สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

แผ่นโปร่งใสสำหรับการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

TRANSPARENCY FOR TEACHING ON SKELETAL MUSCLE

โดย

นางสาวอรอุมา สาลีกุล

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีการเกษตร – การผลิตสัตว์

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

วพ.
ว384ก
2542

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....36236

วัน, เดือน, ปี 20 ก.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ค้าหากำไรค้าการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

ปีการศึกษา 2542

ชื่อเรื่อง แผ่นโปร่งใสสำหรับการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

TRANSPARENCY FOR TEACHING ON SKELETAL MUSCLE

ชื่อ – สกุล นางสาวอรอุมา สาลีกุล

สาขาวิชา เทคโนโลยีการเกษตร – การผลิตสัตว์ **ภาควิชา** ครุศาสตร์เกษตร

คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ภัทราภรณ์ เชื้อนันตา

บทคัดย่อ

แผ่นโปร่งใสเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ โดยเน้นเรื่องลักษณะของส่วนประกอบของกล้ามเนื้อโครงร่างในแต่ละส่วน และการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งมีขนาดเล็ก จะสังเกตด้วยตาเปล่าไม่เห็น หรือไม่สามารถแยกออกได้ว่าส่วนไหนคือลักษณะของกล้ามเนื้อส่วนใด ดังนั้นผู้จัดทำจึงผลิตแผ่นโปร่งใสชุดนี้ขึ้นใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนวิชากายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) เพื่อให้การเรียนการสอนประสบความสำเร็จตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

การดำเนินการผลิตแผ่นโปร่งใส โดยการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผ่นโปร่งใส และเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ กำหนดภาพและเขียนคำบรรยายที่จะจัดทำแผ่นโปร่งใส จัดหาและจัดทำภาพต้นแบบ โดยนำภาพต้นแบบถ่ายเอกสาร 1 ฉบับ นำภาพที่ได้จากการถ่ายเอกสารมาสแกน และตกแต่งให้ได้ภาพที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จากนั้นทำการตกแต่งโดยการใช้สีจากคอมพิวเตอร์ เน้นจุดสำคัญตามความเหมาะสม ผลการตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอบอยู่ในเกณฑ์ดี นำภาพที่ผ่านการตรวจสอบแล้วมาเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำบรรยายและจัดพิมพ์เอกสารเนื้อหาทั้งหมดสรุป และส่งผลงานปัญหาพิเศษ ในการจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ได้แผ่นใส 1 ชุด จำนวน 26 ภาพ คำบรรยาย 1 เล่ม พร้อมทั้งรูปเล่มปัญหาพิเศษ 3 เล่ม ซึ่งจะนำแผ่นโปร่งใสดังกล่าวไปใช้เป็นอุปกรณ์ ประกอบการสอน วิชากายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

ข้อเสนอแนะในการจัดทำแผ่นโปร่งใส ผู้จะจัดต้องมีความรู้ในเนื้อหาและทักษะในการผลิตแผ่นโปร่งใส และผู้จัดต้องมีทุนทรัพย์ในการจัดทำการผลิตแผ่นโปร่งใสพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ครั้งนี้ สำเร็จลงด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือจากหลายฝ่าย ดังนั้นผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภัทราภรณ์ เชื้อนันตา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษได้รับความช่วยเหลือให้คำแนะนำ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอมอบความดีและคุณประโยชน์จากการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ แด่ บิดา – มารดา และอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้ส่งเสริมความรู้ตลอดจนอบรมสั่งสอนแนะนำสิ่งต่าง ๆ ให้แก่ข้าพเจ้าไว้ ณ โอกาสนี้

อรอุมา สาลีกุล

มีนาคม 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ..... ก

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของปัญหา..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

2. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับสื่อการสอน..... 4

2.2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์..... 14

3. วิธีการสร้างอุปกรณ์..... 28

3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร..... 28

3.2 การวิเคราะห์เนื้อหา..... 30

3.3 คำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใส..... 40

3.4 วิธีการสร้างอุปกรณ์..... 48

4. การตรวจสอบอุปกรณ์และการแก้ไข..... 50

4.1 วิธีการตรวจสอบ..... 50

4.2 ผลการตรวจสอบ..... 50

4.2 แบบประเมินคุณภาพแผ่นโปร่งใส..... 51

5. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 52

5.1 สรุป..... 52

5.2 ปัญหาและอุปสรรค..... 52

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม..... 54

ภาคผนวก..... 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในร่างกายของสัตว์ทุกชนิด โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติที่เหมือนๆ กันหลายอย่าง นอกจากสัตว์บางชนิดเท่านั้นที่มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) จะมีอยู่ในซากสัตว์ประมาณ 35 – 65 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่นับสัตว์ที่อ้วนมากๆ ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงกายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์แล้ว จึงต้องหมายถึงกล้ามเนื้อโครงร่างเสียเป็นส่วนใหญ่ กล้ามเนื้อมีส่วนประกอบหลายส่วนด้วยกัน กล้ามเนื้อโครงร่างส่วนมากจะติดอยู่กับกระดูกโดยตรง แต่ก็มีบางส่วนที่อยู่ติดกับเส้นเอ็น กระดูกอ่อน และหนัง ซึ่งก็เหมือนกับว่ากล้ามเนื้อโครงร่างเหล่านี้จะอยู่ติดกับกระดูกโดยทางอ้อมนั่นเอง กล้ามเนื้อโครงร่างประกอบขึ้นมาจากเส้นใยกล้ามเนื้อ หรือเซลล์ที่ถูกห่อหุ้มไว้ด้วยแผ่นบาง ๆ ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เชื่อมต่อเนื่องกันไปเป็นระดับจนถึงห่อหุ้มมัดกล้ามเนื้อทั้งหมด เส้นใยกล้ามเนื้อจะประกอบไปด้วย ซาร์โคเลมมา (Sarcolemma) นิวเคลียส (Nucleus) กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex) ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) ซาร์โคปลาสซึม (Sarcoplasm) ไลโซโซม (Lysosome) เส้นใยย่อย (Myofibril) และซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (Sarcoplasmic recticulum) (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529 : 63)

จากการศึกษาเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ เพราะกล้ามเนื้อโครงร่างมีความซับซ้อน ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนต้องสอดคล้องกับสภาพท้องถิ่นนั้น ๆ และมีอุปกรณ์หรือสื่อในการจัดการเรียนการสอนอย่างพอเพียง ถ้าวิทยาลัยหรือสถาบันใดมีสภาพท้องถิ่นที่ไม่เหมาะสม หรืออุปกรณ์สื่อการสอนที่ไม่เพียงพอ ก็จะทำให้การจัดการเรียนการสอนไม่สะดวก หรือไม่ดีเท่าที่ควร เช่นส่วนประกอบของระบบต่าง ๆ ในร่างกายของสัตว์ ดังนั้นการใช้สื่อการเรียนการสอนจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับครูผู้สอน ซึ่งสื่อการเรียนการสอนนั้นมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่นวีดีโอ ภาพยนตร์ สไลด์ และแผ่นโปร่งใส เป็นต้น แต่ในการเลือกใช้สื่อการเรียนการสอนนั้น ผู้สอนต้องคำนึงถึงความพร้อม และความเหมาะสมกับเนื้อหานี้ การทำแผ่นโปร่งใสเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์นี้มีผลดีกับผู้สอนคือ ใช้ง่ายเพียงแค่วางบนเครื่องฉายข้ามศีรษะ เสียบปลั๊กเปิดสวิทซ์ ปรับความชัดของภาพก็สามารถฉายได้แล้ว แผ่นโปร่งใสสามารถใช้ได้ในห้องที่มีแสงสว่างปกติ และผู้เขียนสามารถเขียน หรือทำแผ่นโปร่งใสไว้ล่วงหน้าก่อนนำมาสอนได้ เพราะฉะนั้นแผ่นโปร่งใสจึงเป็นสื่อการสอนอีกประเภทหนึ่งที่นำมาใช้ได้สะดวก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และเป็นการประหยัดก่อให้เกิดผลดีในการเรียนการสอน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตแผ่นโปร่งใสประกอบการสอน เรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540
2. เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ และเข้าใจในเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์
3. เพื่อให้ผู้เรียน หรือผู้ที่สนใจนำวิธีการและทักษะต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์ได้

1.3 ขอบเขตของปัญหา

จัดทำแผ่นโปร่งสำหรับการสอนใสเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรมสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ

1. จัดทำแผ่นโปร่งใสเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ 34 ภาพ คือ
   - ตราสถาบัน ชื่อเรื่อง ชื่อผู้จัดทำ 3 ภาพ
   - ภาพนำเรื่อง 1 ภาพ
   - ภาพโครงสร้างของกล้ามเนื้อ 1 ภาพ
   - ภาพส่วนประกอบของมัดกล้ามเนื้อ 1 ภาพ
   - ภาพเส้นใยกล้ามเนื้อ 1 ภาพ
   - ภาพส่วนประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ 1 ภาพ
   - ภาพเส้นใยย่อย 1 ภาพ
   - ภาพเส้นใยฝอย 1 ภาพ
   - ภาพเส้นใยฝอยชนิดหนา 1 ภาพ
   - ภาพเส้นใยฝอยชนิดบาง 1 ภาพ
   - ภาพโปรตีน tropomyosin 1 ภาพ
   - ภาพโปรตีน troponin 1 ภาพ
   - ภาพซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม 1 ภาพ
   - ภาพการจัดเรียงตัวภายในเส้นย่อย 1 ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการทำงานของกล้ามเนื้อ	1 ภาพ
ภาพการรับสัญญาณจากประสาท	1 ภาพ
ภาพ action potential	1 ภาพ
ภาพยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ	1 ภาพ
ภาพการหดตัวเกี่ยวกับความยาวและความตึง	1 ภาพ
ภาพการหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ	1 ภาพ
ภาพการคลายตัว	1 ภาพ
ภาพขบวนการผลิตพลังงานการยืดหดตัว	1 ภาพ
ภาพแสดงวงจรของการสร้างพลังงานสำหรับการเกิดการยืดหดของกล้ามเนื้อ	1 ภาพ
ภาพสรุป	1 ภาพ
รวม	26 ภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แผ่นโปร่งใสประกอบการสอนเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001)
2. ผู้จัดทำได้ประสบการณ์ในการจัดทำแผ่นโปร่งใสประกอบการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำแผ่นโปร่งใสเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่าง ผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้าเนื้อหาต่าง ๆ จากหนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลในการอ้างอิงถึงความถูกต้องของเนื้อหาและเพื่อเป็นแนวทางในการผลิตแผ่นโปร่งใส

2.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องด้านสื่อแผ่นโปร่งใส

2.1.1 ความหมายของสื่อการเรียนการสอน

วารินทร์ รัศมีพรหม (2529 : 4) ได้ให้ความหมายของคำว่าสื่อ (Medium หรือ Media) ว่ามาจากภาษาลาตินว่า "Between" ซึ่งแปลว่า "ระหว่าง" คำว่าสื่อจึงหมายถึง สิ่งที่เป็นพาหนะนำข้อมูลจากแหล่งกำเนิดไปสู่ผู้รับ ในแง่ของสื่อการส่งข้อความถึงกัน (Media of Communication) ที่ใช้กันอยู่คือ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องเสียง ภาพวัสดุฉาย และสิ่งพิมพ์ สิ่งเหล่านี้เมื่อนำมาใช้กับการเรียนการสอนเราจะเรียกว่า สื่อการสอน

ณรงค์ สมพงษ์ (2535 : 40) ให้ความหมายของสื่อไว้ว่า "สื่อ" หมายถึง ตัวกลางพาหนะ ซึ่งนำข่าวสารจากผู้ส่งไปยังจุดมุ่งหมายหรือผู้รับ

กิดานันท์ มะลิทอง (2536 : 76) กล่าวถึงการสอนว่า หมายถึง ตัวกลางที่ช่วยนำและถ่ายทอดข้อมูลจากผู้สอนหรือจากแหล่งความรู้ไปยังผู้เรียน เป็นสิ่งช่วยอธิบายและขยายเนื้อหาบทเรียนให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์การเรียนที่ตั้งไว้

สมบูรณ์ สงวนญาติ (2534 : 43 – 44) กล่าวถึงกระบวนการเรียนการสอนว่า การเรียนอาจเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องมีผู้สอน ผู้เรียนอาจกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า สื่อการเรียน แต่เมื่อใดก็ตามที่มีการสอนจะต้องมีการเรียนเกิดขึ้น ถ้าสื่อการสอนและสื่อการเรียนสอดคล้องสัมพันธ์กันการเรียนการสอนจะดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ครูใช้แผนภูมิแบบอธิบายภาพสอนเรื่องอวัยวะต่าง ๆ ของปลาประกอบคำอธิบาย และครูพิมพ์ภาพปลาในแผนภูมิแจกนักเรียนคนละแผ่น นักเรียนฟังคำอธิบายครู และบันทึกคำบรรยายส่วนต่าง ๆ ลงในภาพปลาเช่นนี้แล้วจะช่วยให้การเรียนรู้ดำเนินไปด้วยความสะดวกและรวดเร็ว เราเรียกแผนภูมิว่าเป็น สื่อการสอน และเรียกภาพปลาในกระดาษว่า สื่อการเรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณรงค์ สมพงษ์ (2535 : 42) ได้ให้ความหมายของสื่อการสอนไว้ว่า สื่อการสอน (instructional media) เป็นสิ่งที่มุ่งเน้นนำไปใช้ทางด้านการเรียนการสอน ทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน เช่น การใช้สไลด์และภาพยนตร์ ประกอบการสอนการใช้ตำราเรียน บทเรียน โปรแกรม รายการวิทยุโรงเรียน เป็นต้น และเนื่องจากระบบการสอนนั้นเป็นส่วนหนึ่งของระบบการให้การศึกษาจึงกล่าวได้ว่าสื่อการสอนเป็นส่วนหนึ่งของสื่อการศึกษานั้นเอง

วรรณา เจียมทะวงษ์ (2522 :1) กล่าวว่า สื่อการสอน หมายถึง สิ่งใดก็ตามที่ใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดความรู้ ทักษะและเจตคติให้แก่ผู้เรียน ทำให้ผู้เรียน เรียนได้ตามวัตถุประสงค์สื่อการสอนที่ดีย่อมช่วยให้การเรียนการสอนบรรลุเป้าหมาย ซึ่งต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่างๆ ได้แก่ ความเหมาะสมกับเนื้อหา ผู้เรียน รูปแบบการสอน และสภาพแวดล้อมของการใช้สื่อ

ไชยยศ เรืองสุวรรณ (2526 : 4) กล่าวว่า สื่อการสอน หมายถึง สิ่งที่ช่วยในการเรียนรู้ ซึ่งครูและนักเรียนเป็นผู้ใช้เพื่อให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพและเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในบทเรียน

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า สื่อการสอน คือ ตัวกลางในการนำและถ่ายทอดข้อมูลความรู้ต่าง ๆ จากผู้สอนไปยังผู้เรียน เพื่อให้กระบวนการเรียนการสอนประสบผลสำเร็จ บรรลุตามจุดประสงค์หรือจุดมุ่งหมายที่วางไว้

กิดานันท์ มะลิทอง (2536 : 75) ได้ให้ความหมายของสื่อการเรียนการสอนไว้ว่าสิ่งใดก็ตามที่บรรจุข้อมูลเพื่อให้ผู้ส่ง และผู้รับสามารถสื่อสารกันได้ ตรงตามวัตถุประสงค์ เพื่อมีการใช้สื่อในการเรียนจึงเรียกว่า "สื่อการสอน"

ลัดดา สุขปรีดี (2521 : 51) กล่าวถึง คุณค่าของสื่อการเรียนการสอน ดังนี้

1. สื่อการเรียนการสอนสามารถเอาชนะข้อจำกัดเรื่องความแตกต่างกันของประสบการณ์เดิมของผู้เรียนคือเมื่อใช้สื่อการเรียนการสอนแล้วจะช่วยให้ผู้เรียนมีประสบการณ์เดิมต่างกันเข้าใจได้ใกล้เคียงกัน
2. ขจัดปัญหาเรื่องสถานที่ ประสบการณ์ตรงบางอย่าง
3. ทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากสิ่งแวดล้อมและสังคม
4. สื่อการเรียนการสอนทำให้ผู้เรียนมีความคิดรวบยอดเป็นอย่างเดียวกัน
5. ทำให้ผู้เรียนมีมโนภาพเริ่มแรกอย่างถูกต้อง
6. สร้างแรงจูงใจและเร้าความสนใจ
7. ช่วยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์จากรูปธรรมสู่นามธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไชยยศ เรืองสุวรรณ (2526 : 19 - 20) ได้กล่าวว่า การนำเอาเทคโนโลยีทางการศึกษามาช่วยในการศึกษา จะทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น เรียนได้เร็วขึ้น ได้เห็นหรือสัมผัสกับสิ่งที่เรียนและเข้าใจอย่างสมบูรณ์ การนำเอาเทคโนโลยีทางการศึกษาเข้ามาใช้กับการศึกษาเปรียบเสมือนการเปิดทางให้ผู้เรียนได้เรียนตามความสามารถของเขา สนองเรื่องความเข้าใจ และความต้องการของแต่ละบุคคลได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีการศึกษาทำให้ผู้เรียนได้เรียนอย่างกว้างขวางมากขึ้น ได้เห็นความจริงด้วยตาของเขาเอง เป็นการนำโลกภายนอกมาสู่ห้องเรียน ทำให้ช่องว่างระหว่างโรงเรียนและสังคมน้อยลง เช่น การศึกษาที่ผ่านทางโทรทัศน์ ภาพยนตร์ สไลด์ เป็นต้น

สรุปความสำคัญของเทคโนโลยีทางการศึกษา มีดังต่อไปนี้

1. เทคโนโลยีทางการศึกษา สามารถทำให้การเรียนการสอน การจัดการศึกษามีความหมายมากขึ้น กล่าวคือ การนำเทคโนโลยีทางการศึกษาเข้ามาใช้ในการศึกษาจะช่วยให้ผู้เรียนเรียนได้กว้างขวางมากขึ้น ได้เห็นหรือสัมผัสกับสิ่งที่เรียนง่ายขึ้น

2. เทคโนโลยีทางการศึกษา สามารถสนองเรื่องความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ ผู้เรียนจะมีอิสระในการเสาะแสวงหาความรู้ มีความรับผิดชอบทั้งแก่ตนเองและสังคมมากขึ้น

3. เทคโนโลยีการศึกษา สามารถทำให้การจัดการศึกษาตั้งอยู่บนรากฐานของวิธีทางวิทยาศาสตร์

ลัดดา สุขปรีดี (2523 : 5-6) สรุปความสำคัญทางเทคโนโลยีการศึกษาไว้ว่า เทคโนโลยีการศึกษา คือ การเปลี่ยนแปลงทางการศึกษาอันเนื่องจากการนำเอาวัสดุอุปกรณ์และวิธีการใหม่มาใช้ในการเรียนการสอนและเทคโนโลยีทางการเรียนการสอน หมายถึง การนำเอาความรู้ ความคิดและวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้อย่างมีระบบเพื่อแก้ปัญหาในการเรียนการสอนให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ทรัพยากรอย่างประหยัด

2.1.2 ประเภทของสื่อการเรียนการสอน

ไชยยศ เรืองสุวรรณ (2526 : 90-94) ได้จำแนกประเภทสื่อการเรียนการสอน ไว้ดังนี้

1. ของจริง

1.1 วิทยากร ผู้ชำนาญการ สามารถจูงใจให้ผู้เรียนและกลุ่มให้สนใจและได้รับความเข้าใจมากขึ้น

1.2 วัสดุสิ่งของและเครื่องมือต่าง ๆ ช่วยในการฝึกปฏิบัติให้สามารถใช้เครื่องมือเหล่านั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 หุ่นจำลอง ใช้ในสถานการณ์ที่ไม่อาจใช้ของจริงในการเรียนได้ เช่น ของจริงอาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินกว่าที่จะนำมาเรียนในชั้นเรียนได้ก็ต้องใช้หุ่นจำลอง เป็นต้น

2. สื่อประเภทไม่ต้องฉาย

2.1 สิ่งตีพิมพ์ เป็นสื่อง่าย ๆ ที่เราคุ้นและใช้กันอย่างกว้างขวางในชั้นเรียน เช่น ตำราเรียน สมุดแบบฝึกหัด บทเรียนโปรแกรม พจนานุกรม และหนังสือพิมพ์ เป็นต้น

2.2 แผ่นป้าย อาทิเช่น กระดานดำ ป้ายนิเทศ แผ่นป้ายแม่เหล็ก และแผ่นป้ายสำลี เป็นต้น

2.3 วัสดุกราฟฟิก เช่น แผนภูมิ ภาพพลิก กราฟ ภาพโฆษณา การ์ตูน แผนที่

2.4 รูปภาพ

2.5 คู่มือการใช้เครื่องมือและฝึกทักษะบางอย่าง ที่จัดขึ้นมาโดยเฉพาะในบางกรณีอาจเป็นสิ่งตีพิมพ์ก็ได้

3. สื่อประเภทเสียง

3.1 การบันทึกเสียง ทั้งแบบม้วน แบบตลับ ช่วยในการสอนแบบบรรยายและการเรียนด้วย

3.2 แผ่นเสียง

3.3 วิทยุ

4. สื่อภาพนิ่งประกอบฉาย

4.1 สไลด์ สไลด์ที่นิยมจะมีขนาด 2 X 2 นิ้ว เป็นภาพถ่ายหรือภาพกราฟฟิก สามารถนำไปใช้ประกอบการสอนเป็นกลุ่มหรือรายบุคคลได้

4.2 ภาพฟิล์มสตริป ลักษณะคล้ายสไลด์ แต่ภาพจะต่อกันเป็นลำดับเป็นม้วนไม่สามารถสลับภาพได้ ส่วนใหญ่ใต้ภาพแต่ละภาพจะมีคำบรรยาย

4.3 แผ่นใสกับเครื่องฉายข้ามศีรษะ แผ่นใสส่วนใหญ่มีขนาด 10 X 10 นิ้ว ใช้ในห้องเรียนปกติได้ง่าย สามารถทำแผ่นใสได้ทั้งภาพสีและขาวดำ และมีเทคนิคในการนำเสนอได้หลายวิธี

4.5 โฮโลแกรม (Holograms) เป็นแผ่นภาพสามมิติที่บันทึกแล้วฉายโดยใช้อุปกรณ์แสงเลเซอร์ให้เกิดภาพสามมิติในอากาศโดยไม่ต้องใช้จอ ผู้เรียนสามารถเดินศึกษารอบ ๆ ภาพเพื่อสังเกตในทิศทางต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สื่อภาพเคลื่อนไหว

5.1 ภาพยนตร์ เป็นสื่อที่นิยมใช้ เพราะให้คนเคลื่อนไหวและสามารถปรับความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนไหวได้ ปัจจุบันนิยมใช้วีดีโอมากกว่า

5.2 วีดีโอ (Video) เป็นสื่อที่ให้ภาพเคลื่อนไหวและเสียงประกอบ สะดวกต่อการผลิตและการใช้ การตัดต่อ การดัดแปลง และสามารถใช้ประกอบการสอนได้ ทั้งแบบกลุ่มและรายบุคคล

5.3 โทรทัศน์ โทรทัศน์เป็นสื่อการสอนที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันมากเพราะนอกจากจะเป็นสื่อประกอบการสอนรายวิชาต่าง ๆ ที่รับคลื่นออกอากาศจากสถานีส่งแล้วยังมีรายการที่ใช้ในการเรียนเพิ่มประสบการณ์ให้กับผู้เรียนได้อีกด้วย ปัจจุบันสถานีโทรทัศน์ศึกษาในประเทศไทยคือสถานีโทรทัศน์การศึกษาช่อง 11

6. สื่อประสม

6.1 สิ่งพิมพ์/เทปเพลง เป็นการใช้สื่อประเภทเทปเสียงบรรยายร่วมกับสิ่งตีพิมพ์ที่จัดขึ้นมาโดยเฉพาะ สะดวกต่อการใช้และใช้ในการสอบแบบเอกัตบุคคลได้

6.2 สไลด์หรือฟิล์มสตริป/เทปเสียง เป็นการใช้เทปเสียงที่มีคำบรรยายดนตรีและอื่น ๆ ร่วมกับสไลด์หรือฟิล์มสตริป สำหรับสไลด์สามารถใช้เทคนิคในการนำเสนอได้หลายรูปแบบ เช่น การฉายแบบ Mull vision ซึ่งใช้เครื่องฉายสไลด์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในการเรียนการสอนได้ทั้งแบบกลุ่มและรายบุคคล

6.3 ไมโครฟิช/เทปเสียง เป็นสื่อการเรียนการสอนที่ผู้เรียนสามารถใช้ในการศึกษาค้นคว้าและศึกษาด้วยตนเอง

6.4 บทเรียนหรือโปรแกรม เป็นระบบสื่อที่มีผลต่อการพัฒนาการออกแบบและพัฒนาการสอนหรือเทคโนโลยีการสอนมาก ในปัจจุบันนี้สื่อโปรแกรมเป็นสื่อการเรียนการสอนหลายลักษณะและหลายรูปแบบ เช่น การเรียนโปรแกรมชุดการเรียนการสอน และบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

6.5 คอมพิวเตอร์ปฏิสัมพันธ์วิดีโอเทป (Interactive Computer Videotape) เป็นระบบสื่อที่มีกระบวนการผลิตซับซ้อนที่สุดในปัจจุบัน ระบบสื่อประเภทนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของระบบ ประกอบด้วยโปรแกรม วิดีโอเทป หรือวิดีโอดิสค์ การออกแบบการสอนจะได้หลักการของบทเรียนโปรแกรม ดังนั้นการพิจารณาใช้สื่อประเภทนี้ต้องพิจารณาให้รอบคอบ เพราะต้องใช้เครื่องมือราคาแพงและต้องใช้เวลาในการออกแบบการเรียนการสอนและการผลิตมากและการผลิตยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 สื่อทางไกลเป็นสื่อที่เกิดจากพัฒนาด้านการสื่อสาร เช่น วิทยุกระจายเสียง

7. คอมพิวเตอร์ เกม และการจำลองสถานการณ์

7.1 คอมพิวเตอร์ เป็นสื่อที่นำเข้ามาเพื่อการศึกษาและการเรียนการสอน ส่วนใหญ่นำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษาอยู่ 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรก เป็นสื่อใช้เพื่อจัดหาหรือการบริการการเรียนการสอน (Computer Managed Instruction : CMI) โรงเรียนโดยทั่วไปจะใช้คอมพิวเตอร์เพื่องานทางด้านนี้มาก เพราะคุ้มประโยชน์มากกว่า ส่วนการใช้ลักษณะที่สอง คือ การใช้เพื่อช่วยสอน (Computer Assested Instruction : CAI) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อสนองเนื้อหา ความรู้บนจอคอมพิวเตอร์บนจอหรือมอนิเตอร์ จัดเป็นสื่อแบบปฏิสัมพันธ์เรียนด้วยตนเองได้ แต่ต้องออกแบบโปรแกรมให้เหมาะสม โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการสอนมโนทัศน์และฝึกหัดด้วยสถานการณ์จำลอง และเกมสื่อคอมพิวเตอร์ใช้กันมากในการฝึกอบรม ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในการสอนและคุ้มประโยชน์มากกว่า

7.2 เกมและการจำลองสถานการณ์ เป็นกิจกรรมการเรียนที่ให้ผลดี ในกรณีการสอนสิ่งที่เป็นนามธรรมมาก ๆ ต้องมีการปฏิสัมพันธ์สูงหรือใช้ในการเรียนหรือฝึกอบรมที่มีสถานการณ์การเรียนการสอนในเรื่องที่เป็นอันตราย เป็นต้น แต่ต้องมีการออกแบบ พัฒนาอย่างเหมาะสม ส่วนใหญ่ไม่ใช้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการเรียนปกติ จะใช้เสริมการเรียนยังไม่มีผลการวิจัยยืนยันแน่ชัดอย่างเพียงพอ เกมและสถานการณ์จำลองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางการเรียน

8. สื่อกิจกรรม

8.1 การจัดแสดงนิทรรศการ

8.2 นาฏการ เช่น ละคร การแสดงกลางแจ้ง การแสดงบทบาทสมมุติและหุ่น เป็นต้น

8.3 การสาธิต

8.4 การศึกษานอกสถานที่

2.1.3 ความหมายของแผ่นโปร่งใส

ประทิน คล้ายนาค (2527 : 136) กล่าวว่าแผ่นโปร่งใสคือ สไลด์ขนาดใหญ่ที่ใช้กับเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะสำหรับฉายหน้าชั้นเรียนที่มีแสงสว่างกว่าปกติ ภาพที่ได้มีขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจน ผู้เรียนมีส่วนร่วมสูงในการเรียน และแผ่นโปร่งใสเป็นสื่อการเรียนการสอนประเภทวัตถุฉายที่มีคุณสมบัติเด่นกว่าประเภทเดียวกันหลายประการ สามารถใช้กับกลุ่มผู้เรียนที่มีขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ ให้ภาพชัดเจน วิธีใช้ง่าย ศึกษาเพียงเล็กน้อยก็ใช้ได้ สามารถใช้เทคนิคที่ดึงดูดใจมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้มากมายหลายวิธี สามารถแสดงแนวคิด ขบวนการ ข้อมูลต่าง ๆ เรื่องราวมีเป็นจริง สร้างสถานการณ์จำลอง ตลอดจนการสรุปย่อได้อย่างชัดเจน

ลัดดา ศุขปรีดี (2533 : 25) กล่าวว่าเครื่องฉายภาพโปร่งใสภาษาไทยเรียกได้หลายชื่อ เช่น เครื่องฉายภาพโปร่งใสข้ามศรีษะ เครื่องฉายวัสดุโปร่งใส เป็นเครื่องมือชนิดเดียวที่ฉายภาพได้โปร่งใส เป็นระบบการฉายอ้อม โดยแสงจากหลอดฉายจะฉายแสงผ่านเลนส์ฉายแสง ซึ่งอาจรวมหรือแยกเป็นชุดเดียวกัน กระทบกระจกเงาสะท้อนแสงและฉายภาพปรากฏบนจอ

2.1.4 คุณลักษณะที่ดีของการฉายแผ่นโปร่งใส

วารินทร์ รัศมีพรหม (2531 : 70-71) ได้กล่าวถึงข้อดีของการฉายแผ่นโปร่งใสว่า

1. สามารถใช้กับห้องเรียนที่มีแสงสว่างปกติ
2. สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนได้ทั่วถึง
3. เครื่องฉายแผ่นโปร่งใสค่อนข้างเบา ใช้ง่าย และสะดวก
4. วัสดุที่โปร่งใส ทึบแสง ภาพฉลุ อื่น ๆ นำมาใช้กับเครื่องฉายแผ่นโปร่งใส
5. ผู้สอนดำเนินการสอนพร้อมกับการบรรยายภาพ

ผู้สอนสามารถเขียนและระบายสี เพิ่มเติมรายละเอียดบนแผ่นโปร่งใสขณะสอนได้

6. สามารถใช้ควบคู่กับสื่อการสอนประเภทอื่นได้ เช่น สไลด์ ภาพยนตร์
7. สามารถจัดทำสำเนาจากแผ่นโปร่งใสลงบนกระดาษแจกให้ผู้เรียนโดยทั่วถึงกัน
8. สามารถจัดทำภาพซ้อน (overlay) เพื่อทำจากง่ายไปสู่สิ่งซับซ้อน
10. สามารถปิดบังส่วนของแผ่นโปร่งใสเพื่ออธิบายเป็นตอน ๆ
11. ใช้วัสดุสามมิติกับเครื่องฉายแผ่นโปร่งใส โดยอาจเป็นวัสดุทึบแสงหรือวัสดุเป็นพลาสติกได้
12. ใช้ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมกิจกรรมที่ใช้แผ่นโปร่งใส

พิลาศ เกื้อมี (2531 : 36) กล่าวถึงคุณสมบัติของแผ่นโปร่งใสว่า

1. ใช้และบำรุงรักษาง่าย
2. สามารถวางได้ทางด้านหน้าของผู้ฟัง เช่นหน้าห้องเรียน
3. ถ่ายทอดความหมายได้สมบูรณ์
4. ใช้ในห้องเรียนที่มีแสงสว่างปกติได้
5. การเสนอเรื่องง่าย
6. ฉายภาพโปร่งใสได้ขนาดโตถึง 10 x 10 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แผ่นโปร่งใสทำได้ง่ายฉายภาพออกมามักมีสีสันต่าง ๆ ตามที่ตกแต่งไว้

2.1.5. ประเภทของแผ่นโปร่งใส

นิพนธ์ ศุขปรีดี (2523 : 90-95) ได้จัดประเภทของแผ่นใสได้ 4 ประเภทดังนี้

1. แผ่นใสที่มีเนื้อหาในแผ่นเดียวจบ
2. แผ่นใสแสดงขั้นตอนการทำงาน (process) แสดงเป็นภาพซับซ้อนที่มีตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป
3. แผ่นโปร่งใสที่ใช้แผ่นสีตกแต่ง (color adhesive film) เพื่อต้องการให้เห็นข้อแตกต่าง
4. แผ่นโปร่งใสแสดงการเคลื่อนไหวได้ (polarmotion) โดยติดลงบนกระดาษ

2.1.6 ชนิดของแผ่นใส

1. แผ่นใสชนิดเขียน
2. แผ่นใสชนิดถ่ายด้วยความร้อน
   - ถ่ายด้วยเครื่องถ่ายทำแผ่นใสของ 3M ให้ภาพสีและภาพขาวดำ โดยใช้แผ่นใสของ 3M โดยเฉพาะ
   - ถ่ายด้วยเครื่องถ่ายเอกสารทั่วไป ให้ภาพขาวดำซึ่งถ่ายด้วยแผ่นใสทนความร้อน
   - ถ่ายด้วยเครื่องถ่ายเอกสารสี
3. แผ่นใสชนิดทำจากภาพลอกใช้ภาพจากแมกกาซีน
4. แผ่นใสชนิดทำด้วยฟิล์มถ่ายภาพและฟิล์มลิช
5. แผ่นใสชนิดทำจากซิลค์สกรีน

2.1.7 องค์ประกอบของแผ่นโปร่งใส

เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต (2535 : 11) กล่าวว่าองค์ประกอบของการออกแบบแผ่นโปร่งใสมีดังนี้

1. ความรู้ในเนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้อง
2. ความเข้าใจในหลักเทคโนโลยีการศึกษา
3. ความสามารถในเชิงศิลปะ ทั้งการเขียนตัวอักษรและจัดทำแผ่นโปร่งใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประทิน คล้ายนาค (2527 : 138) ได้เขียนหลักในการทำแผ่นโปร่งใสไว้ดังนี้

1. การจัดภาพและข้อความ ควรบรรจุในเนื้อที่ประมาณ 8 x 9 นิ้ว จะวางภาพตามแนวนอนหรือแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับการจัดภาพให้สวยงามไม่แน่นเกินไป ข้อความสำคัญควรวางในระดับกึ่งกลางค่อนไปทางข้างบนภาพ

2. ขนาดตัวอักษรควรโตและเว้นช่องไฟห่างกว่าการเขียนธรรมดา

3. จำนวนบรรทัดในหนึ่งแผ่นไม่ควรเกิน 8 บรรทัด และระยะห่างจากบรรทัดให้เห็นได้ชัดเจนเมื่อฉายภาพบนจอ ขณะฉายควรใช้เทคนิคการบังภาพให้ผู้ดูเห็นทีละบรรทัด

4. ใช้สีเฉพาะที่ต้องการเน้นความสำคัญ เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้ดูและเพื่อความสวยงาม

โอวาท พูลศิริ (2527 : 4-5) ได้กล่าวถึงเครื่องทำภาพโปร่งใส 3M รุ่น 45 และรุ่น 450 ไว้ดังนี้

คุณสมบัติของเครื่องและวัสดุที่ใช้ทำต้นฉบับ เพื่อใช้กับเครื่องถ่ายทำภาพโปร่งใส

1. ถ่ายทำภาพโปร่งใสถาวรเป็นขาว – ดำ และสีต่าง ๆ เป็นแผ่นแผ่นโปร่งใส 3M ชนิดอินฟาเรต

2. ถ่ายกระดาษไข 3M เพื่อไปเข้าเครื่องอัดสำเนาพิมพ์ลงกระดาษจำนวนมาก ๆ ได้

3. เคลือบฟิล์มลงบนเอกสารเพื่อป้องกันน้ำ และการฉีกขาด การเพิ่มเติม หรือการเปลี่ยนแปลงในเอกสาร

4. ถ่ายสำเนาเอกสาร

5. การทำซิลค์สกรีน (silk screen) เพื่อนำพิมพ์ลงบนกระดาษผ้า หรือวัสดุต่าง ๆ

6. ใช้เวลาถ่ายทำประมาณ 4 วินาที ไม่ต้องใช้น้ำยาเคมี เช่น ปรุ หรือผงถ่านใด ๆ และไม่ต้องอุ่นเครื่อง

7. ขับเคลื่อนด้วยสายพานพลาสติก และถ่ายด้วยแสงอินฟาเลต

8. วัสดุที่ใช้เขียนต้นฉบับ เพื่อใช้ถ่ายทำวัสดุต่าง ๆ จากเครื่องถ่ายทำเครื่องโปร่งใส 3M ต้องมีผงถ่าน carbon base อยู่ในน้ำหมึกที่เขียนซึ่งได้จาก

- หมึกเขียนแบบสีดำ indian ink, drawing ink, pellikan ink, for pountain pen, poung india drawing ink
- สำเนาเอกสารที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้ถ่าน pellinkan coper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดินสอดำ 2B ขึ้นไป ปากกา 3M ชนิดลบน้ำยาดำ ห้ามใช้น้ำหมึกจากวัสดุต่อไปนี้คือ หมึกซึม ปากกาปลายสักหลาดสีดำ ปากกาหมึกแห้งสีดำ หมึกตราประทับต่าง ๆ สำเนาที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้นี้ หรือใช้กระดาษโดยเฉพาะของเครื่อง

9. ต้นฉบับควรมีสีดำเสมอกันทั้งแผ่น และต้องคมชัดไม่ควรใช้ตัวอักษรสำเร็จรูป เพราะจะล่อนหลุดเมื่อผ่านเข้าเครื่อง

10. การลบข้อความที่เขียนผิดจะต้องลบให้สะอาดห้ามใช้น้ำยาลบคำผิดสีขาวและห้ามปะกระดาษลงไปบนต้นฉบับ

11. สำเนาเอกสารที่ใช้เป็นต้นฉบับ การมีรอยสกปรกเลอะเทอะควรตัดทิ้งให้หมด ต้นฉบับสามารถเป็นชิ้นหรือมีรอยโหว่ได้ ภาพโปร่งใสที่ได้จะออกมาสวยงามเพียงใดขึ้นอยู่กับความสะอาด และความคมชัดของต้นฉบับ

12 ก่อนถ่ายทำภาพโปร่งใสหรือวัสดุต่าง ๆ ควรตรวจเช็คความสะอาดของพลาสติกว่าสะอาดหรือไม่ มิเช่นนั้นจะเกิดริ้วรอยสกปรกบนแผ่โปร่งใสได้

ลัดดา ศุขปรีดี (2523 : 25) กล่าวถึง แนวทางในการผลิตแผ่นโปร่งใสว่า

ทักษะในการสร้างแผ่นโปร่งใส

1. การออกแบบการทำอาร์ตเวิร์ค (art work) ต้องคำนึงถึง
   1.1 ความยากง่าย
   1.2 ความสัมพันธ์ของเนื้อหา
   1.3 มีจุดเน้น
   1.4 ความสมดุลย์
2. การจัดส่วนประกอบภายในภาพต้องคำนึงถึง
   2.1 การใช้เส้น
   2.2 การให้ขนาดและรูปร่าง
   2.3 การใช้สี
   2.4 การใช้วัสดุผิวต่าง ๆ
   2.5 การเว้นช่องว่าง

โอวาท พูลศิริ (มปป. : 4-5) กล่าวถึงอุปกรณ์ในการทำแผ่นโปร่งใสไว้ดังนี้

1. การจัดทำแผ่นโปร่งใสถาวรเป็นสีขาว – ดำ หรือสีต่าง ๆ ควรเป็นแผ่นโปร่งใส 3M
2. ต้นแบบที่จะนำมาเป็นต้นแบบแผ่นโปร่งใสจะต้องมีความสะอาดมีความคมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องถ่าย 3M

4. วัสดุที่ใช้ในการเขียนต้นฉบับเพื่อใช้ทำวัสดุต่าง ๆ จากเครื่องถ่าย 3M ได้แก่

- หมึกเขียนสีดำ เช่น indian ink
- หมึกพิมพ์สีดำจากหนังสือพิมพ์หรือกระดาษที่พิมพ์จากเครื่องอัดสำเนาแล้ว
- สำเนาเอกสารที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้ผงถ่าน
- ดินสอดำ 2B ขึ้นไป และปากกาน้ำสีดำ ปากกาหมึกแห้งสีดำ หมึกตราประทับต่าง ๆ สีดำ และต้นฉบับที่เป็นสีต่าง ๆ สำเนาเอกสารที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้กระดาษโดยเฉพาะของเครื่อง

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2533 : 216-218) กล่าวถึงการผลิตแผ่นโปร่งใสว่า แผ่นโปร่งใสไม่ใช่สื่อสำหรับเนื้อหา แต่เป็นสื่อสำหรับการบรรยายเสนอภาพหรือข้อความไม่มีรายละเอียดมากนัก อาจต้องตัดส่วนที่ต้องการออกบ้าง จะต้องเสนอเนื้อหาได้ชัดเจน การผลิตจึงต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ เช่น

1. ขนาดอักษรสูง 1/20 ของกรอบและขนาดภาพควรมีขนาด 1/4 ของกรอบ
2. ไม่ควรใช้สีมาก ควรใช้เฉพาะเน้นจุดสำคัญหรือเน้นข้อความให้ชัดเจน
3. ข้อความไม่ควรเบียดกันแน่นทั่วแผ่น
4. ควรมีภาพประกอบด้วย
5. ก่อนลงมือผลิตต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมเนื้อหาว่าจะออกแบบอย่างไร
6. หากแผ่นโปร่งใสนั้นต้องใช้หลายครั้งควรใช้เครื่องเขียนแบบถาวรตัวอักษรหรือภาพจะได้ไม่ลบง่าย
7. แผ่นใสมีราคาสูงควรรวบรวมเนื้อหาไว้ในแผ่นเดียวบ้าง

2.2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ เรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

วิโรจน์ จันทรัพย์ (2535 : 309) กล่าวว่า กล้ามเนื้อที่ประกอบอยู่ในร่างกายสัตว์เลี้ยงทุกชนิดส่วนมากเป็นกล้ามเนื้อลาย ซึ่งประกอบเป็นโครงร่างของร่างกายสัตว์คิดเป็นน้ำหนักประมาณ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว กล้ามเนื้อจะยึดเกาะอยู่ระหว่างกระดูกและโครงสร้างอื่น ๆ หรือระหว่างกระดูกต่อกระดูก เป็นต้น โดยมีโครงสร้างอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องหรือมีส่วนสำคัญในแง่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีส่วนร่วมในการทำงาน นอกจากนั้นร่างกายของสัตว์เลี้ยงยังมีกล้ามเนื้อเรียบ ซึ่งส่วนมากประกอบเป็นผนังของท่อของระบบต่าง ๆ ตลอดจนกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อในร่างกายสัตว์ทุกชนิดเมื่อทำงานก็จะทำให้ร่างกายและอวัยวะต่าง ๆ เกิดการเคลื่อนไหวได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาศัย การหดตัว (contraction) และการคลายตัว (relaxation) เช่น การเดิน วิ่ง การเคี้ยวอาหาร การเคลื่อนที่ของอาหารไปตลอดทางเดินอาหาร การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อสูบฉีดไปเลี้ยงร่างกาย การหายใจ การส่งเสียงร้อง การถ่ายอุจจาระ การถ่ายปัสสาวะ และการคลอดลูก รวมทั้งการทำงานของต่อมต่าง ๆ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวัชนี (2536 :7) กล่าวว่า ระบบกล้ามเนื้อถือได้ว่าเป็นระบบที่สำคัญที่สุดในร่างกายของการออกกำลังกาย และเป็นตัวจักรที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว การเคลื่อนไหวของร่างกายอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อลาย ซึ่งในร่างกายมีทั้งหมด 792 มัด ถือได้ว่ากล้ามเนื้อลายเป็นอวัยวะที่มีน้ำหนักมากที่สุดในร่างกาย คือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

ระบบกล้ามเนื้อเป็นระบบที่เห็นเด่นชัดที่สุดในร่างกาย การศึกษาระบบนี้มีความสำคัญในทางสรีรวิทยาอย่างยิ่ง ที่นำไปใช้ประโยชน์ในสาขาวิชาต่าง ๆ ทั้งในทางการแพทย์ สัตวแพทย์ และการเกษตรหลายสาขา เช่น การเลี้ยงสัตว์ อาหารสัตว์ สรีรวิทยาเกี่ยวกับการดำรงชีวิต และการทำงานของสัตว์

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 55) กล่าวว่า ถ้าไม่นับรวมสัตว์ที่อ้วนมาก ๆ แล้ว โดยทั่วไปกล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) จะมีอยู่ในซากสัตว์ประมาณ 35 – 65 เปอร์เซ็นต์ซาก ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงเนื้อสัตว์ โดยที่จะถือว่าเป็นการกล่าวอย่างรวม ๆ ไปแล้วจึงต้องหมายถึงกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นส่วนใหญ่

กล้ามเนื้อโครงร่างส่วนมากจะติดอยู่กับกระดูกโดยตรง แต่ก็มีบางส่วนที่ติดอยู่กับเส้นเอ็น (ligament) กระดูกอ่อนและหนัง ซึ่งก็เหมือนกับว่ากล้ามเนื้อโครงร่างเหล่านี้ติดอยู่กับกระดูกโดยทางอ้อมนั่นเอง กล้ามเนื้อทั้งก้อนเมื่อมองดูด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าจะถูกห่อหุ้มโดยตลอดด้วยแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า epimysium

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 64) กล่าวว่า กล้ามเนื้อโครงร่างมีอยู่ในร่างกายสัตว์โดยทั่ว ๆ ไปประมาณกว่า 600 มัดทุกมัดกล้ามเนื้อจะมีขนาด รูปร่าง และหน้าที่แตกต่างกันออกไป ส่วนชื่อของกล้ามเนื้อจะตั้งขึ้นมาตามลักษณะหลาย ๆ ลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น การอยู่ติดกับกระดูก หรืออวัยวะส่วนไหนของร่างกายก็จะตั้งชื่อโดยใช้อวัยวะนั้น ๆ เป็นหลัก ได้แก่ กล้ามเนื้อ sternomastoid ซึ่งอยู่ติดและเชื่อมเข้ากับกระดูก sternum หรือ biceps femoris ซึ่งก็คือกล้ามเนื้อที่อยู่ติดและเชื่อมติดเข้ากับกระดูก femur เป็นต้น นอกจากนี้ก็ยังมีลักษณะอื่น ๆ อีกเช่น ทิศทาง rectus ตำแหน่ง trapezius ในขณะเดียวกันมีหลายชื่อที่เป็นแบบผสมกันระหว่างลักษณะ 2 –3 อย่างเข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น flexor digitorum profundus เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อภินันท์ สุประเสริฐ (2533 : 1) กล่าวว่า คุณสมบัติทั่วไปของกล้ามเนื้อ คือ

1. Irritability คือ ความไวต่อสิ่งเร้า สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้
2. Contractility มีความสามารถในการหดตัว เนื่องจากโปรตีนในเซลล์กล้ามเนื้อ
3. Extensibility สามารถถูกยืดออกได้
4. Elastictin มีความยืดหยุ่น สามารถคืนสู่รูปเดิมได้

2.2.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวัชนี (2536 : 7) กล่าวถึงโครงสร้างของกล้ามเนื้อว่า กล้ามเนื้อทั้งมัดเรียกว่า muscle ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือเซลล์กล้ามเนื้อที่เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) มากมาย กล้ามเนื้อแต่ละใยถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่เรียกว่า endomysium เส้นใยกล้ามเนื้อรวมกลุ่มกันประมาณ 150 ใย กลายเป็นมัดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า fasciculus และถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า perimysium ส่วนกล้ามเนื้อทั้งมัด (muscle) มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มรอบทั้งมัดที่เรียกว่า epimysium แผ่เป็นแผ่นพังผืด (fascia) ทำหน้าที่ป้องกันกล้ามเนื้อ และแผ่นพังผืดดังกล่าวมารวมกันหนาขึ้นกลายเป็นเอ็น (tendons) เพื่อไปยึดติดกับกระดูก

Rudolf Hebel Melvin W. Stromberg (อ้างโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2529 : 329) กล่าวถึงโครงสร้างทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของกล้ามเนื้อลายว่า กล้ามเนื้อลายประกอบขึ้นด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber or muscle cells) มีรูปทรงกระบอกความยาวประมาณ 1 – 40 มิลลิเมตร แต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อมีหลายนิวเคลียส และมีลายตามขวาง นิวเคลียสรูปไข่มักอยู่ขอบ ๆ หรือริมของเส้นใยกล้ามเนื้อ ยกเว้นใน fetus จะอยู่กลางเซลล์เส้นใยกล้ามเนื้อ แต่ละเส้นจะต่อกันเป็นเซลล์ที่ยาวเรียงกัน แต่ไม่มีผนังกั้น จึงทำให้เป็นเซลล์เดียวตลอด และมีนิวเคลียสมากมายที่ผนังภายนอก จะถูกหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ เรียกว่า sarcolemma จะอยู่ติดอย่างแนบชิดกับส่วน epimysium

เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นถูกห่อหุ้มด้วย sarcolemma และ epimysium ซึ่งเป็นส่วนที่มีการยืดหยุ่นได้ของกล้ามเนื้อ และยังทำหน้าที่เชื่อม เส้นใยกล้ามเนื้อกับส่วนที่เหนียวที่สุดของกล้ามเนื้อคือ เอ็น ภายใน cytoplasm ของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นจะประกอบไปด้วยเส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่า myofibril จำนวนมากมาย เรียงขนานกันตามความยาวไม่เป็นระเบียบ myofibril จัดเป็นโครงสร้างหน่วยเล็กที่สุดของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.2 ส่วนประกอบของกล้ามเนื้อโครงร่าง

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 63 - 68) กล่าวถึงส่วนประกอบของกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ว่า กล้ามเนื้อโครงร่างประกอบไปด้วย

1. เส้นใยกล้ามเนื้อ

เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นประเภททวินิวเคลียส มีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้าย ปลายทั้งสองข้างสอบแหลม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10 – 100 ไมครอน (0.001 – 0.0001) มีความยาวที่ปรวนแปรสูง แต่ส่วนใหญ่จะยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และยาวไม่เท่ากับความยาวของกล้ามเนื้อทั้งมัด เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในแผ่นเยื่อบางของซาร์โคเลมมา (sarcolemma) ซึ่งเป็นเยื่อที่ละเอียดซับซ้อนอยู่ใต้เอนโดไมเซียม

ลักษณะเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างก็คือ มีลายปรากฏอยู่ตลอดโดย ลายดังกล่าวเป็นผลมาจากภายในเส้นใยย่อย (myofibril) โดยภายในแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยย่อยเรียงตัวตามยาวอัดแน่นกันอยู่อย่างเป็นระเบียบ เส้นใยย่อยเหล่านี้อาจมีจำนวนมากถึง 1,000 เส้นต่อ 1 เส้นใยกล้ามเนื้อ และหล่อเลี้ยงด้วยไซโตปลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ ส่วนนิวเคลียสของเส้นใยกล้ามเนื้อจะพบตามบริเวณผิวนอกและมีจำนวนมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นลักษณะเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างอย่างหนึ่ง และไมโตคอนเดรีย (mytochondria) นั้นจะพบอยู่ในระหว่างเส้นใยย่อย ณ บริเวณส่วนปลายขั้วของนิวเคลียสใต้ซาร์โคเลมมา โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ส่วนซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (sarcoplasmic reticulum) กับทรานสเวอสทิวบิวลา (transverse tubular system) จะพบอยู่เป็นระยะ ๆ ไปกับลายของเส้นใยย่อยโดยทำหน้าที่ควบคุมและอำนวยการกลไกการเกิด excitation – contraction และกอลจิคอมเพลกซ์ (golgi complexes) จะพบอยู่ที่บริเวณยอดของนิวเคลียส นอกจากนั้นจะพบไกลโคเจน (glycogen) และหยดของน้ำมัน (lipid droplets)

1.1 ซาร์โคเลมมา (Sarcolamma)

เยื่อหุ้มเส้นใยหรือซาร์โคเลมมา หมายถึงเยื่อบาง ๆ ที่ห่อหุ้มโดยรอบเส้นใยกล้ามเนื้อจนสามารถแยกเส้นใยแต่ละเส้นออกจากกันได้เด่นชัด โดยเยื่อหุ้มเส้นใยประกอบไปด้วยชั้นบาง ๆ 4 ชั้นอยู่ด้วยกัน แต่ละชั้นจะหนาประมาณ 100 – 500 อังสตรอม และที่ห่อหุ้มถัดออกมาจากเยื่อหุ้มเส้นใยก็คือเอนโดไมเซียม ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเส้นใยพบว่าประกอบไปด้วยคอเลสเตอรอล (cholesterol) และฟอสฟอลิปิดส์ (phospholipids) ในปริมาณเท่าๆกัน นอกจากนั้นก็มีสาร polysaccharides และโปรตีน เยื่อหุ้มเส้นใยมีคุณสมบัติและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

36236

หน้าที่เหมือนเยื่อหุ้มเซลล์อื่นๆ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี และมีเส้นใยประสาทมาเชื่อมเข้ายังเส้นใยกล้ามเนื้อ ณ เยื่อหุ้มเส้นใยเพื่อส่งสัญญาณจากสมองมายังเส้นใยกล้ามเนื้อ

1.2 นิวเคลียส (Nucleus)

เส้นใยกล้ามเนื้อเป็นประเภททวินิวเคลียส (นิวเคลียสหลายอัน)โดยจะพบอยู่ใกล้ผิวนอกของเส้นใยติดกับเยื่อหุ้มเส้นใย แต่ละนิวเคลียสยาวระหว่าง 8 – 10 ไมครอน และมีรูปร่างเป็นเม็ดรูปวงรี เรียงตัวไปตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ

1.3 กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex)

เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นถุงท่อบาง ๆ ส่วนมากมักพบอยู่ภายใน ซาร์โคปลาส-ซึมใกล้นิวเคลียส หน้าที่ของมันคือ รวบรวมผลิตผลจาก metabolism ของเส้นใยกล้ามเนื้อให้เป็นกลุ่มก้อนเพื่อเก็บรักษาเอาไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป

1.4 ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria)

หมายถึงโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นแท่งรูปวงรี พบในที่ว่างระหว่างเส้นใยย่อยใต้เยื่อหุ้มเส้นใย และมักอยู่ตามบริเวณใกล้เส้น Z – line ไมโตคอนเดรียทำหน้าที่ในการเก็บรักษาพลังงานจากอาหารโดยผ่านทาง Kreb's cycle แล้วจึงแปรสภาพไปเป็นพลังงานรูป ATP โดยกระบวนการ phosphorylation ภายในไมโตคอนเดรียจะมีสารย่อย (enzyme) ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในขบวนการย่อยสลายหลายชนิดด้วยกัน

1.5 ซาร์โคปลาสซึม (Sarcoplasm)

ซาร์โคปลาสซึมคือสารกึ่งเหลวอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อและหล่อเลี้ยงโครงสร้างย่อยต่าง ๆ ภายในนั้น เช่น สารย่อยไกลโคเจน (glycolytic enzyme) ไมโอโกลบิน (myoglobin) ไกลโคเจน และเม็ดไขมันต่าง ๆ เป็นต้น

1.6 ไลโซโซม (Lysosome) มีรูปร่างเหมือนถุงเล็ก ๆ ที่มีสารย่อยหลายชนิดอยู่ภายในนั้น รวมทั้งกลุ่มสารย่อยคาเทปซิน (cathepsins) ซึ่งมีความสามารถในการย่อยโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกรณีที่เก็บเนื้อหรือแช่ซากไว้ในห้องเย็นเป็นเวลานานนั้น เนื้อจะนุ่มได้เพราะสารย่อยกลุ่มนี้ได้ย่อยโปรตีนบางอย่างในเส้นใยกล้ามเนื้อ จนเป็นผลให้เนื้อนุ่มขึ้น

1.7 เส้นใยย่อย (Myofibril) หมายถึงโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยืดหดตัวภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) และภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏลายให้เห็นเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เส้นใยย่อยเหล่านี้จะอยู่เรียงตัวกันไปตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยมีซาโคปลาสซึมหล่อเลี้ยงอยู่โดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน อาจจะมีเส้นใยย่อยระหว่าง 1,000 – 2,000 เส้น หรือมากกว่านี้ก็ได้

กล้ามเนื้อทั้งมัด ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากเรียงตัวอยู่ด้วยกัน และเมื่อตัดแยกเอาเส้นใยกล้ามเนื้อออกมาดู ก็จะประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อย่อยจำนวนมาก ในแต่ละเส้นใยย่อยจะเห็นว่ามีแถบพื้นที่ทึบแสงอยู่สลับกันไปกับแถบโปร่งแสง การที่สลับกันไปโดยตลอดนี้ทำให้เกิดหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อขึ้นมาเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) หน่วยซาร์โคเมียร์นี้จะมีความยาวในสภาวะปกติ (resting) ประมาณ 2.3 – 2.8 ไมครอน แต่บางกล้ามเนื้อก็อาจจะยาวได้ถึง 7 – 9 ไมครอน เส้นเขตพื้นที่ของแต่ละซาร์โคเมียร์จะเป็นเส้นบางแต่ชัดเจน เรียกชื่อว่า เส้น Z – line ภายในแต่ละซาร์โคเมียร์จะพบว่ามีแถบทึบแสงอยู่บริเวณส่วนกลางมีชื่อเรียกว่า A band ซึ่งมาจากคำว่า Anisotropic ส่วนแถบโปร่งแสงมีพื้นที่อยู่ข้างละครึ่งของ Z line ซึ่งผ่ากลางอยู่นั้นเรียกชื่อว่า I band มาจากคำว่า Isotropic ในกล้ามเนื้อของสัตว์ภายใต้สภาวะปกตินั้น มีรายงานว่า A band กว้างประมาณ 1.55 ไมครอน ส่วน I band กว้างประมาณ 0.75 ไมครอน ภายในพื้นที่ของ A band จะพบว่ามีพื้นที่สีจางอยู่ตรงใจกลางปรากฏอยู่ พื้นที่นี้เรียกว่า H zone ซึ่งกว้างประมาณ 0.35 ไมครอน และจะมีเส้นทึบเล็ก ๆ ผ่ากลาง H zone อยู่เรียกว่า M line โดย 2 ข้างของ M line ก็จะเป็นแถบทึบแสงเล็กมากเรียกว่า Pseudo H zone ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1,500 อังสตรอม ($1\ A^0 = 10^{-8}$) เป็นต้น

การเรียงตัวของเส้นใยฝอย (Myofilaments) ลายที่ปรากฏนั้นเกิดขึ้นจากการเรียงตัวอยู่ด้วยกัน และเกยทับกันเอง (overlap) ของเส้นใยฝอย เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงมากในบริเวณของ I band จะเห็นเส้นใยฝอยเส้นเล็กบางมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 – 70 อังสตรอมอยู่ แต่เมื่อมองที่ A band ก็จะพบทั้งเส้นใยฝอยชนิดบางกับชนิดหนาอยู่เกยกัน โดยเส้นใยฝอยชนิดหนาจะเป็นเส้นเดียวต่อเนื่องกันจากด้านหนึ่งไปจนสุดอีกขอบหนึ่งของ A band ส่วนเส้นใยฝอยชนิดบางนั้นจะไม่ยาวต่อเนื่องกันไปจนถึงใจกลางของ A band แต่จะสิ้นสุดความยาวของมัน ณ ขอบนอกของ H zone เส้นใยฝอยทั้ง 2 ชนิด จะอยู่เรียงตัวกันเช่นนี้ในทุกซาร์โคเมียร์ จึงทำให้มีแสงผ่านได้แตกต่างกัน ดังนั้น จึงปรากฏลายของเส้นใยย่อยขึ้นมา

คณาจารย์ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ ศิริราชพยาบาล (2534 : 54) กล่าวว่า เส้นใยไมโอซิน เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว และมีหัว 2 หัว ส่วนหัวเรียกว่า เมอโรมัยโอซินชนิดหนัก (heavy meromyosin) ส่วนหางเรียก เมอโรมัยโอซินชนิดเบา (light meromyosin) เมอโรมัยโอซินชนิดหนักยังประกอบด้วยส่วนหัวและส่วนคอ ส่วนหัวมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็นไซม์สำหรับย่อย ATP เส้นใยหนานี้ประกอบด้วยโมเลกุลของไมโอซินถึง 360 โมเลกุล ซึ่งเรียงตัวแบบอนุกรมกับเส้นใยโดยมีหัวอยู่ทางเดียวกัน ส่วนกลางจะเป็นหาง ที่ส่วนหัวและคอนี้จะมีลักษณะเป็นข้อต่อที่หมุนได้เพื่อจับกับสายของแอคติน เมื่อไมโอซิน และแอคตินรวมกันแล้วจะเกิดสายใหม่เรียก แอคโตมัยโอซิน

เส้นใยแอคติน เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลม โปรตีนชนิดนี้แต่ละโมเลกุลเรียก จี - แอคติน เมื่อรวมกันเป็นได้สายเรียก เอฟ แอคติน เอฟ แอคตินนี้มี 2 สายซึ่งจะบิดเป็นเกลียว เรียกว่า เส้นใยบาง

โทรโปมัยโอซิน มีลักษณะคล้ายมัยโอซิน แต่ไม่มีหัว และบิดเป็นเกลียวอยู่รอบ ๆ แอคติน โทรโปมัยโอซินนี้มีสองสาย ปลายข้างหนึ่งจะติดอยู่กับอณูของโทรโปนิน โมเลกุลของโทรโปรมัยโอซินจะแผ่ไปตลอดอณูของแอคตินถึง 7 อณู ระหว่างการหดตัวของโทรโปรมัยโอซินจะเป็นสะพานไฟและจะเบนเข้าร่องของเส้นใยบาง เพื่อเบนข้างที่มีปฏิกิริยาทำให้เกิด cross bridge ระหว่างมัยโอซินและแอคติน โทรโปมัยโอซินจะไม่จับกับแคลเซียมไอออน แต่ถ้าหากมีโทรโปนินมันจะทำหน้าที่ให้โทรโปนินจับแคลเซี่ยมไอออน เพื่อให้เกิดการหดตัวขึ้น

โทรโปนิน เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลมเหมือนแอคติน มี 3 หน่วยย่อยคือ โทรโปนิน ซี เป็นหน่วยที่จะมีการรวมกับแคลเซี่ยมไอออน โทรโปนิน ที เป็นหน่วยที่รวมกับโทรโปนิน คอมเพล็กซ์ และติดกับโทรโปมัยโอซิน หน่วยสุดท้ายของโทรโปนิน ไอ เป็นตัวที่คอยป้องกันการเกิด cross bridge ระหว่างแอคตินและมัยโอซิน จำนวนโทรโปนิน 1 โมเลกุลจะเปลี่ยนไปเป็นแอคตินได้ถึง 4 – 7 โมเลกุล เมื่อโทรโปรนินซีมีความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมจะทำให้โทรโปนินไอไม่มีปฏิกิริยา และ cross bridge. เข้าไปติดกับแอคติน

1.8 ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (Sarcoplasmic reticulum) และท่อที (T – tubules)

ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (SR) ก็คือ เอนโดปลาสมิกเรติคิวลัมในเซลล์อื่นทั่ว ๆ ไปและอาจกล่าวได้ว่า หมายถึง ระบบท่อในผนังหุ้มและซิสเตอนี (cisternae ทำหน้าที่สะสม Ca^{2+}) ซึ่งสานรูปร่างเป็นโครงข่ายหุ้มโดยรอบเส้นใยย่อย (myofibril) แต่ละเส้นอยู่ ถึงแม้ว่าทั้ง 2 อย่างคือซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมกับท่อทีจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่เมื่อกล่าวถึงหน้าที่ทำงานแล้วท่อทีจะเกี่ยวข้องกับซาร์โคเลมมามากกว่า ในขณะที่ SR นั้นเป็นสถานที่ที่สะสม Ca^{2+} เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่ในภาวะพักตัว (relax)

ในแต่ละซาร์โคเมียร์นั้น SR จะประกอบไปด้วยท่อบาง ๆ ขนานไปกับแนวยาวของเส้นใยย่อย เรียกว่า longitudinal tubules โดยในบริเวณ H zone จะมีช่องเปิดเป็นช่วง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า fenestrated collar และ ณ. ที่จุดเชื่อมระหว่าง A กับ I band ก็จะมีโครงสร้างท่อห่อหุ้มอยู่เรียกชื่อว่า terminal cisternae ซึ่งทำหน้าที่เก็บกัก Ca^{2+} ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

SR ที่กล่าวมานี้มีอยู่ในทุก ๆ ซาร์โคเมียร์ ดังนั้น ในแต่ละเส้นใยฝอยและเส้นใยย่อยจึงมีจำนวนมากมาย และถ้าหากจะพิจารณาทั้งเส้นใยกล้ามเนื้อแล้ว ก็จะมีจำนวนมหาศาล แต่อย่างไรก็ตาม ประมาณการกันไว้ว่ามีจำนวนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยปริมาตร ส่วนท่อทีมีเพียง 0.3 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยโดยปริมาตร (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529 : 72)

2.2.3 การทำงานของกล้ามเนื้อ

สัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดสามารถเคลื่อนไหวอวัยวะต่าง ๆ จนในที่สุดสามารถลุกขึ้นยืน เดิน วิ่ง และทำงานต่าง ๆ ได้แทบทุกชนิดนั้น เป็นเพราะการมีการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยพื้นฐาน กล้ามเนื้อซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก นับเป็นตัวสำคัญในการแปรรูปธาตุอาหารไปเป็นพลังงานเคมี และจากพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานกลได้ การที่เข้าใจถึงความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงขบวนการต่าง ๆ ตามขั้นตอน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยย่อย

2.2.3.1. การรับสัญญาณจากประสาท

การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อเริ่มต้นจากการกระตุ้นที่มายังผิวของเส้นใยกล้ามเนื้อหรือซาร์โคเลมมา ทั้งนี้โดยสมองจะสั่งการมาก่อน แล้วจึงค่อยถ่ายทอดลงมายังไขสันหลังก่อนลงมาสู่กล้ามเนื้อโดยทางประสาท เส้นใยประสาทที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดส่งสัญญาณลงสู่เส้นใยกล้ามเนื้อนั้น มีชื่อเรียกว่า moter nerves ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ ถูกห่อหุ้มไว้โดยชั้นของ Schwann cell และ myelin sheath ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกว่า myelinated nerves และทำหน้าที่ในการถ่ายทอดสัญญาณได้ด้วยความเร็วสูงมาก

ในเซลล์สัตว์มีชีวิตขณะที่อยู่ในสภาวะพักตัว (relax) จะยังคงมีศักยะไฟฟ้า (electrical potential) อยู่ตลอดเวลา ในระหว่างภายนอกและภายในของเซลล์ ศักยะนี้อาจมีค่าระหว่าง 10 – 100 มิลลิโวลต์ ขึ้นอยู่กับประเภทของเซลล์ แต่ในระหว่างเส้นใยประสาทกับเส้นใยกล้ามเนื้อนั้น จะมีค่าประมาณ 80 – 85 มิลลิโวลต์ ของเหลวที่อยู่ทั้งภายนอกและภายในเส้นใยเหล่านี้จะมีความเข้มข้นของประจุไฟฟ้าเท่า ๆ กัน หรือโดยทั่ว ๆ ไปก็อาจกล่าวได้ว่ามีประจุไฟฟ้าลบภายในเซลล์สูงกว่าเล็กน้อย ในขณะเดียวกันก็มีประจุไฟฟ้าบวกอยู่ภายนอกเซลล์สูงกว่าเล็กน้อยเช่นกัน การมีอยู่ของประจุไฟฟ้าดังนี้จึงทำให้เกิดความสมดุลย์และเป็นศักยะไฟฟ้าอยู่ได้ ดังนั้นจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวได้ว่า membrane potential นี้เป็นประจุบวกภายนอกและประจุลบภายใน จะเห็นว่าของเหลวภายนอกเซลล์นั้นมีความเข้มข้นของประจุ Na^+ และ Cl^- สูง แต่มีประจุ K^+ และ non diffusable ประจุลบ (A^-) ต่ำมาก ในทางตรงกันข้ามจะเห็นว่าของเหลวภายในเซลล์จะมีประจุ 2 ชนิดหลังในปริมาณสูงมาก (K^+ 140 mEq/l A^- 150 mEq/l) และมี Na^+ กับ Cl^- ต่ำมาก การเกิด concentration gradients ของ Na^+ และ K^+ ผ่านผนัง plasma นี้คงไว้ได้ โดยมีการเคลื่อนย้ายออกนอกเซลล์ของ Na^+ และ K^+ เข้ามาในเซลล์โดยระบบที่เรียกว่า Na^+ - K^+ pump พลังงานที่ใช้ในการ pump นี้ได้มาจากขบวนการ Hydrolysis ของ adenosine triphosphate (ATP) โดยผนังของเซลล์จะยอมให้ K^+ diffuse ผ่านได้ 50 – 100 เท่าของที่ยอมให้ Na^+ ผ่าน เพราะฉะนั้น การเข้าออก K^+ จึงเป็นไปได้ง่ายกว่า Na^+ มาก ซึ่งมีความหมายว่า K^+ สามารถผ่านออกไปนอกเซลล์ได้เร็วกว่าที่ Na^+ จะผ่านเข้ามาในเซลล์ ดังนั้นจึงเป็นผลมีประจุไฟฟ้าบวกเรียงกันอยู่นอกเซลล์และดึงดูดประจุลบซึ่งเรียงตัวกันอยู่ภายในเซลล์ และทำให้เกิดมี membrane potential ขึ้นมาได้

2.2.3.2 Action potential

เส้นใยประสาทและเส้นใยกล้ามเนื้อจะมี membrane potential คงอยู่เหมือน ๆ กันกับในเซลล์ชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไป แต่นอกเหนือไปจากนี้มันยังมีความสามารถพิเศษ คือ มันสามารถที่จะถ่ายทอดแรงกระตุ้นไฟฟ้า (electrical impulse)ซึ่งเรียกกันว่า action potential ไปตามผิวของผนังได้ เมื่อ action potential นี้ถูกถ่ายทอดจาก motor nerve มายังเส้นใยกล้ามเนื้อ มันก็จะจุดชนวนของการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อได้ (muscle contraction) action potential นี้จะถ่ายทอดมาตามผิวของผนังเส้นใยประสาทซึ่งที่แท้จริงแล้วก็เป็นคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผนัง (membrane) ภายในของผนังเซลล์จะเป็นบวกมากกว่า แต่เมื่อมี action potential มานั้น ผนังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะยอมให้ Na^+ ผ่านได้มากขึ้นถึง 300 – 3,000 เท่า ดังนั้นการเข้าไปในเซลล์ของ Na^+ จึงเกิดอย่างรวดเร็วและในอัตราที่สูงกว่าที่ K^+ ออกมานอกเซลล์เป็นอย่างมาก ภาวะเช่นนี้จึงทำให้มีประจุบวกอยู่ภายในเซลล์สูงกว่ามาก และในขณะเดียวกันจะมีประจุลบอยู่ภายนอกเซลล์สูงกว่ามากเช่นกัน จึงทำให้เป็นสภาวะตรงกันข้ามกันกับเมื่อเป็น membrane potential แต่อย่างไรก็ตาม การยอมให้ Na^+ ผ่านเข้าไปมากนี้จะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นมากคือ เป็นหนึ่งในล้านของวินาทีเท่านั้น ก็กลับคืนสู่สภาพเดิมอีก และก็เกิดขึ้นสลับกันต่อไปเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาของการนำสัญญาณกระตุ้น (stimuli) จากประสาทลงสู่กล้ามเนื้อ ซึ่งจะผ่าน ณ จุดหนึ่งในเวลาเพียง 0.5 – 1 millisecond เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณกระตุ้นหรือ action potential นี้ จะถ่ายทอดจากเส้นประสาทไปสู่เส้นใยกล้ามเนื้อ ณ myoneural junction ซึ่งก็จะนำมาสู่ซาร์โคเลมมาเพื่อลงสู่ภายในกล้ามเนื้อต่อไป และจุดนี้ก็จะมี acetylchohine มาขยายกำลังสัญญาณกระตุ้นลงสู่เส้นใยกล้ามเนื้ออีกทอดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่มาถึงนี้ยังมีกำลังไฟฟ้าอ่อนมาก action potentia ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องในเส้นใยกล้ามเนื้อกับเส้นใยประสาทที่อธิบายมาแล้ว แต่ระยะเวลาที่เกิดขึ้นจะนานกว่าเล็กน้อย คือ 5 – 10 millisecond เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.5 – 1 millisecond ในเส้นใยประสาท action potential จะเดินทางไปตามซาร์โคเลมมาและกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อตลอดทั้งเส้นใยได้ต่อไปในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนการนำลงสู่แต่ละเส้นใยย่อยนั้น ก็จะเป็นหน้าที่ของระบบท่อ (transverse tubule) ที่จะนำเข้าไปสู่ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม ซึ่งห่อหุ้มอยู่รอบเส้นใยย่อยต่อไป

2.2.3.3 การยืดหดตัว (Contraction)

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 73) กล่าวว่า การยืดหดตัว (Contraction) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงภายในกล้ามเนื้อ ณ ระดับซาร์โคเมียร์ในเส้นฝอย โดยขนาดความกว้างของซาร์โคเมียร์จะหดตัวเข้าแล้วคลายตัวยืดออกไป หรือกลับมาอยู่ ณ ความกว้างเท่าเดิม อันเป็นผลมาการเปลี่ยนแปลงพลังงานทางเคมีไปเป็นพลังงานกล ซึ่งจากการหดตัวนี้เอง ได้ทำให้กล้ามเนื้อทั้งมัดส่วนกระแสแรงของพลังงานกลไปสู่เอ็นพังผืดที่ห่อหุ้มอยู่แล้วต่อเนื่องไปยังกระดูก จนเป็นผลให้สัตว์สามารถเคลื่อนไหวแขน ขา หรืออวัยวะอื่น ๆ ในร่างกายได้ตามความต้องการ หรือตามที่สมองจะสั่งการ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวัชนี (2536 : 11-14) กล่าวถึง กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อว่า ได้มีการศึกษากลไกการทำงานของกล้ามเนื้อกันมาก อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันนี้อธิบายกลไกการทำงานโดยทฤษฎีที่เรียกว่า sliding filament theory พบว่ามีกลไกทำให้ thick และ thin filaments เลื่อนเข้าหากัน จึงทำให้กล้ามเนื้อหดสั้นเข้า

เมื่อกล้ามเนื้อทำงานจะมีการหดตัวที่เรียกว่า contraction แล้วตามด้วยการคลายตัวเรียกว่า relaxation

1. กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ

1.1 การหดตัว (contraction)

ในขณะเมื่อใยกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพักนั้นมี Ca^{++} อยู่ใน sarcoplasm น้อย โดยเก็บไว้ใน sarcoplasmic reticulum แต่มี ATP ความเข้มสูง และ ATP นี้จับอยู่กับ ATP – binding sites ของ myosin cross bindges และ cross bindges นี้ถูกป้องกันไม่ให้ไปรวมกับ actin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ thin myofilament โดยการมี tropomyosin – troponin complex จับไว้กับ actin และ ATP รวมอยู่กับ myosin cross bindges

เมื่อ muscle action potential ผ่านมาถึงบริเวณ sarcoplasmic reticulum จะทำให้มีการปล่อย Ca^{++} จากที่เก็บ และ Ca^{++} จะรวมกับ troponin กลายเป็น calcium binding protein ซึ่งมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ troponin เคลื่อนออกไปและเปิด myosin binding sites

ส่วน myosin cross bindge ซึ่งทำหน้าที่เป็น ATPase enzyme จะทำหน้าที่สลาย ATP ให้กลายเป็น ADP + P พลังงานที่ได้จากการสลาย ATP นั้นจะทำหน้าที่เร่ง myosin cross bindge ให้ไปจับกับ myosin binding sites จึงเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของ myosin cross bindge ใหม่ ซึ่งจะทำให้ actin myofilament เคลื่อนเข้าไปหา myosin myofilament จึงเป็นผลให้ Z line ของ sacromere ถูกดึงเข้ามาหากัน ซึ่งหมายถึงว่า sacromere มีช่วงสั้นเข้า และใยกล้ามเนื้อก็หดสั้นเข้าด้วย นั้นก็คือกล้ามเนื้อทั้งหมดหดสั้นด้วยในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวเต็มที่ ระยะระหว่าง Z line อาจสั้นเข้าไป 50 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวขณะพัก (resting length)

1.2 การคลายตัว (relaxation)

เมื่อ ACh ทำให้เกิด muscle action potential แล้ว จะถูกทำลายโดย enzyme acetylcholine esterase (AchE) ซึ่งมีอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของ sarcolemma ส่วน Ca^{++} ถูกขนส่งกลับเข้าไปเก็บไว้ใน sarcoplasmic reticulum ทั้งนี้เป็น active transport ที่ต้องอาศัย ATP เมื่อ Ca^{++} ถูกนำออกมาจาก sarcoplasm แล้ว tropomyosin – troponin complex จะกลับไปจับ กับ actin อีก จึงเป็นผลให้ myosin binding sites ถูกปิดไว้ และ myosin cross bindges ถูกแยกจาก actin ทั้งนี้ก็ต้องอาศัย ATP เพื่อแยก cross bindge ออกด้วย ผลที่ตามมา คือ sacromere ถูกยืดยาวออก ความยาวของ sacromere นั้น สามารถเพิ่มได้เกินความยาวขณะพัก (resting length) ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

2. ชนิดของการหดตัวทางเชิงกล

การหดตัวทางเชิงกลของกล้ามเนื้อสามารถแบ่งได้เป็นหลายแบบ โดยอาศัยพื้นฐานที่แตกต่างกัน

2.1 ชนิดของการหดตัวที่เกี่ยวกับความยาวและความตึง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การหดตัวไอโสเมตริค (isometric contraction) การหดตัวชนิดนี้ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่

(2) การหดตัวไอโสโทนิค (isotonic contraction) การหดตัวชนิดนี้ความตึงของกล้ามเนื้อคงที่

อาจช่วยให้เข้าใจการทำงานทั้งสองชนิดนี้ได้ โดยคิดถึงการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายจริง ๆ เมื่อใช้มือยกน้ำหนักโดยพยายามใช้กล้ามเนื้อไบเซพส์ (biceps) ออกแรงดึงเพื่อให้ข้อศอกงอในระยะแรกที่แรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุจะยังยกวัตถุไม่ขึ้น ความยาวของกล้ามเนื้อไบเซพส์จะไม่เปลี่ยน แต่ความตึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การทำงานของกล้ามเนื้อในระยะนี้จะเป็นชนิด isometric ต่อมาเมื่อแรงดึงของกล้ามเนื้อมากกว่าน้ำหนักของวัตถุ แขนจะงอและยกน้ำหนักขึ้น กล้ามเนื้อจะสั้นเข้า การหดตัวในระยะนี้เป็นชนิด isotonic ฉะนั้นการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายส่วนใหญ่มักจะมีการทำงานทั้งสองชนิดนี้รวมกัน นอกจากการทำงานบางระยะที่พบเพียงชนิดเดียว

2.2 ชนิดของการหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ คือ

(1) การหดตัวแบบคอนเซนตริค (concentric contraction) การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อความยาวของกล้ามเนื้อสั้นเข้า การหดตัวแบบนี้เป็นการหดตัวที่ได้แรงงานซึ่งเรียกว่า positive work

(2) การหดตัวแบบเอคเซนตริค (eccentric contraction) การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้อยาวออกไป เป็นการหดตัวเพื่อช่วยพยุงน้ำหนักถ่วงที่เคลื่อนออกไปจึงไม่ได้งานที่เห็นภายนอก เรียกการหดตัวแบบนี้ว่าเป็น negative work ตัวอย่างของการหดตัวแบบนี้ได้แก่การทำงานของกล้ามเนื้อขาขณะเมื่อทำการหยุดโดยทันทีจากการวิ่ง กล้ามเนื้อจะทำการหดตัวเพื่อทำให้การวิ่งหยุดลง

2.2.3.4 พลังงานในการยืดหดตัว

จะเห็นได้ว่า ATP เป็นพลังงานของพลังงานสุดท้าย สำหรับขบวนการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การ pump ของแคลเซียมขณะพักตัว และการ pump ของโซเดียมและโพแทสเซียมผ่านซาร์โคเลมมา อย่างไรก็ตาม ในขบวนการยืดหดตัวนั้นจะใช้ปริมาณ ATP สูงที่สุด จึงอาจกล่าวอย่างกว้าง ๆ ได้ว่าเป็นขบวนการที่ใช้พลังงานแพงที่สุดก็ว่าได้ ดังนั้น กล้ามเนื้อจึงต้องมีระบบสังเคราะห์ให้ได้ ATP มาใช้ในจำนวนมาก ๆ และเร็วที่สุดในขณะมีชีวิตอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่สัตว์กำลังถูกฆ่าตายนั้น กล้ามเนื้อมิใช่ว่าจะหยุดขบวนการมีชีวิตแล้วแปรสภาพเป็นเนื้อในทันทีเลย แต่ว่าขณะนั้นจะยังคงมีอุปทานของ ATP มาสู่กล้ามเนื้ออยู่ไปอีกระยะเวลาหนึ่งกระบวนการที่สังเคราะห์ ATP ให้แก่กล้ามเนื้อนั้นยังคงมีอยู่ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกหลายประการซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของเนื้อในที่สุด แหล่งของ ATP สำหรับใช้ในทันทีนั้นจะได้มาจาก phosphocreatine โดยปฏิกิริยา ADP + phosphocreatine $\rightleftharpoons$ ATP + creatine โดยมีสารย่อย creatine kinase ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเนื่องจากปริมาณ phosphocreatine ก็อยู่ในปริมาณจำกัด ดังนั้นจึงหมดไปภายในชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งก็จะต้องมีแหล่งอื่นสังเคราะห์ ATP ขึ้นมาสำหรับการยืดหดตัวเพื่อการดำรงชีวิตต่อไป

ขบวนการที่มีประสิทธิภาพมากในการสังเคราะห์ ATP ขณะสัตว์ยังมีชีวิตนี้ เรียกว่า aerobic metabolism ซึ่งโภชนะต่าง ๆ เช่น อาหารแป้ง โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในขณะที่ส่วนที่ส่วนที่เป็นพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาก็จะถูกใช้สำหรับสร้าง ATP ต่อไปเรื่อย ๆ

ในกล้ามเนื้อนั้น น้ำตาลกลูโคสจะถูกสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจนคิดเป็นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกล้ามเนื้อ ขบวนการส่วนแรกจะประกอบไปด้วยปฏิกิริยา 12 ขั้นตอน ที่ต่อเนื่องกันไปซึ่งเรียกรวมกันว่า ไกลโคไลซิส ทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นในซาร์โคปลาสซึม ขบวนการส่วนที่ 2 เป็นกลุ่มของปฏิกิริยาที่เรียกว่า tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) เกิดขึ้นในไมโตคอนเดรีย และขบวนการส่วนที่ 3 เรียกว่า cytochrome chain

ไกลโคเจนซึ่งแตกตัวได้กลูโคสโมเลกุลนั้น จะผ่านเข้าไปในปฏิกิริยาทั้งหมดข้างต้นซึ่งก็จะได้ ดังนี้ คือ ได้จากไกลโคไลซิส 3 ATP โมเลกุลกับ 4 hydrogen ion ซึ่งก็จะได้ 4 ATP โมเลกุล ณ ที่ cytochrome chain และในขั้นสุดท้ายของไกลโคไลซิสนั้นจะได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ซึ่งแต่ละโมเลกุลก็จะให้ 10 hydrogen atoms หรือเท่ากับ 20 hydrogen atoms ใน TCA cycle และก็จะเปลี่ยนไปเป็น 30 ATP ณ cytochrome chain เพราะฉะนั้น เมื่อกลูโคส 1 โมเลกุลจากไกลโคเจน ผ่านเข้าไปในขบวนการทั้งหมดก็จะได้ 37 ATP โมเลกุล

ในขณะที่กล้ามเนื้อกำลังทำงานอย่างช้า ๆ และมีออกซิเจนเข้ามาอย่างพอเพียงตลอดเวลานั้นกล้ามเนื้อก็จะได้รับพลังงานอย่างเพียงพอกับความต้องการโดยผ่านทาง aerobic metabolism และการแตกตัวของ phosphocreatine แต่เมื่อกล้ามเนื้อยืดหดตัวอย่างรวดเร็วนั้น ออกซิเจนก็จะมีไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนการสังเคราะห์ ATP โดยทาง aerobic metabolism ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะมีกลไกอีกชนิดหนึ่งมาเป็นทางออกในการสังเคราะห์ ATP ให้แก่กล้ามเนื้อ และนั้นก็คือ aerobic metabolism ซึ่งก็จะเป็นไปในช่วงสั้น ๆ เท่านั้นเอง และในการนี้จะมีกรดแลคติกสะสมอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้ามเนื้อสูงขึ้นด้วยซึ่งนับว่าเป็นลักษณะพิเศษของขบวนการนี้ ส่วนพลังงานที่ได้จากการนี้ก็เพียง 3 ATP โมเลกุลเท่านั้นและกรดไพรูวิกก็จะถูก Hydrogen ion เปลี่ยนตัวไปเป็นกรดแลคติกแทน และด้วยเหตุนี้ค่า pH ของกล้ามเนื้อจึงลดลง จนกระทั่งเมื่อลดต่ำลงถึง pH 6.0 – 6.5 ก็จะทำให้ปฏิกิริยาในขบวนการ ไกลโคไลซิสเกิดขึ้นได้ช้าลงมาก ทั้งนี้เพราะกิจกรรมของสารย่อยถูกลดลงตามไปด้วย จนในที่สุดกรดแลคติกสะสมมากเกินไปสารย่อยจึงไม่สามารถทำงานได้ ขบวนการไกลโคไลซิสก็หยุด ในระยะนี้กล้ามเนื้อจะเกิดอาการล้า (fatigue) ซึ่งถ้าหากได้พักผ่อนเพียงพอก็จะหายไป เพราะในระยะพักนั้นกรดแลคติกในกล้ามเนื้อจะถูกส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วจึงส่งต่อไปยังกล้ามเนื้อเพื่อสร้างเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมไว้อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีสร้างอุปกรณ์

3.1 การวิเคราะห์หลักสูตร

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรม ใช้เวลาเรียน 2 ปี ภาคเรียนละไม่น้อยกว่า 18 สัปดาห์ สัปดาห์ไม่เกิน 35 คาบ ๆ ละ 50 นาที ในรายวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35022001) จัดอยู่ในหมวดวิชาชีพเป็นวิชาชีพเฉพาะ สาขาสัตวศาสตร์ เรียน 4 คาบ/สัปดาห์/ภาคเรียน ทฤษฎี 2 คาบ ปฏิบัติ 2 คาบ จำนวน 3 หน่วยกิต

คำอธิบายรายวิชา

ความหมายและความสำคัญของกายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง เซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ และการทำงานของระบบโครงกระดูก ระบบกล้ามเนื้อ ระบบทางเดินอาหาร ระบบหายใจ ระบบการไหลเวียนของโลหิต ระบบขับถ่าย ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท ระบบภูมิคุ้มกันโรค และระบบต่อมไร้ท่อ

ศึกษาเซลล์สัตว์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ รูปร่างลักษณะ ตำแหน่งที่ตั้งและหน้าที่ของอวัยวะ เช่น โครงกระดูก ระบบทางเดินอาหาร ระบบขับถ่าย ระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อ ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์ ศึกษาการทำงานที่เป็นปกติของสัตว์

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องกายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง
2. เพื่อให้มีความสามารถที่ใช้เป็นพื้นฐานในการเรียนรู้ทางสาขาสัตวศาสตร์
3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อการผลิตสัตว์ มีคุณธรรม มีบุคลิกภาพการเป็นผู้นำในอาชีพการเลี้ยงสัตว์
4. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ การนำความรู้ไปใช้ในการพัฒนางาน อาชีพ และศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์หลักสูตร

วิชากายวิภาคและสรีรวิทยาสัตว์เลี้ยง (35032001)

เนื้อหา ทฤษฎี

บทที่	จำนวนคาบ
1. ความหมายและความสำคัญของกายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง	**2 คาบ**
2. เซลล์เนื้อเยื่อ อวัยวะและการทำงานของระบบต่าง ๆ	**2 คาบ**
3. ระบบโครงกระดูก	4 คาบ
4. ระบบกล้ามเนื้อ	6 คาบ
4.1 กล้ามเนื้อเรียบของสัตว์	
4.2 กล้ามเนื้อหัวใจของสัตว์	
4.3 กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ *	
5. ระบบหายใจและระบบการไหลเวียนโลหิต	6 คาบ
6. ระบบทางเดินอาหาร และระบบขับถ่าย	6 คาบ
7. ระบบสืบพันธุ์และระบบต่อมไร้ท่อ	6 คาบ
8. ระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกันโรค	4 คาบ
รวม	36 คาบ

หมายเหตุ * เป็นหัวข้อเรื่องที่จัดทำแผ่นโปร่งใส

เนื้อหา ภาคปฏิบัติ

บทปฏิบัติการที่	จำนวนคาบ
1. การศึกษาเซลล์สัตว์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	**2 คาบ**
2. รูปร่างลักษณะของระบบโครงกระดูก	2 คาบ
3. รูปร่างลักษณะของระบบกล้ามเนื้อ	4 คาบ
4. รูปร่างลักษณะของระบบหายใจ	4 คาบ
5. รูปร่างลักษณะของระบบไหลเวียนโลหิต	4 คาบ
6. รูปร่างลักษณะของระบบทางเดินอาหาร	**4 คาบ**
7. รูปร่างลักษณะของระบบขับถ่าย	4 คาบ
8. รูปร่างลักษณะของระบบสืบพันธุ์	4 คาบ
9. รูปร่างลักษณะของระบบต่อมไร้ท่อ	**4 คาบ**
10. รูปร่างลักษณะของระบบประสาท	4 คาบ
รวม	36 คาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์เนื้อหา

3.2.1 โครงสร้างของกล้ามเนื้อ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวัชนี (2536 : 7) กล่าวถึงโครงสร้างของกล้ามเนื้อว่า กล้ามเนื้อทั้งมัดเรียกว่า muscle ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือเซลล์กล้ามเนื้อที่เรียกว่า เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) มากมาย กล้ามเนื้อแต่ละเส้นใยถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่เรียกว่า endomysium เส้นใยกล้ามเนื้อรวมกลุ่มกันประมาณ 150 ใย กลายเป็นมัดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า fasciculus และถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า perimysium ส่วนกล้ามเนื้อทั้งมัด (muscle) มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มรอบทั้งมัดที่เรียกว่า epimysium แผ่เป็นแผ่นพังผืด (fascia) ทำหน้าที่ป้องกันกล้ามเนื้อ และแผ่นพังผืดดังกล่าวมารวมกันหนาขึ้นกลายเป็นเอ็น (tendons) เพื่อไปยึดติดกับกระดูก

Rudolf Hebel Melvin W. Stromberg (อ้างโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2529 : 329) กล่าวถึงโครงสร้างทางจุลกายวิภาคศาสตร์ของกล้ามเนื้อลายว่า กล้ามเนื้อลายประกอบขึ้นด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber or muscle cells) มีรูปทรงกระบอกความยาวประมาณ 1 – 40 มิลลิเมตร แต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อมีหลายนิวเคลียส และมีลายตามขวาง นิวเคลียสรูปไข่มักอยู่ขอบ ๆ หรือริมของเส้นใยกล้ามเนื้อ ยกเว้นใน fetus จะอยู่กลางเซลล์เส้นใยกล้ามเนื้อ แต่ละเส้นจะต่อกันเป็นเซลล์ที่ยาวเรียงกัน แต่ไม่มีผนังกั้น จึงทำให้เป็นเซลล์เดียวตลอด และมีนิวเคลียสมากมายที่ผนังภายนอก จะถูกหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ เรียกว่า sarcolemma จะอยู่ติดอย่างแนบชิดกับส่วน epimysium

เส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นถูกห่อหุ้มด้วย sarcolemma และ epimysium ซึ่งเป็นส่วนที่มีการยืดหยุ่นได้ของกล้ามเนื้อ และยังทำหน้าที่เชื่อม เส้นใยกล้ามเนื้อกับส่วนที่เหนียวที่สุดของกล้ามเนื้อคือ เอ็น ภายใน cytoplasm ของเส้นใยกล้ามเนื้อแต่ละเส้นจะประกอบไปด้วยเส้นใยเล็ก ๆ เรียกว่า myofibril จำนวนมากมาย เรียงขนานกันตามความยาวไม่เป็นระเบียบ myofibril จัดเป็นโครงสร้างหน่วยเล็กที่สุดของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวได้

3.2.2 ส่วนประกอบของกล้ามเนื้อโครงร่าง

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 63 - 68) กล่าวถึงส่วนประกอบของกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ว่า กล้ามเนื้อโครงร่างประกอบไปด้วย

1. เส้นใยกล้ามเนื้อ

เส้นใยกล้ามเนื้อหรือเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นประเภทท วินิวเคลียส มีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้าย ปลายทั้งสองข้างสอบแหลม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 – 100 ไมครอน (0.001 – 0.0001) มีความยาวที่ปรวนแปรสูง แต่ส่วนใหญ่จะยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และยาวไม่เท่ากับความยาวของกล้ามเนื้อทั้งมัด เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มอยู่ภายในแผ่นเยื่อบางของซาร์โคเลมมา (sarcolemma) ซึ่งเป็นเยื่อที่ละเอียดซับซ้อนอยู่ใต้เอนโดไมเซียม

ลักษณะเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างก็คือ มีลายปรากฏอยู่ตลอดโดย ลายดังกล่าวเป็นผลมาจากภายในเส้นใยย่อย (myofibril) โดยภายในแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อจะมีเส้นใยย่อยเรียงตัวตามยาวอัดแน่นกันอยู่อย่างเป็นระเบียบ เส้นใยย่อยเหล่านี้อาจมีจำนวนมากถึง 1,000 เส้นต่อ 1 เส้นใยกล้ามเนื้อ และหล่อเลี้ยงด้วยไซโตปลาสซึม (cytoplasm) ของเซลล์ ส่วนนิวเคลียสของเส้นใยกล้ามเนื้อจะพบตามบริเวณผิวนอกและมีจำนวนมาก ซึ่งถือได้ว่าเป็นลักษณะเฉพาะตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างอย่างหนึ่ง และไมโตคอนเดรีย (mytochondria) นั้นจะพบอยู่ในระหว่างเส้นใยย่อย ณ บริเวณส่วนปลายขั้วของนิวเคลียสใต้ซาร์โคเลมมา โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ส่วนซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (sarcoplasmic reticulum) กับทรานสเวอสทิวบิวลา (transverse tubular system) จะพบอยู่เป็นระยะ ๆ ไปกับลายของเส้นใยย่อยโดยทำหน้าที่ควบคุม และอำนวยการกลไกการเกิด excitation – contraction และกอลจิคอมเพลกซ์ (golgi complexes) จะพบอยู่ที่บริเวณยอดของนิวเคลียส นอกจากนั้นจะพบไกลโคเจน (glycogen) และหยดของน้ำมัน (lipid droplets)

1.1 ซาร์โคเลมมา (Sarcolamma)

เยื่อหุ้มเส้นใยหรือซาร์โคเลมมา หมายถึงเยื่อบาง ๆ ที่ห่อหุ้มโดยรอบเส้นใยกล้ามเนื้อจนสามารถแยกเส้นใยแต่ละเส้นออกจากกันได้เด่นชัด โดยเยื่อหุ้มเส้นใยประกอบไปด้วยชั้นบาง ๆ 4 ชั้นอยู่ด้วยกัน แต่ละชั้นจะหนาประมาณ 100 – 500 อังสตรอม และที่ห่อหุ้มถัดออกมาจากเยื่อหุ้มเส้นใยก็คือเอนโดไมเซียม ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อหุ้มเส้นใย พบว่าประกอบไปด้วยคอเลสเตอรอล (cholesterol) และฟอสฟอลิปิดส์ (phospholipids) ในปริมาณเท่าๆกัน นอกจากนั้นก็มีสาร polysaccharides และโปรตีน เยื่อหุ้มเส้นใยมีคุณสมบัติและหน้าที่เหมือนเยื่อหุ้มเซลล์อื่นๆ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี และมีเส้นใยประสาทมาเชื่อมเข้ายังเส้นใยกล้ามเนื้อ ณ เยื่อหุ้มเส้นใยเพื่อส่งสัญญาณจากสมองมายังเส้นใยกล้ามเนื้อ

1.2 นิวเคลียส (Nucleus)

เส้นใยกล้ามเนื้อเป็นประเภททวินิวเคลียส (นิวเคลียสหลายอัน)โดยจะพบอยู่ใกล้ผิวนอกของเส้นใยติดกับเยื่อหุ้มเส้นใย แต่ละนิวเคลียสยาวระหว่าง 8 – 10 ไมครอน และมีรูปร่างเป็นเม็ดรูปวงรี เรียงตัวไปตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex)

เป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นถุงท่อบาง ๆ ส่วนมากมักพบอยู่ภายในซาร์โคปลาสซึมใกล้นิวเคลียส หน้าที่ของมันคือ รวบรวมผลิตผลจาก metabolism ของเส้นใยกล้ามเนื้อให้เป็นกลุ่มก้อนเพื่อเก็บรักษาเอาไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป

1.4 ไมโตคอนเดรีย (Mitochondria)

หมายถึงโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นแท่งรูปวงรี พบในที่ว่างระหว่างเส้นใยย่อยใต้เยื่อหุ้มเส้นใย และมักอยู่ตามบริเวณใกล้เส้น Z – line ไมโตคอนเดรียทำหน้าที่ในการเก็บรักษาพลังงานจากอาหารโดยผ่านทาง Kreb's cycle แล้วจึงแปรสภาพไปเป็นพลังงานรูป ATP โดยกระบวนการ phosphorylation ภายในไมโตคอนเดรียจะมีสารย่อย (enzyme) ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในขบวนการย่อยสลายหลายชนิดด้วยกัน

1.5 ซาร์โคปลาสซึม (Sarcoplasm)

ซาร์โคปลาสซึมคือสารกึ่งเหลวอยู่ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อและหล่อเลี้ยงโครงสร้างย่อยต่าง ๆ ภายในนั้น เช่น สารย่อยไกลโคเจน (glycolytic enzyme) ไมโอโกลบิน (myoglobin) ไกลโคเจน และเม็ดไขมันต่าง ๆ เป็นต้น

1.6 ไลโซโซม (Lysosome) มีรูปร่างเหมือนถุงเล็ก ๆ ที่มีสารย่อยหลายชนิดอยู่ภายในนั้น รวมทั้งกลุ่มสารย่อยคาเทปซิน (cathepsins) ซึ่งมีความสามารถในการย่อยโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อ ในกรณีที่เก็บเนื้อหรือแช่ซากไว้ในห้องเย็นเป็นเวลานานนั้น เนื้อจะนุ่มได้เพราะสารย่อยกลุ่มนี้ได้ย่อยโปรตีนบางอย่างในเส้นใยกล้ามเนื้อ จนเป็นผลให้เนื้อนุ่มขึ้น

1.7 เส้นใยย่อย (Myofibril) หมายถึงโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยืดหดตัวภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ มีรูปร่างเป็นเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) และภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏลายให้เห็นเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง เส้นใยย่อยเหล่านี้จะอยู่เรียงตัวกันไปตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยมีซาโคปลาสซึมหล่อเลี้ยงอยู่โดยตลอด เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน อาจจะมีเส้นใยย่อยระหว่าง 1,000 – 2,000 เส้นหรือมากกว่านี้ก็ได้

กล้ามเนื้อทั้งมัด ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมากเรียงตัวอยู่ด้วยกัน และเมื่อตัดแยกเอาเส้นใยกล้ามเนื้อออกมาดู ก็จะประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อย่อยจำนวนมาก ในแต่ละเส้นใยย่อยจะเห็นว่ามีแถบพื้นที่ทึบแสงอยู่สลับกันไปกับแถบโปร่งแสง การที่สลับกันไปโดยตลอดนี้ทำให้เกิดหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อขึ้นมาเรียกว่า ซาร์โคเมียร์ (sarcomere) หน่วยซาร์โคเมียร์นี้จะมีความยาวในสภาวะปกติ (resting) ประมาณ 2.3 – 2.8 ไมครอน แต่บางกล้ามเนื้อก็อาจจะยาวได้ถึง 7 – 9 ไมครอน เส้นเขตพื้นที่ของแต่ละซาร์โคเมียร์จะเป็นเส้นบางแต่ชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกชื่อว่า เส้น Z – line ภายในแต่ละซาร์โคเมียร์จะพบว่ามีแถบทึบแสงอยู่บริเวณส่วนกลางมีชื่อเรียกว่า A.band ซึ่งมาจากคำว่า Anisotropic ส่วนแถบโปร่งแสงมีพื้นที่อยู่ข้างละครึ่งของ Z line ซึ่งผ่ากลางอยู่นั้นเรียกชื่อว่า I band มาจากคำว่า Isotropic ในกล้ามเนื้อของสัตว์ภายใต้สภาวะปกตินั้น มีรายงานว่า A band กว้างประมาณ 1.55 ไมครอน ส่วน I band กว้างประมาณ 0.75 ไมครอน ภายในพื้นที่ของ A band จะพบว่ามีพื้นที่สีจางอยู่ตรงใจกลางปรากฏอยู่พื้นที่นี้เรียกว่า H zone ซึ่งกว้างประมาณ 0.35 ไมครอน และจะมีเส้นทึบเล็ก ๆ ผ่ากลาง H zone อยู่เรียกว่า M line โดย 2 ข้างของ M line ก็จะเป็นแถบทึบแสงเล็กมากเรียกว่า Pseudo H zone ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1,500 อังสตรอม ($1\ A^0 = 10^{-8}$) เป็นต้น

การเรียงตัวของเส้นใยฝอย (Myofilaments) ลายที่ปรากฏนั้นเกิดขึ้นจากการเรียงตัวอยู่ด้วยกัน และเกยทับกันเอง (overlap) ของเส้นใยฝอย เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงมากในบริเวณของ I band จะเห็นเส้นใยฝอยเส้นเล็กบางมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50 – 70 อังสตรอมอยู่ แต่เมื่อมองที่ A band ก็จะพบทั้งเส้นใยฝอยชนิดบางกับชนิดหนาอยู่เกยกัน โดยเส้นใยฝอยชนิดหนาจะเป็นเส้นเดียวต่อเนื่องกันจากด้านหนึ่งไปจนสุดอีกขอบหนึ่งของ A band ส่วนเส้นใยฝอยชนิดบางนั้นจะไม่ยาวต่อเนื่องกันไปจนถึงใจกลางของ A band แต่จะสิ้นสุดความยาวของมัน ณ ขอบนอกของ H zone เส้นใยฝอยทั้ง 2 ชนิด จะอยู่เรียงตัวกันเช่นนี้ในทุกซาร์โคเมียร์ จึงทำให้มีแสงผ่านได้แตกต่างกัน ดังนั้น จึงปรากฏลายของเส้นใยย่อยขึ้นมา

คณาจารย์ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทย์ศาสตร์ ศิริราชพยาบาล (2534 : 54) กล่าวว่า เส้นใยไมโอซิน เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว และมีหัว 2 หัว ส่วนหัวเรียกว่า เมอโรมัยโอซินชนิดหนัก (heavy meromyosin) ส่วนหางเรียก เมอโรมัยโอซินชนิดเบา (light meromyosin) เมอโรมัยโอซินชนิดหนักยังประกอบด้วยส่วนหัวและส่วนคอ ส่วนหัวมีเอ็นไซม์สำหรับย่อย ATP เส้นใยหนานี้ประกอบด้วยโมเลกุลของไมโอซินถึง 360 โมเลกุล ซึ่งเรียงตัวแบบอนุกรมกับเส้นใยโดยมีหัวอยู่ทางเดียวกัน ส่วนกลางจะเป็นหาง ที่ส่วนหัวและคอนี้จะมีลักษณะเป็นข้อต่อที่หมุนได้เพื่อจับกับสายของแอคติน เมื่อไมโอซิน และแอคตินรวมกันแล้วจะเกิดสายใหม่เรียก แอคโตมัยโอซิน

เส้นใยแอคติน เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลม โปรตีนชนิดนี้แต่ละโมเลกุลเรียก จี - แอคติน เมื่อรวมกันเป็นได้สายเรียก เอฟ แอคติน เอฟ แอคตินนี้มี 2 สายซึ่งจะบิดเป็นเกลียวเรียกว่า เส้นใยบาง

โทรโปมัยโอซิน มีลักษณะคล้ายมัยโอซิน แต่ไม่มีหัว และบิดเป็นเกลียวอยู่รอบ ๆ แอคติน โทรโปมัยโอซินนี้มีสองสาย ปลายข้างหนึ่งจะติดอยู่กับอณูของโทรโปนิน โมเลกุลของโทรโปรมัยโอซินจะแผ่ไปตลอดอณูของแอคตินถึง 7 อณู ระหว่างการหดตัวของโทรโปรมัยโอซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นสะพานไฟและจะเบนเข้าร่องของเส้นใยบาง เพื่อเบนข้างที่มีปฏิกิริยาทำให้เกิด cross bridge ระหว่างมัยโอซินและแอคติน โทรโปมัยโอซินจะไม่จับกับแคลเซียมไอออน แต่ถ้าหากมีโทรโปนินมันจะทำหน้าที่ให้โทรโปนินจับแคลเซี่ยมไอออน เพื่อให้เกิดการหดตัวขึ้น

โทรโปนิน เป็นโปรตีนที่มีลักษณะกลมเหมือนแอคติน มี 3 หน่วยย่อยคือ โทรโปนิน ซี เป็นหน่วยที่จะมีการรวมกับแคลเซี่ยมไอออน โทรโปนิน ที เป็นหน่วยที่รวมกับโทรโปนิน คอมเพล็กซ์ และติดกับโทรโปมัยโอซิน หน่วยสุดท้ายของโทรโปนิน ไอ เป็นตัวที่คอยป้องกันการเกิด cross bridge ระหว่างแอคตินและมัยโอซิน จำนวนโทรโปนิน 1 โมเลกุลจะเปลี่ยนไปเป็นแอคตินได้ถึง 4 – 7 โมเลกุล เมื่อโทรโปรนินซีมีความอิ่มตัวด้วยแคลเซียมจะทำให้โทรโปนินไอไม่มีปฏิกิริยา และ cross bridge เข้าไปติดกับแอคติน

1.8 ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (Sarcoplasmic reticulum) และท่อที (T – tubules)

ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม (SR) ก็คือ เอนโดปลาสมิกเรติคิวลัมในเซลล์อื่นทั่ว ๆ ไปและอาจกล่าวได้ว่า หมายถึง ระบบท่อในผนังหุ้มและซิสเตอนี (cisternae ทำหน้าที่สะสม Ca^{2+}) ซึ่งสานรูปร่างเป็นโครงข่ายหุ้มโดยรอบเส้นใยย่อย (myofibril) แต่ละเส้นอยู่ ถึงแม้ว่าทั้ง 2 อย่างคือซาร์โคพลาสมิกเรติคิวลัมกับท่อทีจะอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่เมื่อกล่าวถึงหน้าที่ทำงานแล้ว ท่อทีจะเกี่ยวข้องกับซาร์โคเลมมามากกว่า ในขณะที่ SR นั้นเป็นสถานที่ที่สะสม Ca^{2+} เมื่อเส้นใยกล้ามเนื้ออยู่ในภาวะพักตัว (relax)

ในแต่ละซาร์โคเมียร์นั้น SR จะประกอบไปด้วยท่อบาง ๆ ขนานไปกับแนวยาวของเส้นใยย่อย เรียกว่า longitudinal tubules โดยในบริเวณ H zone จะมีช่องเปิดเป็นช่วง ๆ เรียกว่า fenestrated collar และ ณ ที่จุดเชื่อมระหว่าง A กับ I band ก็จะมีโครงสร้างท่อห่อหุ้มอยู่เรียกชื่อว่า terminal cisternae ซึ่งทำหน้าที่เก็บกัก Ca^{2+} ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

SR ที่กล่าวมานี้มีอยู่ในทุก ๆ ซาร์โคเมียร์ ดังนั้น ในแต่ละเส้นใยฝอยและเส้นใยย่อยจึงมีจำนวนมากมาย และถ้าหากจะพิจารณาทั้งเส้นใยกล้ามเนื้อแล้ว ก็จะมีจำนวนมหาศาล แต่อย่างไรก็ตาม ประมาณการกันไว้ว่ามีจำนวนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อโดยปริมาตร ส่วนท่อทีมีเพียง 0.3 เปอร์เซ็นต์ของเส้นใยโดยปริมาตร (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529 : 72)

3.2.3 การทำงานของกล้ามเนื้อ

สัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดสามารถเคลื่อนไหวอวัยวะต่าง ๆ จนในที่สุดสามารถลุกขึ้นยืน เดิน วิ่ง และทำงานต่าง ๆ ได้แทบทุกชนิดนั้น เป็นเพราะการมีการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยพื้นฐาน กล้ามเนื้อซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อจำนวนมาก นับเป็นตัวสำคัญในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรรูปธาตุอาหารไปเป็นพลังงานเคมี และจากพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานกลได้ การที่เข้าใจถึงความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงขบวนการต่าง ๆ ตามขั้นตอน และโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของเส้นใยกล้ามเนื้อและเส้นใยย่อย

2.2.3.1. การรับสัญญาณจากประสาท

การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อเริ่มต้นจากการกระตุ้นที่มายังผิวของเส้นใยกล้ามเนื้อหรือซาร์โคเลมมา ทั้งนี้โดยสมองจะสั่งการมาก่อน แล้วจึงค่อยถ่ายทอดลงมายังไขสันหลังก่อนลงมาสู่กล้ามเนื้อโดยทางประสาท เส้นใยประสาทที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดส่งสัญญาณลงสู่เส้นใยกล้ามเนื้อนั้น มีชื่อเรียกว่า moter nerves ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ ถูกห่อหุ้มไว้โดยชั้นของ Schwann cell และ myelin sheath ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกว่า myelinated nerves และทำหน้าที่ในการถ่ายทอดสัญญาณได้ด้วยความเร็วสูงมาก

ในเซลล์สัตว์มีชีวิตขณะที่อยู่ในสภาวะพักตัว (relax) จะยังคงมีศักยะไฟฟ้า (electrical potential) อยู่ตลอดเวลา ในระหว่างภายนอกและภายในของเซลล์ ศักยะนี้อาจมีค่าระหว่าง 10 – 100 มิลลิโวลต์ ขึ้นอยู่กับประเภทของเซลล์ แต่ในระหว่างเส้นใยประสาทกับเส้นใยกล้ามเนื้อนั้น จะมีค่าประมาณ 80 – 85 มิลลิโวลต์ ของเหลวที่อยู่ทั้งภายนอกและภายในเส้นใยเหล่านี้จะมีความเข้มข้นของประจุไฟฟ้าเท่า ๆ กัน หรือโดยทั่ว ๆ ไปก็อาจกล่าวได้ว่ามีประจุไฟฟ้าลบภายในเซลล์สูงกว่าเล็กน้อย ในขณะเดียวกันก็มีประจุไฟฟ้าบวกอยู่ภายนอกเซลล์สูงกว่าเล็กน้อยเช่นกัน การมีอยู่ของประจุไฟฟ้าดังนี้จึงทำให้เกิดความสมดุลย์และเป็นศักยะไฟฟ้าอยู่ได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า membrane potential นี้เป็นประจุบวกภายนอกและประจุลบภายใน จะเห็นว่าของเหลวภายนอกเซลล์นั้นมีความเข้มข้นของประจุ Na^+ และ Cl^- สูง แต่มีประจุ K^+ และ non diffusable ประจุลบ (A^-) ต่ำมาก ในทางตรงกันข้ามจะเห็นว่าของเหลวภายในเซลล์จะมีประจุ 2 ชนิดหลังในปริมาณสูงมาก (K^+ 140 mEq/l A^- 150 mEq/l) และมี Na^+ กับ Cl^- ต่ำมาก การเกิด concentration gradients ของ Na^+ และ K^+ ผ่านผนัง plasma นี้คงไว้ได้ โดยมีการเคลื่อนย้ายออกนอกเซลล์ของ Na^+ และ K^+ เข้ามาในเซลล์โดยระบบที่เรียกว่า Na^+ - K^+ pump พลังงานที่ใช้ในการ pump นี้ได้มาจากขบวนการ Hydrolysis ของ adenosine triphosphate (ATP) โดยผนังของเซลล์จะยอมให้ K^+ diffuse ผ่านได้ 50 – 100 เท่าของที่ยอมให้ Na^+ ผ่าน เพราะฉะนั้น การเข้าออก K^+ จึงเป็นไปได้ง่ายกว่า Na^+ มาก ซึ่งมีความหมายว่า K^+ สามารถผ่านออกไปนอกเซลล์ได้เร็วกว่าที่ Na^+ จะผ่านเข้ามาในเซลล์ ดังนั้นจึงเป็นผลมีประจุไฟฟ้าบวกเรียงกันอยู่นอกเซลล์และดึงดูดประจุลบซึ่งเรียงตัวกันอยู่ภายในเซลล์ และทำให้เกิดมี membrane potential ขึ้นมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 Action potential

เส้นใยประสาทและเส้นใยกล้ามเนื้อจะมี membrane potential คงอยู่เหมือน ๆ กันกับในเซลล์ชนิดอื่น ๆ โดยทั่วไป แต่นอกเหนือไปจากนี้มันยังมีความสามารถพิเศษ คือ มันสามารถที่จะถ่ายทอดแรงกระตุ้นไฟฟ้า (electrical impulse)ซึ่งเรียกกันว่า action potential ไปตามผิวของผนังได้ เมื่อ action potential นี้ถูกถ่ายทอดจาก motor nerve มายังเส้นใยกล้ามเนื้อ มันก็จะจุดชนวนของการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อได้ (muscle contraction) action potential นี้จะถ่ายทอดมาตามผิวของผนังเส้นใยประสาทซึ่งที่แท้จริงแล้วก็เป็นคลื่นของกระแสไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผนัง (membrane) ภายในของผนังเซลล์จะเป็นบวกมากกว่า แต่เมื่อมี action potential มานั้น ผนังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะยอมให้ Na^+ ผ่านได้มากขึ้นถึง 300 – 3,000 เท่า ดังนั้นการเข้าไปในเซลล์ของ Na^+ จึงเกิดอย่างรวดเร็วและในอัตราที่สูงกว่าที่ K^+ ออกมานอกเซลล์เป็นอย่างมาก ภาวะเช่นนี้จึงทำให้มีประจุบวกอยู่ภายในเซลล์สูงกว่ามาก และในขณะเดียวกันจะมีประจุลบอยู่ภายนอกเซลล์สูงกว่ามากเช่นกัน จึงทำให้เป็นสภาวะตรงกันข้ามกันกับเมื่อเป็น membrane potential แต่อย่างไรก็ตาม การยอมให้ Na^+ ผ่านเข้าไปมากนี้จะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นมากคือ เป็นหนึ่งในล้านของวินาทีเท่านั้น ก็กลับคืนสู่สภาพเดิมอีก และก็เกิดขึ้นสลับกันต่อไปเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาของการนำสัญญาณกระตุ้น (stimuli) จากประสาทลงสู่กล้ามเนื้อซึ่งจะผ่าน ณ จุดหนึ่งในเวลาเพียง 0.5 – 1 millisecond เท่านั้น

สัญญาณกระตุ้นหรือ action potential นี้ จะถ่ายทอดจากเส้นประสาทไปสู่เส้นใยกล้ามเนื้อ ณ myoneural junction ซึ่งก็จะนำมาสู่ซาร์โคเลมมาเพื่อลงสู่ภายในกล้ามเนื้อต่อไป และจุดนี้ก็จะมี acetylchohine มาขยายกำลังสัญญาณกระตุ้นลงสู่เส้นใยกล้ามเนื้ออีกทอดหนึ่ง ทั้งนี้เพราะสัญญาณที่มาถึงนี้ยังมีกำลังไฟฟ้าอ่อนมาก action potentia ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องในเส้นใยกล้ามเนื้อกับเส้นใยประสาทที่อธิบายมาแล้ว แต่ระยะเวลาที่เกิดขึ้นจะนานกว่าเล็กน้อย คือ 5 – 10 millisecond เมื่อเปรียบเทียบกับ 0.5 – 1 millisecond ในเส้นใยประสาท action potential จะเดินทางไปตามซาร์โคเลมมาและกระตุ้นเส้นใยกล้ามเนื้อตลอดทั้งเส้นใยได้ต่อไปในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนการนำลงสู่แต่ละเส้นใยย่อยนั้น ก็จะเป็นหน้าที่ของระบบท่อที (transverse tubule) ที่จะนำเข้าไปสู่ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัม ซึ่งห่อหุ้มอยู่รอบเส้นใยย่อยต่อไป

2.2.3.3 การยืดหดตัว (Contraction)

ชัยณรงค์ คันธพนิต (2529 : 73) กล่าวว่า การยืดหดตัว (Contraction) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงภายในกล้ามเนื้อ ณ ระดับซาร์โคเมียร์ในเส้นฝอย โดยขนาดความกว้างของซาร์โคเมียร์จะหดตัวเข้าแล้วคลายตัวยืดออกไป หรือกลับมาอยู่ ณ ความกว้างเท่าเดิม อันเป็นผลมาการเปลี่ยนแปลงพลังงานทางเคมีไปเป็นพลังงานกล ซึ่งจากการหดตัวนี้เอง ได้ทำให้กล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งมัดส่วนกระแสแรงของพลังงานกลไปสู่เอ็นพังผืดที่ห่อหุ้มอยู่แล้วต่อเนื่องไปยังกระดูก จนเป็นผลให้สัตว์สามารถเคลื่อนไหวแขน ขา หรืออวัยวะอื่น ๆ ในร่างกายได้ตามความต้องการ หรือตามที่สมองจะสั่งการ

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และ กันยา ปาละวัชนี (2536 : 11-14) กล่าวถึง กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อว่า ได้มีการศึกษากลไกการทำงานของกล้ามเนื้อกันมาก อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันนี้อธิบายกลไกการทำงานโดยทฤษฎีที่เรียกว่า sliding filament theory พบว่ามีกลไกทำให้ thick และ thin filaments เลื่อนเข้าหากัน จึงทำให้กล้ามเนื้อหดสั้นเข้า

เมื่อกล้ามเนื้อทำงานจะมีการหดตัวที่เรียกว่า contraction แล้วตามด้วยการคลายตัวเรียกว่า relaxation

1. กลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ

1.1 การหดตัว (contraction)

ในขณะเมื่อใยกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพักนั้นมี Ca^{++} อยู่ใน sarcoplasm น้อย โดยเก็บไว้ใน sarcoplasmic reticulum แต่มี ATP ความเข้มสูง และ ATP นี้จับอยู่กับ ATP – binding sites ของ myosin cross bindges และ cross bindges นี้ถูกป้องกันไม่ให้ไปรวมกับ actin ของ thin myofilament โดยการมี tropomyosin – troponin complex จับไว้กับ actin และ ATP รวมอยู่กับ myosin cross bindges

เมื่อ muscle action potential ผ่านมาถึงบริเวณ sarcoplasmic reticulum จะทำให้มีการปล่อย Ca^{++} จากที่เก็บ และ Ca^{++} จะรวมกับ troponin กลายเป็น calcium binding protein ซึ่งมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ troponin เคลื่อนออกไปและเปิด myosin binding sites

ส่วน myosin cross bindge ซึ่งทำหน้าที่เป็น ATPase enzyme จะทำหน้าที่สลาย ATP ให้กลายเป็น ADP + P พลังงานที่ได้จากการสลาย ATP นั้นจะทำหน้าที่เร่ง myosin cross bindge ให้ไปจับกับ myosin binding sites จึงเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของ myosin cross bindge ใหม่ ซึ่งจะทำให้ actin myofilament เคลื่อนเข้าไปหา myosin myofilament จึงเป็นผลให้ Z line ของ sacromere ถูกดึงเข้ามาหากัน ซึ่งหมายถึงว่า sacromere มีช่วงสั้นเข้า และใยกล้ามเนื้อก็หดสั้นเข้าด้วย นั้นก็คือกล้ามเนื้อทั้งหมดหดสั้นด้วยในขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวเต็มที่ ระยะระหว่าง Z line อาจสั้นเข้าไป 50 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวขณะพัก (resting length)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การคลายตัว (relaxation)

เมื่อ ACh ทำให้เกิด muscle action potential แล้ว จะถูกทำลายโดย enzyme acetylcholine esterase (AchE) ซึ่งมีอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของ sarcolemma ส่วน Ca^{++} ถูกขนส่งกลับเข้าไปเก็บไว้ใน sarcoplasmic reticulum ทั้งนี้เป็น active transport ที่ต้องอาศัย ATP เมื่อ Ca^{++} ถูกนำออกมาจาก sarcoplasm แล้ว tropomyosin – troponin complex จะกลับไปจับ กับ actin อีก จึงเป็นผลให้ myosin binding sites ถูกปิดไว้ และ myosin cross bindges ถูกแยกจาก actin ทั้งนี้ก็ต้องอาศัย ATP เพื่อแยก cross bindge ออกด้วย ผลที่ตามมา คือ sacromere ถูกยืดยาวออก ความยาวของ sacromere นั้น สามารถเพิ่มได้เกินความยาวขณะพัก (resting length) ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

2. ชนิดของการหดตัวทางเชิงกล

การหดตัวทางเชิงกลของกล้ามเนื้อสามารถแบ่งได้เป็นหลายแบบโดยอาศัยพื้นฐานที่แตกต่างกัน

2.1 ชนิดของการหดตัวที่เกี่ยวกับความยาวและความตึง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

(1) การหดตัวไอโสเมตริค (isometric contraction) การหดตัวชนิดนี้ความยาวของกล้ามเนื้อคงที่

(2) การหดตัวไอโสโทนิค (isotonic contraction) การหดตัวชนิดนี้ความตึงของกล้ามเนื้อคงที่

อาจช่วยให้เข้าใจการทำงานทั้งสองชนิดนี้ได้ โดยคิดถึงการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายจริง ๆ เมื่อใช้มือยกน้ำหนักโดยพยายามใช้กล้ามเนื้อไบเซพส์ (biceps) ออกแรงดึงเพื่อให้ข้อศอกงอในระยะแรกที่แรงของกล้ามเนื้อน้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุจะยังยกวัตถุไม่ขึ้น ความยาวของกล้ามเนื้อไบเซพส์จะไม่เปลี่ยน แต่ความตึงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การทำงานของกล้ามเนื้อในระยะนี้จะเป็นชนิด isometric ต่อมาเมื่อแรงดึงของกล้ามเนื้อมากกว่าน้ำหนักของวัตถุ แขนจะงอและยกน้ำหนักขึ้น กล้ามเนื้อจะสั้นเข้า การหดตัวในระยะนี้เป็นชนิด isotonic ฉะนั้นการทำงานของกล้ามเนื้อในร่างกายส่วนใหญ่มักจะมีการทำงานทั้งสองชนิดนี้รวมกัน นอกจากการทำงานบางระยะที่พบเพียงชนิดเดียว

2.2 ชนิดของการหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การหดตัวแบบคอนเซนตริค (concentric contraction) การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อความยาวของกล้ามเนื้อสั้นเข้า การหดตัวแบบนี้เป็นการหดตัวที่ได้แรงงานซึ่งเรียกว่า positive work

(2) การหดตัวแบบเอคเซนตริค (eccentric contraction) การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้อยาวออกไป เป็นการหดตัวเพื่อช่วยพยุงน้ำหนักถ่วงที่เคลื่อนออกไปจึงไม่ได้งานที่เห็นภายนอก เรียกการหดตัวแบบนี้ว่าเป็น negative work ตัวอย่างของการหดตัวแบบนี้ได้แก่การทำงานของกล้ามเนื้อขาขณะเมื่อทำการหยุดโดยทันทีจากการวิ่ง กล้ามเนื้อจะทำการหดตัวเพื่อทำให้การวิ่งหยุดลง

2.2.3.4 พลังงานในการยืดหดตัว

จะเห็นได้ว่า ATP เป็นพลังงานของพลังงานสุดท้าย สำหรับขบวนการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ การ pump ของแคลเซียมขณะพักตัว และการ pump ของโซเดียมและโพแทสเซียมผ่านซาร์โคเลมมา อย่างไรก็ตาม ในขบวนการยืดหดตัวนั้นจะใช้ปริมาณ ATP สูงที่สุด จึงอาจกล่าวอย่างกว้าง ๆ ได้ว่าเป็นขบวนการที่ใช้พลังงานแพงที่สุดก็ว่าได้ ดังนั้น กล้ามเนื้อจึงต้องมีระบบสังเคราะห์ให้ได้ ATP มาใช้ในจำนวนมาก ๆ และเร็วที่สุดในขณะมีชีวิตอยู่

ในขณะที่สัตว์กำลังถูกฆ่าตายนั้น กล้ามเนื้อมิใช่ว่าจะหยุดขบวนการมีชีวิตแล้วแปรสภาพเป็นเนื้อในทันทีเลย แต่ว่าขณะนั้นจะยังคงมีอุปทานของ ATP มาสู่กล้ามเนื้ออยู่ไปอีกระยะเวลาหนึ่งกระบวนการที่สังเคราะห์ ATP ให้แก่กล้ามเนื้อนั้นยังคงมีอยู่ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกหลายประการซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของเนื้อในที่สุด แหล่งของ ATP สำหรับใช้ในทันทีนั้นจะได้มาจาก phosphocreatine โดยปฏิกิริยา ADP + phosphocreatine $\rightleftharpoons$ ATP + creatine โดยมีสารย่อย creatine kinase ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเนื่องจากปริมาณ phosphocreatine ก็อยู่ในปริมาณจำกัด ดังนั้นจึงหมดไปภายในชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งก็จะต้องมีแหล่งอื่นสังเคราะห์ ATP ขึ้นมาสำหรับการยืดหดตัวเพื่อการดำรงชีวิตต่อไป

ขบวนการที่มีประสิทธิภาพมากในการสังเคราะห์ ATP ขณะสัตว์ยังมีชีวิตนี้ เรียกว่า aerobic metabolism ซึ่งโภชนะต่าง ๆ เช่น อาหารแป้ง โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในขณะที่ส่วนที่ส่วนที่เป็นพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาก็จะถูกใช้สำหรับสร้าง ATP ต่อไปเรื่อย ๆ

ในกล้ามเนื้อนั้น น้ำตาลกลูโคสจะถูกสะสมไว้ในรูปของไกลโคเจนคิดเป็นประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกล้ามเนื้อ ขบวนการส่วนแรกจะประกอบไปด้วยปฏิกิริยา 12 ขั้นตอน ที่ต่อเนื่องกันไปซึ่งเรียกรวมกันว่า ไกลโคไลซิส ทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นในซาร์โคปลาสซึม ขบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 เป็นกลุ่มของปฏิกิริยาที่เรียกว่า tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) เกิดขึ้นในไมโตคอนเดรีย และขบวนการส่วนที่ 3 เรียกว่า cytochrome chain

ไกลโคเจนซึ่งแตกตัวได้กลูโคสโมเลกุลนั้น จะผ่านเข้าไปในปฏิกิริยาทั้งหมดข้างต้นซึ่งก็จะได้ ดังนี้ คือ ได้จากไกลโคไลซิส 3 ATP โมเลกุลกับ 4 hydrogen ion ซึ่งก็จะได้ 4 ATP โมเลกุล ณ ที่ cytochrome chain และในขั้นสุดท้ายของไกลโคไลซิสนั้นจะได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ซึ่งแต่ละโมเลกุลก็จะให้ 10 hydrogen atoms หรือเท่ากับ 20 hydrogen atoms ใน TCA cycle และก็จะเปลี่ยนไปเป็น 30 ATP ณ cytochrome chain เพราะฉะนั้น เมื่อกลูโคส 1 โมเลกุลจากไกลโคเจน ผ่านเข้าไปในขบวนการทั้งหมดก็จะได้ 37 ATP โมเลกุล

ในขณะที่กล้ามเนื้อกำลังทำงานอย่างช้า ๆ และมีออกซิเจนเข้ามาอย่างพอเพียงตลอดเวลานั้นกล้ามเนื้อก็จะได้รับพลังงานอย่างเพียงพอกับความต้องการโดยผ่านทาง aerobic metabolism และการแตกตัวของ phosphocreatine แต่เมื่อกล้ามเนื้อยืดหดตัวอย่างรวดเร็วนั้น ออกซิเจนก็จะมีไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนการสังเคราะห์ ATP โดยทาง aerobic metabolism ภายใต้สภาวะเช่นนี้จะมีกลไกอีกชนิดหนึ่งมาเป็นทางออกในการสังเคราะห์ ATP ให้แก่กล้ามเนื้อ และนั้นก็คือ aerobic metabolism ซึ่งก็จะเป็นไปในช่วงสั้น ๆ เท่านั้นเอง และในการนี้จะมีกรดแลคติกสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อสูงขึ้นด้วยซึ่งนับว่าเป็นลักษณะพิเศษของขบวนการนี้ ส่วนพลังงานที่ได้จากการนี้ก็เพียง 3 ATP โมเลกุลเท่านั้นและกรดไพรูวิกก็จะถูก Hydrogen ion เปลี่ยนตัวไปเป็นกรดแลคติกแทน และด้วยเหตุนี้ค่า pH ของกล้ามเนื้อจึงลดลง จนกระทั่งเมื่อลดต่ำลงถึง pH 6.0 – 6.5 ก็จะทำให้ปฏิกิริยาในขบวนการ ไกลโคไลซิสเกิดขึ้นได้ช้าลงมาก ทั้งนี้เพราะกิจกรรมของสารย่อยถูกลดลงตามไปด้วย จนในที่สุดกรดแลคติกสะสมมากเกินไปสารย่อยจึงไม่สามารถทำงานได้ ขบวนการไกลโคไลซิสก็หยุด ในระยะนี้กล้ามเนื้อจะเกิดอาการล้า (fatigue) ซึ่งถ้าหากได้พักผ่อนเพียงพอก็จะหายไป เพราะในระยะพักนั้นกรดแลคติกในกล้ามเนื้อจะถูกส่งไปยังตับเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส แล้วจึงส่งต่อไปยังกล้ามเนื้อเพื่อสร้างเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมไว้อีกต่อไป

3.3 คำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใส เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

แผ่นโปร่งใสเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ เป็นการนำเนื้อหาในบทที่ 4 มาจัดทำแผ่นโปร่งใสใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) อยู่ในหมวดวิชาชีเฉพาะ สาขาสัตวศาสตร์ ทฤษฎี 2 คาบ ปฏิบัติ 2 คาบ จำนวน 3 หน่วยกิต ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ มีคำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใสดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
1	ตราสถาบัน	ตราสถาบัน
2	ชื่อเรื่อง แผ่นโปร่งใสประกอบการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์	ชื่อเรื่อง แผ่นโปร่งใสประกอบการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์
3	ชื่อผู้จัดทำ นางสาวอรอุมา สาลีกุล อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ภัทราภรณ์ เชื้อนันตา สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร – การผลิตสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ชื่อผู้จัดทำ นางสาวอรอุมา สาลีกุล อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ภัทราภรณ์ เชื้อนันตา สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร – การผลิตสัตว์ ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4	ภาพนำเรื่อง ภาพกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์	กล้ามเนื้อโครงร่าง (skeletal muscle) เป็นเนื้อเยื่อที่ถูกนำมาใช้บริโภคมากที่สุด กล้ามเนื้อจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่ตัวของมัน จัดเรียงตัวเป็นก้อนแยกออกจากกันโดยแผ่นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ที่ห่อหุ้มอยู่
5	โครงสร้างของกล้ามเนื้อ	กล้ามเนื้อโครงร่างส่วนมากจะอยู่ติดกับกระดูกโดยตรง แต่ก็มีบางส่วนที่อยู่ติดกับเส้นเอ็น (ligament) กระดูกอ่อนและเอ็นซึ่งก็เหมือนกับว่ากล้ามเนื้อโครงร่างเหล่านี้อยู่ติดกับกระดูกโดยทางอ้อมนั่นเอง กล้ามเนื้อทั้งก้อนเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าถูกห่อหุ้มอยู่ตลอดด้วยแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เรียกว่า epimysium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
6	ส่วนประกอบของมัดกล้ามเนื้อ muscle ↓ muscle fiber ↓ myofibril	ใยกล้ามเนื้อ 1 เส้น คือเซลล์ของกล้ามเนื้อ 1 เซลล์ เส้นใยกล้ามเนื้อประกอบด้วยเส้นใยฝอยหลาย ๆ เส้นรวมกันเป็นมัด อยู่ในไซโคพลาสมา
7	เส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber)	มีรูปร่างเป็นเส้นกลมยาวคล้ายเส้นด้าย ปลายทั้ง 2 ข้างสอบแหลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 10 – 100 ไมครอน (0.001 – 0.0001 เซนติเมตร) ความยาวประมาณ 25 เซนติเมตร เส้นใยกล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มภายในแขนเยื่อบาง ๆ ของ ซาโคร์เลมมา ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ละเอียดซับซ้อนอยู่ใต้เอ็นโดไมเซียม
8	ส่วนประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อ	เส้นใยกล้ามเนื้อประกอบไปด้วยเส้นใยฝอย (myofibril) จำนวนมากเรียงตัวตามยาวอัดแน่น ล้อมรอบด้วย sarcolemma, nucleus อยู่บริเวณด้านนอก lysosome, mitochondria, sarcoplasmic recticulum, gogi complex และ mitochondaia
		Nucleus จะพบอยู่ใกล้ผิวนอกของเส้นใยติดกับเยื่อหุ้มเส้นใย แต่ละนิวเคลียสยาวระหว่าง 8 – 10 ไมครอน มีรูปร่างเป็นเม็ดรูปวงรี เรียงตัวไปตามแนวยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ
		Lysosome มีรูปร่างเหมือนถุงเล็ก ๆ ที่มีสารย่อยโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อ รวมทั้งกลุ่มสารย่อยคาเทปซิน (cathepsins)
		Sarcolemma หมายถึง เยื่อหุ้ม cell ประกอบไปด้วยชั้นบาง ๆ 4 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 100 – 500 อังสตรอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
		Gogi complex มีรูปร่างเป็นถุงท่อบาง ๆ ส่วนมากอยู่ภายในซาร์โคปลาสซึม มีหน้าที่รวบรวมผลิตผลจาก metabolism เก็บรักษาเอาไว้ใช้ประโยชน์
		Mitochondria มีรูปร่างเป็นแท่งรูปวงรี อยู่ตามบริเวณใกล้เส้น Z – line ซึ่งทำหน้าที่เก็บรักษาพลังงานจากอาหาร
9	เส้นใยย่อย (Myofibril)	มีรูปร่างเส้นยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ไมครอน (0.001 มิลลิเมตร) ภายในเส้นใยย่อยจะปรากฏลายให้เห็นเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เส้นใยจะเลียงลำดับไปตามทางยาวของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยมีซาร์โคปลาสซึมหล่อเลี้ยงอยู่ตลอด เส้นใยกล้ามเนื้อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมครอน อาจมีเส้นใยย่อยระหว่าง 1,000 – 2,000 เส้น เส้นใยย่อยประกอบด้วยเส้นใยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า sarcomere
10	เส้นใยฝอย (myofilament)	เส้นใยฝอยหรือ (myofilament) คือ ส่วนที่เกยทับกันเองของเส้นใยฝอยบริเวณ I band มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 – 70 อังสตรอม แต่เมื่อมองบริเวณ A band จะพบเส้นใยฝอยมอยู่ 2 ชนิดคือ - เส้นใยฝอยชนิดหนา (thick filament หรือ myosin) - เส้นใยฝอยชนิดบาง (thin filament หรือ myosin)
11	เส้นใยฝอยชนิดหนา (myosin)	เส้นใยฝอยชนิดหนาของกล้ามเนื้อจากสัตว์มีกระดูกสันหลังจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 14 – 16 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 1.5 ไมครอน ซึ่งจะประกอบไปด้วยโปรตีนไมโอซินจะมีลักษณะเป็นรูปกลมยาวโดยมีปลายหนึ่งเป็นส่วนที่มีลักษณะเป็นก้อนหนา บริเวณนี้เป็นส่วนหัว และส่วนที่เป็นแท่งกลมยาวออกมานั้นเรียกว่าส่วนหาง ทำหน้าที่ในกรเกิดการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
12	เส้นใยชนิดบาง (actin)	โปรตีนแอคตินมีอยู่ประมาณ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย โมเลกุลของแอคตินจะอยู่เรียงตัวกันเป็นเส้นใยยาวโดยขบวนการ polymerization โปรตีนแอคตินมี 2 ชนิด คือ G – actin ซึ่งเป็นแอคตินที่มีอยู่ในสภาพโมเลกุลเดี่ยว ส่วน F – actin เป็นแอคตินที่อยู่ในรูปต่อกันเป็นเส้นใย และยังมีโปรตีนอีก 2 ชนิดอยู่ในโครงสร้างด้วยคือ troponin และ tropomyosin
13	โปรตีน tropomyosin	มีจำนวนประมาณ 8 – 10 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนเส้นใยย่อย มีลักษณะเป็นเส้น (fibrous) โปรตีนชนิดนี้จะพันอยู่โดยรอบเส้นใยฝอยแอคติน โดยวางตัวไปตามลักษณะเกลียวเชือก และอยู่ในร่องของเส้นใยฝอยแอคติน โดยแต่ละโมเลกุลของ tropomyosin จะยาวประมาณ 7 G – actin โมเลกุล
14	โปรตีน troponin	มีลักษณะเป็นแท่งกลมสั้น ๆ ซึ่งสร้างตัวขึ้นมาจาก globular protein โปรตีนชนิดนี้มีอยู่ประมาณ 8 – 10 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนนี้จะอยู่ใต้เส้น tropomyosin ทำหน้าที่เกี่ยวกับ Ca^{+} ในการเกิด actomyosin - tropomyosin complex เป็นช่วง ๆ เรียกว่า fenestrated collar และ ณ จุดเชื่อมระหว่าง A และ I band จะมีโครงสร้างท่อหุ้มอยู่เรียกว่า terminal cisternea ทำหน้าที่เก็บกัก Ca^{+}
16	การจัดเรียงตัวภายในเส้นใยย่อย	A ซึ่งจะเห็นมีลักษณะเป็นลาย B sarcomere, C D E F ภาพตัดขวางของ sarcomere แสดงการจัดระเบียบของ myofilament ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของเส้นใยย่อยที่ถูกตัดขวาง G H I J K เป็นการจัดวางของโปรตีนใน thick filament และ thin filament

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
17	การทำงานของกล้ามเนื้อ	สัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดสามารถเคลื่อนไหวอวัยวะต่าง ๆ จนในที่สุดสามารถลุกขึ้นยืน เดิน วิ่ง และทำงานต่าง ๆ ได้แทบทุกชนิดนั้น เป็นเพราะมีการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นปัจจัยพื้นฐาน เราเรียกการทำงานนี้ว่า การยืดหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อ
18	การรับสัญญาณจากประสาท	การยืดหดตัวของกล้ามเนื้อได้รับการกระตุ้นจากผิวของเส้นใยกล้ามเนื้อ หรือซาร์โคเลมมา สมองจะสั่งการมาแล้วจึงถ่ายทอดลงมายังไขสันหลังก่อนลงมาสู่กล้ามเนื้อโดยประสาท เส้นใยประสาทจะทำหน้าที่ถ่ายทอดส่งสัญญาณลงสู่เส้นใยกล้ามเนื้อจะมีชื่อเรียกว่า motor neves ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ และถูกห่อหุ้มโดยชั้นของ schwann cell และ myelin sheath มีชื่อเรียกว่า myelinated nerves ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณได้ด้วยความเร็วสูง
19	Action potential	Action potential ถูกถ่ายทอดจาก motor neves มายังเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้เกิดการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ (muscle contration) action potential จะถ่ายทอดตามผิวของเส้นประสาท ซึ่งเป็นคลื่นกระแสไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในผนัง (membrane) เข้าภายในผนังเซลล์จะมีประจุเป็นบวกมากกว่าเป็นลบ action potential เกิดการเปลี่ยนแปลงจะยอมให้ Na^+ ผ่านได้มากถึง 300 – 3,000 เท่า K^+ จะออกนอกเซลล์เป็นอย่างมาก ถ้าประจุลบมากกว่าจะยอมให้ Na^+ ผ่านไปจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่สั้นมาก คือเป็นหนึ่งในล้านวินาทีเท่านั้นก็จะกลับสู่สภาพเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
20	การหดตัวของกล้ามเนื้อ	การหดตัวของกล้ามเนื้อนั้นมี 2 แบบ 1. การหดตัวที่เกี่ยวกับความยาวและความตึง แบ่งได้ 2 แบบคือ - Isomatic contraction - Isotenic contraction 2. การหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ แบ่งได้ 2 แบบคือ - Concentric contraction - Eccentric contraction
21	การหดตัวเกี่ยวกับความยาวและความตึง	การหดตัวเกี่ยวกับความยาวและความตึง แบ่งได้ 2 แบบคือ 1. Isomatic contraction การหดตัวแบบนี้ กล้ามเนื้อมีความยาวคงที่ แต่แรงการหดตัวเปลี่ยนไป 2. Isotenic contraction การหดตัวแบบนี้กล้ามเนื้อมีความยาวเปลี่ยนไป แต่แรงการหดตัวคงที่
22	การหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ	การหดตัวที่สัมพันธ์กับความยาวของกล้ามเนื้อ มี 2 แบบคือ 1. Concentric contraction การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อความยาวของกล้ามเนื้อสั้นเข้า การหดตัวแบบนี้เป็นการหดตัวที่ได้แรงงานซึ่งเรียกว่า positive work 2. Eccentric contraction การหดตัวแบบนี้เกิดขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้อยาวออกไป เป็นการหดตัวเพื่อช่วยพยุงน้ำหนักถ่วงที่เคลื่อนออกไปจึงไม่ได้งานที่เห็นภายนอก เรียกการหดตัวแบบนี้ว่า negative work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
23	การคลายตัว (relaxtion)	การคลายตัว หมายความถึงการเกิดขึ้นของสภาวะเดิมก่อนที่จะเกิดการยืดหดตัว เกิดขึ้นเมื่อ Ach ทำให้เกิด muscle action potetial แล้วจะถูกทำลายโดยเอ็นไซม์ acetylcoholine esterase (AchE) ซึ่งมีอยู่ที่บริเวณผิวหนังของซาร์โคเลมมา ส่วน Ca^{++} ถูกขนส่งกลับเข้าเก็บไว้ใน ซาร์โคปลาสมิกเรติคิวลัมส่วนเป็น active transport ที่ต้องอาศัย ATP เมื่อ Ca^{++} นำออกมาจากซาร์โคปลาสซึมแล้ว tropomyosin – troponin complex จะกลับไปจับกับแอคตินอีก จึงเป็นผลให้ myosin binding sites ถูกปิดไว้ และmyosin cross bridges ถูกแยกจากแอคติน ทั้งนี้ต้องอาศัย ATP เมื่อแยก cross bridge ออกด้วย ผลที่ตามมาคือ sarcomere ถูกยืดออก ความยาวของ sarcomere นั้นสามารถเพิ่มได้เกินความยาวขณะพัก (resting length) ถึง 20 เปอร์เซ็นต์
24	ขบวนการผลิตพลังงานการยืดหดตัว	ATP เป็นพลังงานสุดท้ายสำหรับขบวนการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ขบวนการนี้มีประสิทธิภาพมากในการสังเคราะห์ ATP ขณะสัตว์ยังมีชีวิตอยู่นี้เรียกว่าaerobic metabolism ขบวนการผลิต ATP ประกอบด้วย 3 ขบวนการด้วยกันคือ - ขบวนการส่วนแรกประกอบไปด้วยปฏิกิริยา12ขั้นตอน ที่ต่อเนื่องกันไปเรียกรวมกันว่า ไกลโคไลซีสจะเกิดขึ้นในซาร์โคปลาสซึม - ขบวนการส่วนที่ 2 เป็นกลุ่มปฏิกิริยาที่เรียกว่า tricarboxylic acid cycle (TCA cycle) เกิดขึ้นในไมโตครอนเดรีย - ขบวนการส่วนที่ 3 เรียกว่า cytochrome chain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ลักษณะภาพ	คำบรรยาย
25	วงจรการสร้างพลังงานเพื่อใช้ในการยืดหดตัว	gastrointestinal tract ถูกดูดเข้าสู่ร่างกาย คือ น้ำตาลกลูโคส และถูกสะสมในรูปของไกลโคเจน ไกลโคเจนจะถูก metabolized ไปเป็นไพรูเวตโดยขบวนการ TCA cycle และ cytochrome chain เกิดกรด “Lactic” ขึ้นมา จากนั้น Lactic จะถูกนำออกจากกล้ามเนื้อโดยเลือด แล้วจึงสังเคราะห์ไปเป็นไกลโคเจนเก็บไว้ที่ตับ
26	ภาพสรุป	กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่มีโครงร่างจำเพาะ และทำหน้าที่หลักในการเคลื่อนไหวของร่างกายสัตว์ กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์โดยทั่วไปมีประมาณกว่า 600 มัด ทุกมัดจะมีขนาด รูปร่าง และหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปกล้ามเนื้อโครงร่างจะมีอยู่ในซากสัตว์ประมาณ 35 – 65 เปอร์เซ็นต์ซาก จะเห็นได้กล้ามเนื้อโครงร่างจะมีความสำคัญต่อสัตว์มากที่สุด เพราะถ้าไม่มีกล้ามเนื้อโครงร่างแล้ว สัตว์ก็จะไม่สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้ ไม่สามารถเดิน วิ่ง หรือเคลื่อนไหวอวัยวะได้ ดังนั้นกล้ามเนื้อนับว่ามีความสำคัญต่อสัตว์เป็นอย่างยิ่ง

3.4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการผลิตแผ่นโปร่งใส

3.4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นโปร่งใส

1. แผ่นโปร่งใส 3M
2. กระดาษ A4
3. ภาพต้นแบบ
4. กรอบแผ่นโปร่งใส
5. ปากกาเขียนแผ่นใสชนิด permanent
6. น้ำยาลบคำผิด
7. กรรไกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องถ่ายเอกสาร
9. เครื่องฉายภาพข้ามศรีษะ
10. เครื่องคอมพิวเตอร์
11. เครื่องสแกนภาพ

3.4.2 วิธีดำเนินการผลิตแผ่นโปร่งใส

1. ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 สาขาสัตวศาสตร์ กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

2. ศึกษาการผลิตแผ่นโปร่งใสจากหนังสือ เอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการผลิตสื่อ และการผลิตแผ่นโปร่งใส

3. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

4. วิเคราะห์หลักสูตร

5. กำหนดภาพและคำบรรยายภาพที่จัดทำแผ่นโปร่งใส

6. วาดลายเส้นติดคำบรรยาย

7. ตกแต่งภาพตามความเหมาะสมในการจัดองค์ประกอบภาพกับแผ่นโปร่งใส

8. ถ่ายเอกสารภาพต้นแบบภาพละ 1 ฉบับ ตรวจความเรียบร้อย

9. นำภาพที่ได้จากการถ่ายเอกสารมาสแกนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ และระบายสีโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ในส่วนที่ต้องการเน้นระบายสีตามจุดที่สำคัญตามความเหมาะสม

10. นำภาพที่สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ทำการปริ้นซ์ลงบนแผ่นใส

11. ตรวจความสมบูรณ์ ความถูกต้องความชัดเจน และปรับปรุง คุณภาพของแผ่นโปร่งใส

12. จัดทำภาคเอกสารและจัดรูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การตรวจสอบอุปกรณ์และแก้ไข

4.1 วิธีการตรวจสอบ

แผ่นโปร่งใสสำหรับการสอนเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรมสังกัดกระทรวงศึกษาธิการ หลังจากการดำเนินการผลิตแผ่นโปร่งใสเสร็จแล้ว ได้นำแผ่นโปร่งใสมาตรวจสอบคุณภาพว่าเป็นสื่อการเรียนการสอนที่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงเนื้อหาและเป็นสื่อที่เร้าความสนใจเป็นอย่างดี

เกณฑ์การตรวจสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. โครงสร้าง เป็นการตรวจสอบในส่วนของขนาดตัวอักษรใช้บรรยายส่วนประกอบของภาพ สีของภาพ ความสะอาดของภาพ
2. เนื้อหา เป็นการตรวจสอบในส่วนของส่วนประกอบของภาพถูกต้องกับเนื้อหาความถูกต้องของการชี้ส่วนประกอบ
3. การนำไปใช้เป็นการตรวจสอบในส่วนของช่วงระยะเวลาการนำไปใช้ประกอบการสอน ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด และความสะดวกในการใช้งาน

วิธีการดำเนินการตรวจสอบแผ่นโปร่งใส

1. เตรียมแผ่นโปร่งใส ใบตรวจสอบและคำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใสให้พร้อม
2. แจกใบตรวจสอบแผ่นโปร่งใสให้ผู้ตรวจสอบ
3. เสนอภาพตามลำดับขั้นตอนพร้อมคำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใส โดยให้ผู้ประเมินตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ
4. รวบรวมข้อมูลและข้อเสนอแนะต่าง ๆ มาปรับปรุงแก้ไข

4.2 ผลการตรวจสอบ

ผลการประเมินจากแบบประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนปรากฏว่า ความคมชัดของภาพ สีของภาพความสะอาดของภาพ ขนาดตัวอักษรที่ใช้บรรยายความถูกต้องของส่วนประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพ ส่วนประกอบภาพถูกต้องกับเนื้อหา และความถูกต้องของการชี้ส่วนประกอบของภาพอยู่ในเกณฑ์ดี

4.3 แบบประเมินคุณภาพแผ่นโปร่งใส

แบบประเมินผลคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

ประเภทของสื่อ แผ่นโปร่งใสสำหรับการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

ผู้จัดทำ นางสาวอรอุมา สาลีกุล

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่างพร้อมเติมข้อเสนอแนะของอุปกรณ์ในช่องว่างที่กำหนดให้

ระดับที่ 1 หมายถึง ระดับต้องแก้ไข

ระดับที่ 2 หมายถึง ระดับพอใช้

ระดับที่ 3 หมายถึง ระดับดี

ระดับที่ 4 หมายถึง ระดับดีมาก

หัวข้อในการประเมินผล	ระดับความคิดเห็น			
	1 แก้ไข	2 พอใช้	3 ดี	4 ดีมาก
ความคมชัดของภาพ				
ขนาดตัวอักษรใช้บรรยายส่วนประกอบของภาพ				
สีของภาพ				
ความถูกต้องของส่วนประกอบของภาพ				
ความสะอาดของภาพ				
ส่วนประกอบภาพถูกต้องกับเนื้อหา				
ความถูกต้องของการชี้ส่วนประกอบของภาพ				

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

(.....)

ผู้ประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การทำปัญหาพิเศษเกี่ยวกับแผ่นโปร่งใสสำหรับการสอนเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ผู้จัดทำมีจุดประสงค์ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนในวิชา กายวิภาคและสรีรวิทยาของสัตว์เลี้ยง (35032001) สาขาวิชาสัตวศาสตร์ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ ในการจัดทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 5 เดือน สามารถทำปัญหาพิเศษเรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ โดยผลงานที่ได้คือ ภาพแผ่นโปร่งใสแสดงลักษณะกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ รวม 26 ภาพ พร้อมคำบรรยายประกอบแผ่นโปร่งใส 1 ชุด

การจัดทำแผ่นโปร่งใสครั้งนี้ ขั้นตอนการทำเริ่มจากการศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2540 ประเภทวิชาเกษตรกรรม กระทรวงศึกษาธิการ ศึกษารายละเอียดการผลิตแผ่นโปร่งใสจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสื่อและการผลิตแผ่นโปร่งใส ศึกษาลักษณะของกล้ามเนื้อโครงร่าง จากหนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง จึงจัดเป็นโครงร่างปัญหาพิเศษและเสนอโครงร่างต่อคณะกรรมการพิจารณาโครงร่างปัญหาพิเศษขออนุมัติจัดทำ เมื่อได้รับอนุมัติแล้วจึงเริ่มดำเนินการโดยกำหนดภาพและเขียนคำบรรยายภาพที่จะจัดทำแผ่นโร่งใสจัดหาและจัดทำภาพต้นแบบ โดยนำภาพต้นแบบถ่ายเอกสาร 1 ฉบับ นำภาพที่ได้จากการถ่ายเอกสารมาสแกน และตกแต่งให้ได้ภาพที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จากนั้นทำการตกแต่งโดยการใช้สีจากคอมพิวเตอร์ เน้นจุดสำคัญตามความเหมาะสม ตรวจสอบความสมบูรณ์ความถูกต้องของแผ่นโปร่งใส หลังจากการตรวจสอบนำภาพมาแก้ไข จากนั้นอาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ครั้งสุดท้าย ส่งรูปเล่มปัญหาพิเศษพร้อมอุปกรณ์

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทำปัญหารพิเศษ เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ ปัญหาที่พบมีดังนี้

1. ในการทำภาพต้นแบบ เนื่องจากรูปกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ในหนังสือมีขนาดเล็กและไม่ชัดเจน จึงจำเป็นต้องวาดเองซึ่งต้องใช้เวลานานเพราะผู้ทำปัญหาพิเศษขาดความชำนาญในการวาดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพต้นแบบเมื่อนำไปถ่ายเอกสารปรากฏว่า ภาพที่ได้ไม่คมชัด นำไปสแกนแล้วทำให้ภาพที่ได้ออกมาไม่สวย จึงต้องนำมาตกแต่งในคอมพิวเตอร์ ทำให้ยุ่งยากเสียเวลา

3. ในการทำปัญหาพิเศษชุดนี้เสียค่าใช้จ่ายในการทำอุปกรณ์สูงพอสมควร

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การนำแผ่นโปร่งใสไปใช้

1. แผ่นโปร่งใสชุดนี้ใช้เวลา 1 คาบเรียนแต่ผู้เรียนสามารถใช้แผ่นโปร่งใสชุดนี้ในการนำเข้าสู่บทเรียน การสอน การสรุปบทเรียนซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน

2. สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่ ให้แก่ผู้ที่สนใจเกี่ยวกับลักษระทางกายภาพของกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

5.3.2 สำหรับผู้ทำแผ่นโปร่งใส

1. ต้องมีความรู้และศึกษาในเรื่องที่จะทำมาโดยละเอียด

2. ในการทำปัญหารพิเศษเกี่ยวกับแผ่นโปร่งใสนี้ผู้ทำจะต้องมีทุนทรัพย์พอสมควร เนื่องจากต้องใจทุนในการจัดทำอุปกรณ์สูงพอสมควร

3. ปัญหาพิเศษครั้งนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจเรื่องกล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์ และเป็นแนวทางเพื่อปรับปรุงแก้ไขเกี่ยวกับเรื่องอื่น เช่น กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กิดานันท์ มะลิทอง . 2536 . เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : เอดิสัน เพรสโพร . 251 น.

คณาจารย์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2541. Anatomy and Embryology of the Laboratory RaT. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 338 น.

คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา. 2534. สรีรวิทยา 1. พิมพ์ครั้งที่ 3 . คณะแพทย์ศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์ . 422 น.

ชัยณรงค์ คันธพนิต . 2529 . วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์ . กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช . 276 น.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ . 2533 . เทคโนโลยีสื่อสารการศึกษา . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช . 147 น.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาวัชนี . 2536 . สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย . พิมพ์ครั้งที่ 4 . กรุงเทพฯ : ธารกมลการพิมพ์ . 256 น.

ไชยยศ เรืองสุวรรณ . 2526 . การบริหารสื่อและเทคโนโลยีทางการศึกษา . กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช . 243 น.

ณรงค์ สมพงษ์ . 2535 . สื่อเพื่องานส่งเสริมและเผยแพร่. กรุงเทพฯ : งานการพิมพ์ฝ่ายสื่อการศึกษา สำนักงานส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . 316 น.

นิพนธ์ ศุขปรีดี . 2523 . โสตทัศนศึกษา . กรุงเทพฯ : แพร่วิทยา . 278 น.

ประทิน คล้ายนาค . 2527 . การผลิตวัสดุสำหรับเครื่องฉายภาพนิ่ง . มหาวิทยาลัยศิลปกร : นครปฐม . 178 น .

พิลาศ เกื้อมี . 2531 . เทคนิคการใช้เครื่องมือเทคโนโลยีทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : เจริญการพิมพ์ . 226 น.

ลัดดา ศุขปรีดี . 2521 . เทคโนโลยีการเรียนการสอน . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เนส . 210 น.

———— . 2523 . เทคโนโลยีการเรียนการสอน . กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ . 245 น.

———— . 2533 . เทคโนโลยีการเรียนการสอน . กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ . 267 น.

วรรณา เจียมทะวงษ์ . 2528 . เทคโนโลยีการศึกษา . กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์ . 187 น.

วารินทร์ รัศมีพรหม . 2529 . สไลด์ประกอบเสียง . กรุงเทพฯ : ธนาการพิมพ์ . 154 น.

———— . 2531 . สไลด์ประกอบเสียง . กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒประสานมิตร . 168 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิโรจน์ จันทรัพย์ . 2535 . กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา . พระนครศรีอยุธยาหันตรา : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครศรีอยุธยาหันตรา . 356 น.

สมบูรณ์ สงวนญาติ . 2534 . เทคโนโลยีการศึกษา, กรุงเทพฯ : กรมการศาสนา . 150 น.

เสาวณีย์ สิกขาบัณฑิต . 2535 . การทำและการใช้แผ่นโปร่งใส . พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒประสานมิตร .

อภินันท์ สุประเสริฐ . 2533 . การวิภาคศาสตร์ทางสัตวแพทย์ 1 ระบบกล้ามเนื้อ . กรุงเทพฯ : โครงการตำราหลวงสโมสรนิสิตคณะสัตวแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โอวาท พูลศิริ . 2527 . โสตทัศนศึกษา . โครงการตำราหลวงคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

_____ มปป. โสตทัศนศึกษา . โครงการตำราหลวงคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินผลคุณภาพสื่อการเรียนการสอน

ประเภทของสื่อ แผ่นโปร่งใสสำหรับการสอน เรื่อง กล้ามเนื้อโครงร่างของสัตว์

ผู้จัดทำ นางสาวอรอุมา สาลีกุล

คำชี้แจง ทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องว่างพร้อมเติมข้อเสนอแนะของอุปกรณ์ในช่องว่างที่กำหนดให้

ระดับที่ 1 หมายถึง ระดับต้องแก้ไข

ระดับที่ 2 หมายถึง ระดับพอใช้

ระดับที่ 3 หมายถึง ระดับดี

ระดับที่ 4 หมายถึง ระดับดีมาก

หัวข้อในการประเมินผล	ระดับความคิดเห็น			
	1 แก้ไข	2 พอใช้	3 ดี	4 ดีมาก
ความคมชัดของภาพ			✓	
ขนาดตัวอักษรใช้บรรยายส่วนประกอบของภาพ			✓	
สีของภาพ			✓	
ความถูกต้องของส่วนประกอบของภาพ			✓	
ความสะอาดของภาพ			✓	
ส่วนประกอบภาพถูกต้องกับเนื้อหา			✓	
ความถูกต้องของการชี้ส่วนประกอบของภาพ			✓	

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

.....

(.....)

ผู้ประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้