บทที่ 2
ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระดูก

กระดูกเป็นเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างเป็นระเบียบแต่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีการจัดเรียงผลึก apatile ในระดับโมเลกุลจนถึงรูปแบบของ trabecular network ซึ่งการจัดเรียงตัวนี้ทำให้กระดูกเกิดความทนต่อแรงดึง (tensile strength) เช่นเดียวกับในโครงสร้างเนื้อเหล็ก

2.2 การแบ่งชนิดของกระดูก

ในการแบ่งชนิดของกระดูกที่พบในร่างกาย สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ แบ่งตามลักษณะรูปร่างแบ่งตามตำแหน่งที่พบในร่างกาย และ แบ่งตามการเจริญเติบโตของกระดูก

2.2.1 การแบ่งตามลักษณะรูปร่าง

การแบ่งตามลักษณะรูปร่าง หรือตามลักษณะรูปร่างภายนอก ได้มีการจัดแบ่งไว้ทั้งสิ้น 5 ประเภท คือ

2.2.1.1 กระดูกยาว (long bone หรือ ossa longa)

เป็นกระดูกที่มีลักษณะยาวจะประกอบไปด้วยส่วนของตัวกระดูก (body) ที่เรียกว่า diaphysis และส่วนปลายกระดูกที่เรียกว่า epiphysis สำหรับรอยต่อระหว่าง diaphysis และ epiphysis เรียกว่า metaphysis เป็นที่อยู่ของกระดูกอ่อนที่ยังไม่เจริญไปเป็นเนื้อกระดูกแข็งเรียกว่า epiphyseal plate และจะหายไปเมื่อสัตว์เจริญเติบโตเต็มที่ ในขณะที่สัตว์กำลังอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโต พบว่าการขยายความยาวของกระดูกจะมาจากส่วนนี้ และเมื่อร่างกายหยุดการเจริญเติบโต หรือเมื่อสัตว์เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว epiphyseal plate จะกลายเป็นกระดูกแข็งที่มีชื่อเรียกว่า epiphyseal line ทำให้กระดูกหยุดการเจริญเติบโตแบบตามยาว แต่ยังคงมีการเจริญเติบโตในทางขวางอยู่ กระดูกยาวที่พบในร่างกายจะมีหน้าที่สำคัญ คือ เป็นคานช่วยในการค้ำจุนร่างกาย ช่วยในการเคลื่อนไหว และเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อบริเวณ diaphysis ของกระดูกยาว จะมีด้านนอกเป็นกระดูกทึบ ตรงกลางจะมีช่องไขกระดูก (marrow cavity) ยกเว้นบางชนิดที่ไม่มีไขกระดูกบรรจุ เช่น กระดูกซี่โครง (rib) กระดูกหน้าแข้งด้านนอก (fibula) ของม้า ในสัตว์ที่ยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ จะมีไขกระดูกสีแดง (red marrow) บรรจุอยู่ในช่องไขกระดูก ในสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะประกอบไปด้วยไขกระดูก 2 ชนิดคือ ไขกระดูกสีเหลือง (yellow marrow) และไขกระดูกสีแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งไขกระดูกสีแดงมีหน้าที่เป็น blood forming substance และไขกระดูกสีเหลืองมีหน้าที่เป็น adipose tissue forming บริเวณส่วนปลายที่เรียกว่า epiphysis พบว่าภายในจะเป็นกระดูกพรุนต่อกับช่องไขกระดูก ด้านนอกสุดของกระดูกมีเยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) ห่อหุ้ม เยื่อนี้จะทำหน้าที่ซ่อมแซมกระดูก เมื่อกระดูกหัก

2.2.1.2 กระดูกสั้น (short bone หรือ ossa brevia)

เป็นกระดูกที่มีรูปร่างเป็นรูปเหลี่ยมคล้ายกับลูกเต๋า มี 3 มิติ ภายในไม่มีไขกระดูก กระดูกชนิดนี้ทำหน้าที่เป็นแกนของโครงสร้างที่ไม่ต้องมีการเคลื่อนไหวมากนัก เนื้อกระดูกส่วนมากเป็นกระดูกทึบมีหน้าที่เกี่ยวกับการรองรับแรงกระแทก ลดการเสียดสี เปลี่ยนทิศทางของเอ็นยึดกล้ามเนื้อ (tendon) หรือเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและเอ็นยึดกล้ามเนื้อ กระดูกชนิดนี้จะพบอยู่ตามข้อเท้าของขาหน้า (carpal joint) และข้อเท้าขาหลัง (tarsal joint)

2.2.1.3 กระดูกแบน (flat bone หรือ ossa plana)

มีลักษณะเป็น 2 มิติ ประกอบไปด้วยแผ่นกระดูกทึบ 2 แผ่น ประกบกันเกือบชิด ภายในเป็นกระดูกพรุน บางชิ้นจะบรรจุไขกระดูกสีแดง ทำหน้าที่ป้องกันอวัยวะสำคัญ เช่น สมอง หัวใจ อวัยวะในช่องท้อง และช่องเชิงกราน และเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ

2.2.1.4 กระดูกรูปร่างแปลก (irregular bone)

เป็นกระดูกชิ้นเดียว มีรูปร่างไม่แน่นอน มีเหลี่ยม มุม ส่วนเว้า หรือส่วนโค้งมากกว่ากระดูกชนิดอื่น ทำหน้าที่ช่วยเสริมโครงร่างของร่างกาย พบเรียงกันอยู่ตามแนวแกนกลางของลำตัว เช่น กระดูกสันหลัง ในกระดูกชนิดนี้จะมีชั้นของกระดูกทึบอยู่ทั้งด้านใน และด้านนอก มีชั้นของกระดูกพรุนแทรกตรงกลาง

2.2.1.5 กระดูกกลม (pneumatic bone)

เป็นกระดูกชนิดที่มีโพรงอากาศอยู่ภายใน และติดต่อกับภายนอกร่างกายได้ จะพบได้ในสัตว์ปีก การที่มีโพรงอากาศแทรกในเนื้อกระดูกมีประโยชน์เพื่อช่วยในการลดน้ำหนักของกระดูก

2.2.2 การแบ่งตามตำแหน่งของร่างกาย

การแบ่งกระดูกตามตำแหน่งของร่างกายสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือกระดูกที่เป็นกระดูกรยางค์และกระดูกที่เป็นแกนกลาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.1 กระดูกรยางค์ (Appendicular skeleton)

กระดูกรยางค์จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ รยางค์ขาหน้า (thoracic girdle) และรยางค์ขาหลัง (pelvic girdle) โดยในส่วนจะประกอบด้วยกระดูกต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 – 1

ตารางที่ 2 – 1 เปรียบเทียบกระดูกรยางค์ขาหน้าและขาหลัง

Thoracic limb	**Pelvic limb**
Scapula	Pelvis (ilium, ischium, pubis)
Humerus	Femur
Radius	Tibia
Ulna	Fibula
Carpus	Tarsus
Metacarpal	Metatarsal
Phalanges	Phalanges

*หมายเหตุ ในการค้นคว้าอิสระจะได้กล่าวถึงเพียงแค่กระดูกที่ได้นำมาทำการทดลองเพียง 8 ชิ้นเท่านั้น

2.2.2.1.1 กระดูกสะบัก (Scapula)

กระดูกสะบักเป็นกระดูกที่อยู่ส่วนบนสุดของกระดูกรยางค์ขาหน้า มีลักษณะเป็นแผ่นบาง (flat bone) รูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม มี 2 ด้าน 3 ขอบ และ 3 มุมมีสันกระดูก (scapula spine) เป็นแนวยาวจากขอบบน (dorsal border) ไปยังส่วนคอของกระดูกสะบัก (neck of scapula) ที่ผิวด้านนอก (lateral surface) ของกระดูก นอกจากนั้นพบปุ่มกระดูกบนสันกระดูกนี้ เรียกว่า tuberosity spine หรือ acromion process เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ deltoideus สันกระดูกสะบักจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นสองส่วน คือ supraspinous fossa และ infraspinous fossa เป็นที่อยู่ของกล้ามเนื้อ supraspinatus และ infraspinatus ตามลำดับ ในขณะที่ผิวด้านในของกระดูกสะบักที่ติดกับซี่โครงจะมีแอ่งลึกตามแนวยาวที่เรียกว่า subscapula fossa เป็นที่อยู่ของกล้ามเนื้อ subscapularis ส่วนปลายทางขอบบนจะมีผิวหยาบเป็นรูปสามเหลี่ยมที่เรียกว่า facies serrata เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ serratus ventralis ขอบทางด้านหน้าของกระดูกสะบักทางด้านบนจะโค้งออกด้านนอกในขณะด้านล่างจะเรียบ หรืออาจโค้งเข้าด้านในเล็กน้อย ขอบทางด้านหลัง (caudal border) จะโค้งเข้าด้านในเล็กน้อย ส่วนขอบทางด้านบนพบว่าในสัตว์อายุน้อยจะเป็นแผ่นกระดูกอ่อนที่เรียกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

scapular cartilage และกระดูกอ่อนนี้ จะกลายเป็นกระดูกแข็งเมื่อสัตว์มีอายุเพิ่มมากขึ้นมุมแหลมทางด้านล่าง (ventral angle) ของกระดูกสะบักจะเชื่อมต่อกับกระดูกต้นขาหน้า (head of humerus) ของกระดูกสะบัก เรียกว่า glenoid cavity ด้านหน้าของ glenoid cavity จะพบปุ่มกระดูกเล็ก ๆ จำนวน 3 อัน เรียกว่า glenoid notch, coracoids process และ supraglenoid tubercle

ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีกระดูกสะบักในลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ในโคพบว่าจะเป็นรูปสามเหลี่ยมที่ชัดเจนกว่า ขอบด้านบนจะกว้างกว่า บริเวณสันกระดูกสะบักจะมีกระดูกยื่นออกมาเรียกว่า acromion process ชัดเจนปุ่มกระดูกนี้จะเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ ในสุกรกระดูกสะบักจะกว้างมาก และในสุนัขกระดูกสะบักจะค่อนข้างยาว แคบ สันกระดูกสะบักจะแบ่งส่วนของ supraspinous fossa และ infraspinous fossa ออกเป็นพื้นที่เท่ากัน

2.2.2.1.2 กระดูกต้นขาหน้า (Humerus)

กระดูกต้นขาหน้าเป็นกระดูกท่อนยาว (long bone) ด้านบนต่อกับกระดูกสะบัก เกิดเป็นข้อไหล่ (shoulder joint) ด้านล่างต่อกับกระดูก radius และ ulna เกิดเป็นส่วนของข้อศอก (elbow joint) หัวของกระดูกต้นขาหน้า จะมีลักษณะค่อนข้างกลมและใหญ่ เป็นส่วนต่อกับ glenoid cavity ของกระดูกสะบัก ใกล้กับหัวกระดูกต้นขาหน้าทางด้านข้างเยื้องไปด้านหน้า (craniolateral) มีปุ่มกระดูกขนาดใหญ่เรียกว่า greater tubercle เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ ด้านในของหัวกระดูกต้นขาหน้าจะมีปุ่มกระดูกขนาดเล็กเรียกว่า lesser tubercle ช่วยในการยึดเกาะของกล้ามเนื้อ และระหว่างปุ่มกระดูกของกล้ามเนื้อจะมีร่องขนาดใหญ่ที่เรียกว่า intertubercular groove ปลายล่างของกระดูกต้นขาหน้าจะมีการนูนของกระดูกทั้งด้านในและด้านนอก เรียกว่า medial และ lateral condyle ตามลำดับ โดยเชื่อมต่อกับกระดูก radius และ ulna หน้าสัมผัสเรียกว่า trochea มีร่องตรงกลาง (sagital groove) ร่องด้านหน้าเรียกว่า synovial fossa ร่องด้านหลังเรียกว่า olecranon fossa และพบว่าบริเวณด้านหลังของ trochea มีกระดูกนูนขึ้นมาเป็นสันอยู่ทั้งด้านนอกและด้านใน เรียกว่า lateral epicondyle และ medial epicondyle โดย lateral epicondyle เป็นตำแหน่งยึดเกาะของกล้ามเนื้อ extensorcarpi radialis และ lateral collateral ligament ในขณะที่ medial epicandyle เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อที่ทำการงอ (flexion) ของข้อเท้าหน้า (carpal joint) และข้อนิ้วเท้าหน้า (digital joint)

กระดูกต้นขาหน้าในโคพบว่ามีร่องขนาดเล็กและตื้น พาดอยู่บนส่วนตัวกระดูก (diaphysis) เรียกว่า musculospiral groove สำหรับเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ brachiali และ greater tubercle จะสูงกว่าหัวกระดูกมาก ในสุกรลักษณะของกระดูกต้นขาหน้าจะคล้ายตัวอักษร *f* แบบเอียง ในสุนัข

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระดูกต้นขาหน้าจะเรียวยาว บิดเป็นเกลียวเล็กน้อย greater tubercle จะอยู่ทางด้านหน้า (cranial) สูงกว่าหัวกระดูกเล็กน้อย

2.2.2.1.3 กระดูก Radius

เป็นกระดูกชิ้นสำคัญที่ทำหน้าที่คู่กับกระดูก Ulna ทำหน้าที่เป็นส่วนของขาหน้า เรียกว่า antebrachium แต่กระดูก radius เป็นกระดูกที่ทำหน้าที่สำคัญในการรับน้ำหนัก ปลายทางด้านบนของกระดูกจะมีขนาดใหญ่ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นผิวสัมผัสเชื่อมกับกระดูกต้นขาหน้าจะมีลักษณะโค้งเข้ารูปกับส่วนปลายที่เป็น trochea ของต้นขาหน้า ส่วนปลายล่างของกระดูกจะมีหน้าสัมผัส (facets) หลายจุด เนื่องจากเป็นตำแหน่งสำหรับเชื่อมกับกระดูกส่วนข้อเท้าหน้า (carpus)

2.2.2.1.4 กระดูก Ulna

เป็นกระดูกที่อยู่ชิดทางด้านหลังของกระดูก radius ในลักษณะขนานกัน ช่องว่างระหว่างกระดูก radius และ ulna เรียกว่า interosseous space ส่วนที่สำคัญของกระดูกส่วนนี้ คือ olecranon process เป็นที่ยึดเกาะกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นต่าง ๆ กล้ามเนื้อที่มาเกาะกับ olecranon process ได้แก่ tricepts brachii, tensor fascia antebrachii และ anconeus บริเวณตรงกลางของ olecranon process จะมีรอยเว้าที่เรียกว่า trochlear notch จะมีปุ่มกระดูกขนาดใหญ่ที่เรียกว่า anconeal process ที่ทำหน้าที่ยึดข้อศอกเมื่อทำการเหยียดตรง โดยจะสวมเข้ากับ olecranon fossa ของกระดูก humerus

กระดูก ulna ของม้าจัดเป็นกระดูก ulna ของม้า เป็นกระดูกยาวที่มีการลดขนาด (reduce long bone) มีการเชื่อมกับกระดูก radius เมื่อสัตว์โตเต็มที่แล้ว กระดูก ulna ในโค จะมีความสมบูรณ์กว่าม้า ปลายด้านล่างเชื่อมรวมกับกระดูก radius เช่นกัน กลายเป็นกระดูกชิ้นเดียวกันที่เรียกว่า styloid process ของกระดูก ulna และไปต่อกับกระดูก ulna – carpal ในสุกรกระดูก ulna ยาวกว่ากระดูก radius ส่วนของตัวกระดูกจะโค้งอย่างเห็นได้ชัด และกระดูก ulna ของสุนัขจะมีการเจริญดี พบว่าตัวกระดูกมีขนาดใหญ่ แต่ไม่มีการเชื่อมกับกระดก radius จึงเป็นช่องว่างไปตลอด

2.2.2.1.5 กระดูกนิ้วเท้า (Digits)

กระดูกนิ้วเท้าแต่ละอันจะประกอบด้วยกระดูกสั้น ชิ้นเล็ก ๆ จำนวน 2 – 3 ชิ้น กระดูกแต่ละชิ้นจะเรียกว่า phalanx และกระดูก phalange จะหมายถึงกระดูกชิ้นเล็ก ๆ หลายชิ้นที่มารวมกันเป็นกระดูกนิ้วเท้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.2 กระดูกรยางค์ขาหลัง (pelvic girdle)

2.2.2.2.1 กระดูกเชิงกราน (Pelvic)

กระดูกเชิงกรานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชิ้น ซ้ายและขวา แต่ละชิ้นจะประกอบไปด้วยกระดูก 3 ชิ้น ย่อย คือ ilium, ischium, และ pubis กระดูกเชิงกรานเป็นตัวเชื่อมระหว่างกระดูกแกนกลางของร่างกาย กับกระดูกรยางค์ส่วนต้นขาหลัง (femur) กระดูกเชิงกรานจะเชื่อมต่อกับกระดูกกระเบนเหน็บ (sacrum) ตรงตำแหน่งของ articular surface เมื่อเชื่อมต่อกับกระดูกต้นขาหลังตรงตำแหน่งที่เรียกว่าเบ้ากระดูกเชิงกราน (acetabulum)

2.2.2.2.2 กระดูกต้นขาหลัง (Femur)

เป็นกระดูกยาวที่มีความแข็งแรงที่สุด สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้น (proximal) ส่วนกลาง (shaft หรือ body) และส่วนปลาย (distal) ส่วนต้นจะมีหัวกระดูกที่มีลักษณะคล้ายกับลูกบอล เรียกว่า หัวกระดูกต้นขาหลัง (head of femur) เป็นตำแหน่งที่ยึดกับเบ้ากระดูกเชิงกรานกลายเป็นข้อสะโพก (hip joint) เป็นข้อที่สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และพบว่าส่วนต้นของกระดูกต้นขาหลังมีปุ่มกระดูกขนาดใหญ่ที่เรียกว่า greater trochea เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ ในสุนัขความสูงของ trochanter หรือ trochanter tertius เป็นที่เกาะของกล้ามเนื้อ gluteus superficialis ตำแหน่งเชื่อมระหว่างตัวกับหัวกระดุกต้นขาหลัง เรียกว่า คอ (neck) ระหว่างคอ และ greater trochanter มีหลุมที่เรียกว่า trochanteric fossa ด้านในใต้คอมีปุ่มกระดูก lesser trochanter เป็นที่เกาะยึดของกล้ามเนื้อ ในสุนัขพบว่ามีปุ่มกระดูกที่เรียกว่า supracondylar tuberosity ส่วนปลายของกระดูกต้นขาหลังจะเป็นตำแหน่งที่ไปเชื่อมต่อกับกระดูก tibia และกระดูกสะบ้า (patella) เป็นข้อเข่า (stifile joint) เป็นข้อชนิดที่มีการเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นอิสระ ส่วนปลายของกระดูกต้นขาหลังจะมีร่องขนาดใหญ่คล้ายรอกที่เรียกว่า trochea ร่องนี้จะเป็นที่อยู่ของกระดูกสะบ้า (sesamoid bone)

2.2.2.2.3 กระดูกหน้าแข้ง (Tibia)

กระดูกหน้าแข้งเป็นกระดูกส่วนที่รับน้ำหนักของขาส่วนล่าง ปลายด้านบนมีการขยายตัวออก และแบ่งเป็น 2 condyle มีร่องที่เรียกว่า caudal popliteal notch และสันที่เรียกว่า intercondylar eminence ทำหน้าที่ในการแยก condyle แต่ละข้างออกจากกัน condyle แต่ละอันของกระดูกหน้าแข้งจะสัมพันธ์กับ condyle ของกระดูกต้นขาหลัง ที่มาต่อกันเป็นข้อเข่า ปลายด้านล่างของกระดูกหน้าแข้งจะต่อกับกระดูก tarsus กลายเป็นข้อที่เรียกว่า hock joint ทางด้าน proximal ของกระดูกหน้าแข้งมีสันกระดูกที่เรียกว่า tibial tuberosity ทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของ patella tendon โคนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สันกระดูกจะทอดตัวลงมาตามแนวยาวของกระดูก เรียกว่า tibial crest เป็นส่วนปลายของกระดูกหน้าแข้ง มีหน้าสัมผัสที่เรียกว่า cochlea สามารถเข้าได้พอดีกับกระดูก trochlea ของกระดูก tarsus

2.3 ลักษณะทางจุลกายวิภาคของกระดูก

กระดูกเป็นเนื้อเยื่อประสาน (connective tissue) ที่เซลล์และเส้นใยฝังตัวอยู่ในสารแข็ง ไม่มีการพับงอ มีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา กระดูกมีหน้าที่สำคัญในการค้ำจุนโครงร่าง และป้องกันอวัยวะภายในต่าง ๆ นอกจากนี้ กระดูกยังเป็นที่ยึดเกาะให้กับกล้ามเนื้อและเส้นเอ็น ที่มีความสำคัญต่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมพบว่า กระดูกจะมีกระบวนการสร้างใหม่และมีการเรียงตัวใหม่ตลอดช่วงชีวิต โครงสร้างภายในเนื้อกระดูก จะมีระบบท่อที่มีลักษณะเฉพาะเพื่อช่วยในการนำอาหาร และแร่ธาตุมาเลี้ยงเซลล์กระดูก

เซลล์กระดูกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามการเจริญ คือ เซลล์ออสติโอไซท์ (osteocyte) เป็นเซลล์กระดูกที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว และเซลล์ออสติโอบลาสท์ (osteoblast) เป็นเซลล์กระดูกที่ยังเจริญไม่สมบูรณ์ นอกจากทั้งสองชนิดนี้แล้ว ยังมีเซลล์อีกชนิดหนึ่ง ที่มีชื่อว่า ออสติโอคลาสท์ (Osteoclast) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการสลายเนื้อกระดูก

2.4 ระบบท่อภายในเนื้อกระดูก

เมื่อมีการนำกระดูกที่ยังไม่ได้มีการสลายเอาแร่ธาตุออก (decalcification bone) นำมาทำให้บางลง จะเห็นว่าเนื้อกระดูกส่วนที่เป็นกระดูกทึบจะมีการเรียงตัวซ้อนกันของ lacunae ที่เรียกว่า lamellae โดยมีเซลล์ออสติโอไซท์อาศัยอยู่ภายใน lacunae เหล่านั้น และมี canaliculi ที่ช่วยในการเชื่อมต่อกับ canaliculi จาก lamellae ที่อยู่ติดกัน โดยพบว่า lamellae ในกระดูก จะมีการเรียงตัว 3 แบบ ได้แก่ 1.) การเรียงตัวเป็นวงกลมซ้อนกัน ทำให้เกิดเป็น haversian systems ขึ้น ระหว่างเซลล์ออสติออยด์ 2.) การเรียงตัวแบบมีรูปร่างไม่แน่นอน หรือที่เรียกว่า interstitial lamellae โดยอาจพบ cement lines กั้นอยู่ระหว่างเซลล์ออสติออยด์ และ interstitial system และจะพบว่า cement line ติดสีต่างจากบริเวณข้างเคียง เพราะมีปริมาณ collagen น้อยมาก และไม่มี canaliculi อยู่ภายใน และ 3.) มีการเรียงซ้อนกันเป็นวงรอบโพรงกระดูก ตรงบริเวณผิวด้านใน และผิวด้านนอก ของท่อนกระดูกตามลำดับ เรียกว่า inner และ outer circumferential lamellae

Haversian canals หรือ central canals เป็นท่อทางผ่านของหลอดเลือดฝอย หลอดน้ำเหลือง และ nonmyelinated nerve fiber มีออสติออยด์จัดเรียงตัวกันอยู่รอบ ๆ พบว่า haversian canals จะเชื่อมต่อกันเอง และเชื่อมต่อกับผิวด้านนอกของกระดูก โดยผ่านทางท่อที่มีชื่อว่า perforating

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Volkman's) canals จะพบอยู่ในแนวตั้งฉากกับ haversian canals อาจเรียก haversian canals ว่า vertical หรือ longitudinal canal ก็ได้ และ perforating canals อาจเรียกว่า horizontal canals

2.5 การศึกษาเปรียบเทียบกระดูกสันหลัง

Naresh และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบทางกายวิภาคของกระดูกสันหลังในกวางกับมนุษย์ โดยนำกระดูกสันหลังของกวางแดงสายพันธุ์ *Cervus elaphus* ตัวเต็มวัยเพศผู้ที่ตายแล้วและมีอายุระหว่าง 20 – 27 เดือน ซากกวางแดงมีน้ำหนักตั้งแต่ 46 – 52 กิโลกรัม โดยเลือกเอากระดูกสันหลังส่วนอก ที่มีความยาวตั้งแต่ 45 – 65 เซนติเมตร และกระดูกสันหลังส่วนสะโพก ที่มีความยาวตั้งแต่ 30 – 45 เซนติเมตร และมีความยาวตั้งแต่กระดูกสันหลัง T1 ไปจนถึง sacrum 80 – 100 เซนติเมตร นำกระดูกที่ได้ไปทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำออกมาละลายน้ำแข็งที่ห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิห้อง 19 องศาเซลเซียส เพื่อทำการวัดความกว้าง – ยาว ความหนาแน่นของกระดูกแต่ละชิ้น ด้วยเครื่องมือดิจิตอล แล้วจึงนำกระดูกเข้าไปเก็บรักษาตามเดิม นำค่าที่ได้จากการวัดมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลกายวิภาคของกระดูกมนุษย์ที่มีบันทึกไว้จากการศึกษาครั้งอื่น จากการเปรียบเทียบพบว่า กระดูกสันหลังของกวางแดงและมนุษย์มีส่วนที่ค่อนข้างคล้ายกัน คือ ในส่วนของ lower thoracic และ upper lumbar แต่มีข้อแตกต่างกันในเรื่องของความหนาแน่นของกระดูก และยังพบว่ากระดูกสันหลังส่วนคอ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน

ในปี 2001 Bronek และคณะ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบทางกายวิภาค และการทำงานของกระดูกสันหลังส่วนสะโพกในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่โตเต็มวัย ทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ มนุษย์ ชิมแพนซี อุรังอุตัง จิ้งโจ้ โลมา แมวน้ำ ม้า เสือชีต้า ลามา และแพะภูเขา ทำการศึกษาถึงลักษณะการใช้งานของกระดูกสันหลังในส่วนสะโพกจากชิ้นส่วนกระดูกที่มีการเก็บรักษาอย่างดีในที่แห้ง จากการศึกษา สามารถแบ่งการใช้งานของกระดูกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ การใช้กระดูกสันหลังส่วนสะโพกในการเคลื่อนไหว การทำงานของกระดูกสันหลังส่วนสะโพกในสัตว์น้ำ การทำงานของกระดูกสันหลังส่วนสะโพกในสัตว์บกสี่เท้า และสัตว์บกสองเท้า และพบว่าในการทำงานของกระดูกสันหลังส่วนสะโพกในสัตว์แต่ละกลุ่มที่ต่างกัน จะมีการใช้งานที่ต่างกัน จึงส่งผลให้ลักษณะของกระดูกสันหลังส่วนสะโพกมีลักษณะที่แตกต่างกัน

ต่อมาในปี 2007 Jamie และ Bolton ทำการศึกษาการวัดค่าของ vertebral canal ความมีมิติของกระดูกคอในหนูเปรียบเทียบกับมนุษย์ ทำการศึกษาในหนูสายพันธุ์ *Spraque Dawley* ใช้หนูตัวเต็มวัย 20 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้ 10 และเพศเมีย 10 อายุประมาณ 10 – 11 เดือน น้ำหนัก 169 – 435 กรัม ถูกทำให้ตายด้วย 100% CO_2 จากนั้นชำแหละ และนำกระดูกสันหลังส่วนคอ (C1 และ T1) ไปผ่านกระบวนการเพื่อให้กล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และเนื้อเยื่อต่าง ๆ หลุดออกไป ทำการแบ่งการทดลองเป็น 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอน ตอนที่ 1 วัดกระดูก C1 และ T1 ด้วย เครื่องมือที่ชื่อว่า caliper เป็นแบบดิจิตอล วัดความยาวที่มากที่สุดตั้งแต่ด้านหน้า (anterior) ไปจนถึงด้านหลัง (posterior) รวมทั้งด้านตัดขวาง (transvers) ตอนที่ 2 ทำการศึกษากระดูก C1 และ T2 ทั้งหมด 19 ชิ้น (เนื่องจากขณะการย่อยสลาย กระดูกของหนูเพศเมียถูกย่อยไป ทำให้เหลือตัวอย่าง 19 ตัวอย่าง) ทำการถ่ายภาพกระดูกแต่ละชิ้น ใช้โปรแกรมในการคำนวณหาค่าจากภาพถ่าย (ImageJ, US National Insitutes of Health, Bethesda) กระดูกแต่ละชิ้นจะถูกถ่ายจากด้านหลัง และหน้า จากผลการศึกษาสามารถบอกได้ว่า มิติของกระดูกด้านหน้าถึงด้านหลังของกระดูก C1 และ C2 มีขนาดใหญ่มาก และขนาดจะค่อย ๆ ลดลงในส่วนของ C3 และ T1 นอกจากนี้ กระดูก atlas (C1) ยังมีมิติของ transvers ที่มีขนาดใหญ่ และมีขนาดเล็กในชิ้น axis (C2) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า vertebral canal ของหนูมีความคล้ายกันกับของมนุษย์ในบางจุด แต่ก็มีการพบว่ามีข้อแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างหนูกับมนุษย์ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวอาจส่งผลถึงความแตกต่างกันทางสัณฐานวิทยาในกระดูกสันหลัง Zedda และคณะ (2008) ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางจุลกายวิภาคของกระดูกในม้า (*Equus caballus)* และวัว *(Bos Taurus)* ตัวเต็มวัย การศึกษาครั้งนี้เพื่ออธิบายถึงความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาโครงสร้างกระดูกทึบ ของกระดูก humerus และ femur ระหว่างม้า และวัว หลังจากทำการตัดกระดูก และทำสไลด์ ทำการวัดพื้นที่เส้นรอบวง เส้นผ่านศูนย์กลางที่สั้นที่สุด และยาวที่สุดของกระดูก และวัดขนาดของ haversian canals จากการศึกษาสามารถบอกได้ว่ากระดูกทึบของม้า และวัว สามารถถูกจัดจำแนกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความหนาแน่นของ haversian tissue กระดูกของม้ามีจำนวนของ lamellae ที่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับกระดูกของวัว รวมทั้งขนาดของเส้นรอบวง เส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นที่ของ osteons และ haversian canals จะมีค่ามากกว่าในวัวเสมอ

และล่าสุดในปี 2009 Sun และคณะทำการศึกษาเปรียบเทียบทางสัณฐานวิทยาของกระดูกสันหลังระหว่างมนุษย์ กับสัตว์ชนิดต่าง ๆ มีการตั้งข้อสังเกตว่า ควรจะเลือกตัวอย่างสัตว์อย่างไรเพื่อให้เหมาะสมกับการศึกษาในเรื่องกระดูกสันหลัง โดยการรวบรวมข้อมูล บทความทางวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการเผยแพร่จาก PubMed OVID Springer และ Science Direct ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 จนถึงปี ค.ศ. 2008 รวมทั้งสิ้น 554 บทความ พบว่าส่วนใหญ่มีการศึกษาเปรียบเทียบกับสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่อย่าง ลิงบาบูน แกะ หมู ลูกวัว และแพะ ซึ่งมีลักษณะทางกายวิภาคที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับลักษณะของกระดูกสันหลังมนุษย์ หลังจากการศึกษาพบว่า ในกระดูกสันหลังส่วนคอของลิงบาบูน มีลักษณะที่ค่อนข้างคล้ายกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัตว์ชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่า vertebral canal ของมนุษย์มีความกว้าง และลึกมากกว่าในสัตว์ทุกชนิด ยกเว้นในส่วนของกระดูกสันหลังส่วนคอส่วนต้นของกวาง จากข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมาดังกล่าวมีลักษณะที่ค่อนข้างกว้าง แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีเพื่อช่วยในการตัดสินใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการเลือกตัวอย่างสัตว์มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ที่จะนำมาทำการทดลองเปรียบเทียบเพื่อทำการศึกษาต่อไป

2.6 การศึกษาเปรียบเทียบกระดูกยาว

Harald Horni (2002) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางจุลกายวิภาคของกระดูกในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ การศึกษาดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อเมื่อพบชิ้นส่วนกระดูกที่ไม่สามารถจำแนกชนิดได้ในที่เกิดเหตุ จะสามารถใช้ลักษณะทางจุลกายวิภาคเป็นตัวช่วยในการจัดจำแนกว่ากระดูกชิ้นดังกล่าว เป็นของมนุษย์หรือสัตว์ ในการศึกษาได้นำเอากระดูกยาว (long bone) ได้แก่ กระดูกต้นขาหน้า กระดูก radius กระดูก ulna กระดูกต้นขาหลัง (femur) และ กระดูกหน้าแข้ง (tibia) จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม 7 ชนิด คือแมว หมาป่าโคโยตี้ หมาป่า กวางหางขาว นางอาย แพะ และมนุษย์ นำกระดูกที่ได้มาทำการติดแท็คด้วยสีทั้งสี่ด้าน ด้าน medial สีแดง ด้าน lateral สีเขียว ด้าน anterior สีดำ และด้าน postterior สีน้ำเงิน จากนั้นนำกระดูกแต่ละชิ้นไปตัดทำสไลด์ cross section ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า ทำการนับจำนวนของ secondary osteonal osteocyte วัดขนาดของ secondary osteon เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง secondary osteonal osteocyte กับขนาด secondary osteon ขนาดของ haversian canal และนับจำนวนของ osteon เพื่อดูความหนาแน่น จากผลการศึกษาสามารถบอกได้ถึงความแตกต่างกันทางลักษณะจุลกายวิภาค ในกระดูกของกวางหางขาวและแพะ พบว่ามี plexiform bone ที่ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีเพียงสัตว์สองชนิดนี้เท่านั้นที่มีกระดูกลักษณะดังกล่าว และ plexiform bone ยังพบได้ยากในกระดูกมนุษย์ นอกจากนี้ยังพบความแตกต่างทางจุลกายวิภาคอื่น ๆ อีก ได้แก่ secondary osteonal osteocyte ของมนุษย์มีค่าต่ำกว่าของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดอื่น ค่าเฉลี่ยของขนาด secondary osteon ของมนุษย์ มีค่ามากกว่า ในสัตว์แต่ละชนิดมีความหนาแน่นของ osteocyte ที่ต่างกัน และขนาดของ hcaversian canal ในกระดูกมนุษย์ มีขนาดที่ใหญ่กว่าสัตว์ชนิดอื่น 2 เท่า จากการศึกษาทำให้สามารถบอกได้ว่าลักษณะทางจุลกายวิภาคของกระดูกสามารถนำมาใช้เป็นตัวจัดจำแนกชิ้นส่วนของกระดูกได้

ในปี 2006 Martiniakova และคณะ ทำการศึกษาความแตกต่างของโครงสร้างของเนื้อเยื่อกระดูกทึบที่กระดูกต้นขาหลังในวัว และสุกร *(Sus scrofa domestica)* ทำการศึกษาในวัวและสุกรตัวเต็มวัย เพื่อดูลักษณะทางจุลกายวิภาคของกระดูกต้นขาหลังในสัตว์ทั้ง 2 ชนิด เพื่อหาข้อบ่งชี้ในการจัดจำแนกกระดูกของสัตว์ทั้ง 2 ชนิดออกจากกัน มีการนำเอาโปรแกรมที่มีชื่อว่า Scion Image มาช่วยในการศึกษา ทำการวัดพื้นที่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยที่สุด และที่มากที่สุดของ haversian canal ของ ขนาดของ haversian system และของ primary osteon's vascular canals พบว่าลักษณะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงสร้างภายในของกระดูกทึบส่วนต้นขาหลังมีการจัดเรียงตัวของ haversian system และ vascular canals เป็นแบบร่างแหทั้งในสัตว์ทั้ง 2 ชนิด และพบ non-vascular bone tissue ในวัว การดูดซึมกลับของ lacunae พบได้ในระหว่างขั้นตอนของ secondary osteons ในสุกร นอกจากนี้ยังพบว่าขอบเขตในการแปรผันของ haversian canals, haversian system และของ primary osteon's vascular canals มีการเกิดขึ้นค่อนข้างสูงในวัว

และในปี 2010 Castrogiovanni และคณะ ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของเนื้อกระดูก ในกระดูกท่อนแขน และท่อนขาในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่รวมทั้งมนุษย์ และสัตว์ปีก การศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาในระดับเริ่มต้น เพื่อการหาความสัมพันธ์ของโครงสร้างเนื้อกระดูกในส่วนที่เป็นกระดูกทึบ นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของกระดูกแต่ละชนิด จากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าในการศึกษาตัวอย่างของเนื้อเยื่อกระดูกจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิดและสัตว์ปีก โครงสร้างของกระดูกแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะในกระดูกของสัตว์แต่ละชนิด ลักษณะของโครงสร้างเนื้อกระดูกที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาด และรูปร่างของกระดูกทึบในสัตว์แต่ละชนิด ดังนั้นในการศึกษาวิเคราะห์เนื้อเยื่อของกระดูกจะสามารถนำมาใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของกระดูกแต่ละชิ้นที่ถูกพบได้ ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวจัดจำแนกชนิดของสัตว์ และเป็นประโยชน์ในงานของนิติวิทยาศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved