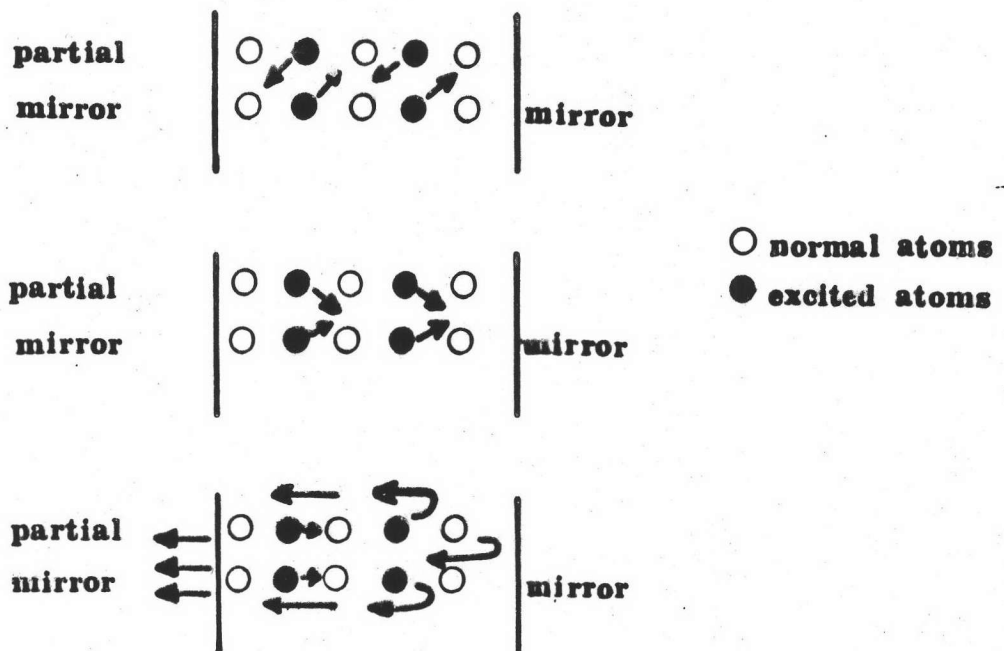
3. Feed back mechanism

เป็นส่วนที่ประกอบด้วยกระจกเงา (system of mirrors) วางไว้ทั้ง 2 ปลาย ของ active medium เมื่อแสงเกิดใน active medium ก็สะท้อนกระจกเงาสะท้อนกลับวิ่งผ่าน active medium ไปมา ซึ่งจะทำให้แสงมีความเข้มเพิ่มขึ้น

4. Output Coupler

เป็นส่วนที่ให้ลำแสงผ่าน active medium ออกมาจากการที่ลำแสงสะท้อนไปมาทำให้ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น จะมีกระจกเงาอันหนึ่งเป็นกระจกเงาพิเศษยอมให้ลำแสงบางส่วนออกจาก active medium ได้ แสงที่ออกมาเรียก output beam

2.8 ปฏิกิริยาการเกิดแสงเลเซอร์ (Laser action)



รูปที่ 10 แสดงปฏิกิริยาการเกิดแสงเลเซอร์

เมื่อมีพลังงานมากระทบกับ active medium ทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของ active medium ที่อยู่ในสถานะพื้นฐาน ดูดพลังงาน จนเข้าสู่สถานะถูกกระตุ้น (excited state) จากนั้นอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น จะกลับสู่สภาวะพื้นฐาน และให้พลังงานออกมาในรูปความร้อน (heat) และการแผ่รังสี (radiation) ซึ่งออกมาในรูปของแสงเลเซอร์ ซึ่งตอนแรกจะอ่อนและเคลื่อนที่อย่างอิสระไม่มีแบบแผน จนมีความเข้มของแสงมากขึ้น ลำแสงนั้นจะไปกระทบกับกระจกเงาที่นำมาใช้สะท้อนแสงที่ปิดอยู่บริเวณหัวและท้ายของเครื่อง ผลของการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้น กลับไปกลับมา จะทำให้เกิดการรวมพลังงานแสง

ยังทำให้ลำแสงมีความเข้มเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 10 ซึ่งกระจกเงานี้จะต้องจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่พอเหมาะเพื่อให้ลำแสงเลเซอร์ไปมาโดยเสียพลังงานน้อยที่สุด ซึ่งกระจกเงาธรรมดาสะท้อนได้เพียง 80% จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ จะต้องสร้างพิเศษสามารถสะท้อนได้ 100% (High Reflective) ส่วนอีกข้างหนึ่งให้ลำแสงบางส่วนสะท้อน และปล่อยบางส่วนให้ผ่าน out coupler ซึ่งเป็นช่องปล่อยลำแสงเลเซอร์ออกจากเครื่องเพื่อนำมาใช้ประโยชน์

2.9 ชนิดของแสงเลเซอร์

1. High-power laser พลังงานสูง ส่วนใหญ่ใช้ในการผ่าตัดทำลายเนื้อเยื่อ เช่น CO₂ laser, Argon laser, Neodymium and yttrium aluminium garnet laser

2. Low-power laser (cold laser) พลังงานต่ำซึ่งพลังงานที่ได้จากเลเซอร์ชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นในเนื้อเยื่อ ไม่มีการทำลายเนื้อเยื่อ เช่น Helium-Neon laser, Infrared laser

มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการนำแสงชนิด Low-power laser ไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์มากมาย แต่ผลที่น่าสนใจและมีผู้ศึกษามากคือ

การนำแสงเลเซอร์ชนิด Low-power ไปใช้ในการรักษาแผลช่วยให้แผลหายเร็วขึ้นโดย Basford และคณะ (1986a) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของ cold quartz ultraviolet, Low-energy laser กับการหายของแผลใน swine model พบว่าแผลที่ถูกฉายด้วยแสงเลเซอร์จะหายเร็วกว่ากลุ่มควบคุม Kana และคณะ (1987) ได้ศึกษาผลของการฉายแสง Low-power laser กระตุ้นให้แผลหายเร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากนี้ยังมีผู้แนะนำให้ใช้แสงเลเซอร์ ชนิด Low-power laser รักษาแผลเพื่อทำให้แผลหายเร็วขึ้น โดยอธิบายถึงคุณสมบัติและวิธีการใช้ที่คล้ายคลึงกันอีกหลายคน (Basford, 1986b; Kert and Rose, 1989; Rosemary and Marylou, 1989; Justus, 1990)

จากการศึกษาดังกล่าวมีจุดที่น่าสนใจว่า แสง Low-power laser มีผลอย่างไรกับการหายของแผล ซึ่งเป็นแสงชนิดเดียวกับแสงเลเซอร์ฉายใน Hela cell (Karu et al., 1984) Saccharomyces ludwigii (Fedoseyeva et al., 1987) E. coil (Tiphlova et al., 1978) พบว่าใน Hela cell จะมีการสังเคราะห์ DNA เพิ่มขึ้น และมีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มมากขึ้นใน Saccharomyces ludwigii ส่วนใน E. coil จะพบการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น

Fedoseyeva และคณะ (1986) ทำการฉายแสงเลเซอร์ใน Torilapsis sphaerica แล้วนำไปอินคิวเบต 18 ชั่วโมง จากนั้นวัดปริมาณ NADH พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้น

Karu และคณะ (1988) ทำการฉายแสงเลเซอร์ใน Chinese hamster fibroblast พบว่าระดับของ c AMP ภายในเซลล์เพิ่มขึ้น มีผู้สังเกตผลจากการกระตุ้นด้วยแสง Low-power laser กับผลของการหายของแผลในเนื้อเยื่อของร่างกายคน (Kert and Rose, 1989) พบว่า

1. มีการสร้าง collagenous fiber และ vesicles บริเวณที่ได้รับแสงเลเซอร์
2. เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ succinyl dehydrogenase, lactate dehydrogenase, acid phosphate และ non-specific esterase บริเวณแผลที่ได้รับแสงเลเซอร์

3. เพิ่มความแข็งแรงของแผล (improved strength of wounds)
4. มีการเพิ่มจำนวนของเซลล์ของผิวหนัง
5. กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีน
6. เพิ่มประสิทธิภาพของการหายใจระดับเซลล์ (stimulation of cytochromoxidase)

จากการศึกษาทั้งหมดดังกล่าว Karu (1989) ได้รวบรวมและให้คำอธิบายเกี่ยวกับผลของการฉายแสง Low-power laser ต่อเซลล์ว่า เมื่อแสง Low-power laser บนเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นโดยที่ปริมาณของ NADH ภายในเซลล์จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะป้อนเข้าสู่ electron transport chain ทำให้เกิดการสังเคราะห์ DNA เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น จึงมีการสังเคราะห์โปรตีนมากขึ้น ซึ่งเหตุผลดังกล่าวนี้เอง ทำให้การ proliferation ของแผลมีมากและเร็ว ทำให้แผลหายเร็วขึ้น