

บทที่ 2

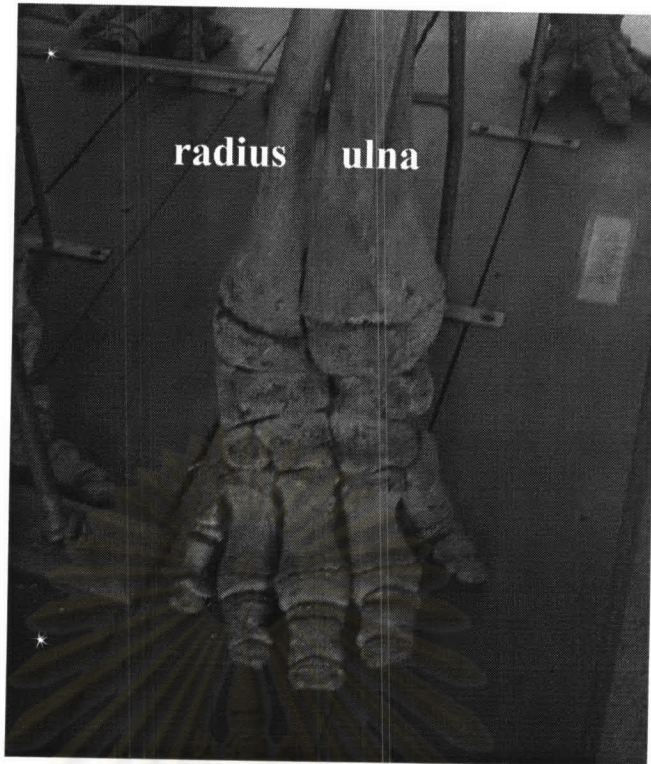
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะกายวิภาคของกระดูกข้าง

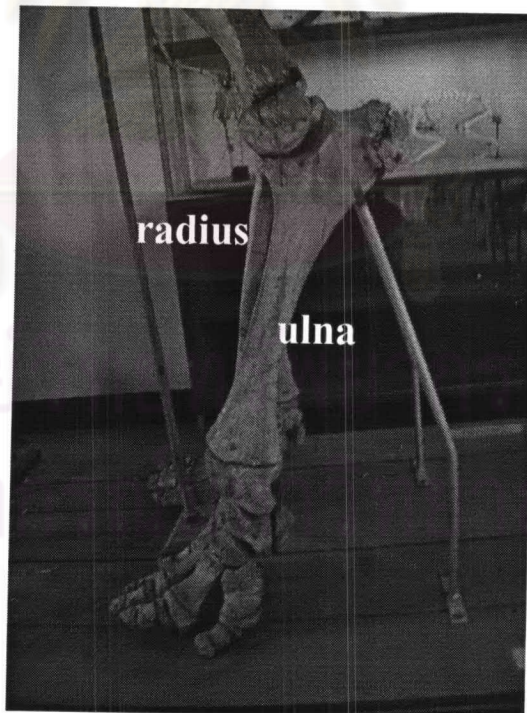
โครงกระดูกข้างเอเชียและข้างแอฟริกา มีรูปร่างใกล้เคียงกัน แต่ในข้างแอฟริกา มีขนาดใหญ่กว่า ลักษณะโครงสร้างของกระดูกข้างแสดงถึงการปรับตัวเพื่อรับน้ำหนักที่มาก โดยพบว่ากระดูกสันหลังอัดตัวกันแน่น กระดูกเชิงกรานกว้างและเกือบตั้งฉากกับกระดูกสันหลัง (พรชัย และคณะ, 2543) แนวกระดูกขาทั้งสี่ไม่มีรอยพับที่ข้อต่ออย่างเช่นในวัวหรือม้า ส่วนของกระดูกขาหน้าจะยาวกว่าขาหลังและกระดูกต้นขายาวกว่าปลายขา

Mariappa (1986) ได้ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของกระดูกข้างเอเชีย พบว่าในส่วนกระดูกขาหน้านั้น ulna มีขนาดใหญ่กว่า radius ปลายบนของ radius สัมผัสกับ ulna ในขณะที่ปลายล่างมีมวลมากกว่าปลายบน ซึ่งตรงกันข้ามกับ ulna ที่บริเวณ olecranon มีมวลมากกว่าปลายล่างและมี glenoid cavity 2 แอ่ง ลักษณะของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุกชนิดของ radius และ ulna เป็นรูปสี่เหลี่ยมทรงสูง (รูปที่ 1 และ 2) ส่วนกระดูกขาหลังนั้น tibia มีขนาดใหญ่กว่า fibula มาก (รูปที่ 3 และ 4) พบ facet ขนาดเล็กที่ปลายบนและปลายล่างของ tibia ในด้านนอกลำตัว (lateral) ซึ่งเป็นที่เกาะของหัวและปลายล่างของ fibula บริเวณ tuberosity ของ tibia มีร่องลึกอยู่ทางด้าน caudolateral ส่วนปลายล่างของ fibula มี facet รูปไข่อยู่ที่ปลายบนเพื่อยึดกับ tibia และปลายล่างมี malleolus ขนาดใหญ่มาก

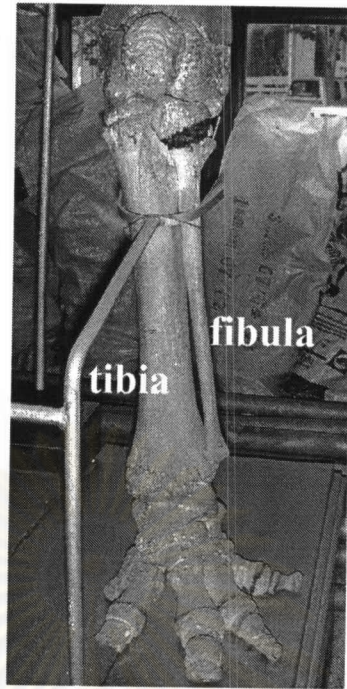
ส่วนกระดูกขาหน้าของข้างแอฟริกา Smuts and Bezuidenhout (1993) พบว่าปลายล่างของ radius และ ulna มีขนาดใหญ่และผิวกระดูกตรงข้อต่อ (articular surface) ที่ปลายล่างอยู่ด้านหลัง (caudal) มากกว่าด้านหน้า (cranial) ส่วนกระดูกขาหลัง Smuts and Bezuidenhout (1994) พบว่า ปลายล่างของ tibia มีลักษณะขรุขระโอบล้อมผิวกระดูกตรงข้อต่อไว้ ทางด้านหลังของ malleolus มีร่องเว้าที่มี facet สำหรับยึดเกาะกับ fibula ส่วน fibula ซึ่งอยู่ด้านหลังของ tibia มีขนาดเล็ก แต่ malleolus มีขนาดใหญ่มาก ส่วนผิวกระดูกของข้อต่อที่ปลายล่างอยู่ก่อนไปทาง ด้านในลำตัว (medial) มากกว่า



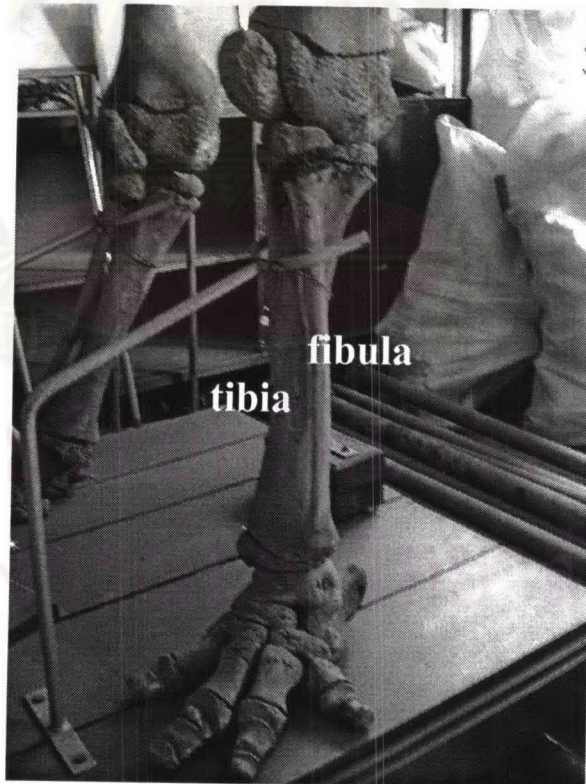
รูปที่ 1 กายวิภาคด้านหน้าของกระดูกข้อมือเอเซียบริเวณปลายขาหน้าซ้าย



รูปที่ 2 กายวิภาคด้านข้างของกระดูกข้อมือเอเซียบริเวณปลายขาหน้าซ้าย



รูปที่ 3 กายวิภาคด้านหน้าของกระดูกข้างเอเซียบริเวณปลายขาหลังซ้าย



รูปที่ 4 กายวิภาคด้านข้างของกระดูกข้างเอเซียบริเวณปลายขาหลังซ้าย

โรคและความผิดปกติของระบบกระดูกในช้าง

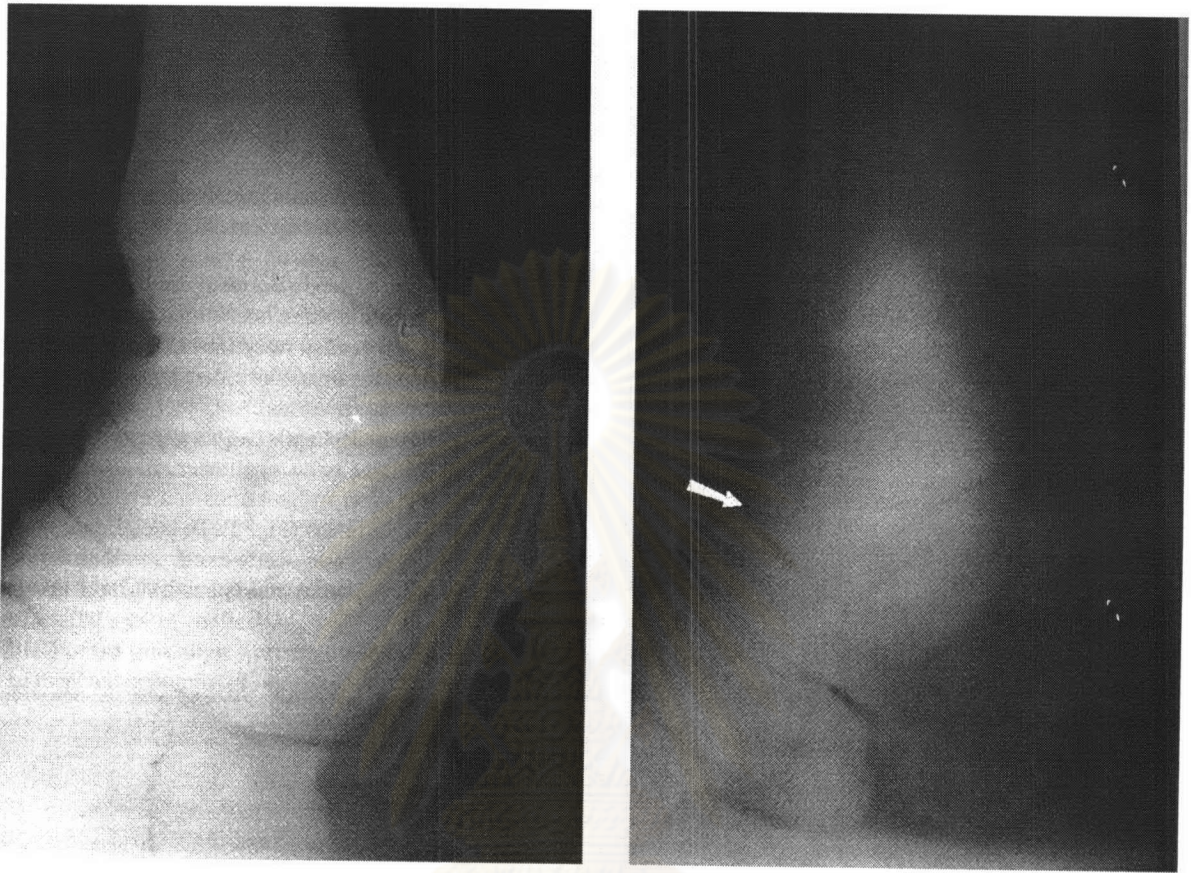
โรคและความผิดปกติของระบบกระดูกในช้างเอเชียเกิดจากกระดูกหัก (fracture) , ข้อกระดูกเคลื่อน (dislocation) , ข้อเสื่อม (degenerative joint disease) , กระดูกอ่อนและเสื่อม (ricket and osteodystrophy) และการได้รับบาดเจ็บ (trauma) (Fowler,1986)

ภาวะกระดูกหักมักเกิดกับกระดูกชิ้นยาว เช่น femur, humerus, tibia, fibula, radius และ ulna เป็นต้น โดยมีสาเหตุจากอุบัติเหตุเป็นส่วนใหญ่ เช่น อุบัติเหตุรถยนต์ ชูงทับ ตกท่อและการต่อสู้ รวมทั้งการถูทารุณกรรมจากมนุษย์ ภาวะกระดูกหักเป็นสาเหตุให้ช้างนอนลงและยืนด้วยความลำบาก และช้างไม่อาจดำรงชีวิตอยู่ได้หากไม่สามารถรับน้ำหนักตัวด้วยขาทั้งสี่ การพยากรณ์โรคจึงมักไม่ดี (Fowler, 1986) นอกจากนี้ในการวินิจฉัยเพื่อระบุตำแหน่งกระดูกหักที่แน่นอน ยังจำเป็นต้องอาศัยภาพถ่ายรังสีซึ่งจะถ่ายได้ภาพชัดเจนเฉพาะบางตำแหน่งที่มีกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่ออ่อนปกคลุมส่วนของกระดูกหักไม่หนาเกินไป อีกทั้งการรักษาภาวะกระดูกหักก็มักได้ผลไม่เป็นที่พอใจ โดยเฉพาะกับกระดูกชิ้นใหญ่หรือในช้างโตที่มีน้ำหนักมาก ในช้างอายุน้อยอาจใช้เฟือกไฟเบอร์กลาส (fiber glass) หรือแผ่นตามยึดกระดูก (bone plate) ยึดตรึงชิ้นกระดูกที่หักได้ ส่วนช้างโตอาจใส่เฟือกไฟเบอร์กลาส (Sanyathitiseree et al., 2001)หรือการบังคับให้ช้างยืนอยู่นิ่งๆ เพื่อให้กระดูกเชื่อมต่อกันเองโดยธรรมชาติ

ข้อกระดูกเคลื่อนมักเกิดในลักษณะเคลื่อนออกบางส่วน โดยอาจมีสาเหตุจากอุบัติเหตุ การกระทบกระแทกหรือการตกจากที่สูง สามารถแก้ไขด้วยการวางยาสลบแล้วใช้โซ่หรือเชือกคล้องข้อเท้า เพื่อดึงข้อกลับเข้าที่ด้วยแรงรถ ซึ่งการพยากรณ์โรคมักจะไม่ดี

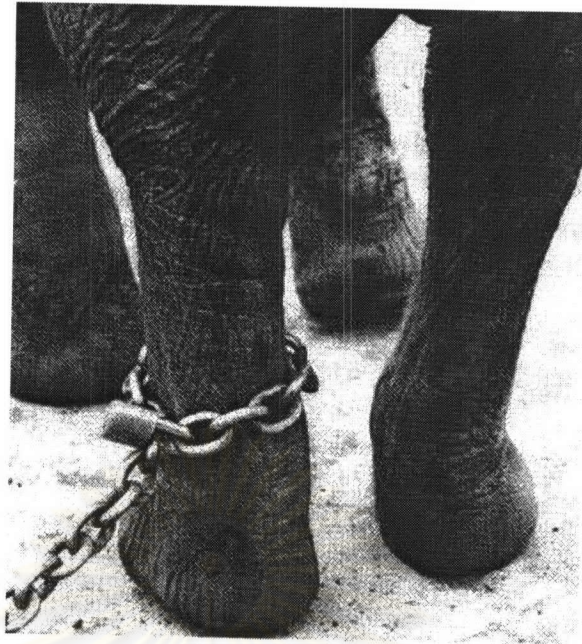
ข้อเสื่อมมักพบในช้างเลี้ยงมากกว่าช้างป่า เนื่องจากการเลี้ยงดูช้างอย่างไม่เหมาะสม เช่น เลี้ยงบนพื้นคอนกรีตหรือมีการออกกำลังกายน้อย Hittmair และ Vielgrader (2000) ได้รายงานการเกิดข้อเสื่อมในช้างแอฟริกา 2 เชือก โดยรายแรกเป็นช้างแอฟริกาเพศเมีย อายุ 37 ปี แสดงอาการกะเผลกเจ็บบั้นบริเวณขาหน้าขวาและพบการอักเสบบริเวณระหว่างนิ้วเท้าของ phalange ที่ 2 และ 3 จากภาพรังสีพบว่า carpus มีลักษณะขรุขระ, ขอบไม่เรียบและมีกระดูกงอกที่ขอบของ carpus ส่วนด้านนอกลำตัวพบว่า tarsus ด้านขวามีกระดูกงอกตลอดด้านบนของ tarsus และขอบของกระดูกเห็นไม่ชัดเจน ส่วน phalange ไม่พบความผิดปกติของกระดูก ในรายที่สองนั้น เป็นช้างแอฟริกา เพศเมีย อายุ 13 ปี แสดงอาการเดินกะเผลกขาหลังซ้ายหลังจากการขนส่งเคลื่อนย้าย จากภาพรังสีพบว่า phalange และ metatarsus เป็นปกติ ส่วนขอบด้านบนของ talus และ central tarsus มีลักษณะขรุขระเล็กน้อย (รูปที่ 5) ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นภาวะข้อเสื่อมที่ไม่รุนแรง นอกจากนี้ยังพบว่าศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิที่ปลายล่างของ tibia ยังคงเชื่อมกันไม่สนิท ภาวะข้อเสื่อมในช้างนั้นมีอุบัติการณ์การเกิดโรคคล้ายกับในม้า โดยที่ขาหน้าของช้างเกิดภาวะข้อ

เสื่อมได้ง่ายกว่าเพราะรองรับน้ำหนักตัวมากกว่าขาหลัง นอกจากนี้ภาวะข้อเสื่อมในช้างยังอาจมีสาเหตุจากการติดเชื้อ *Mycoplasma spp.* ซึ่งการติดเชื้อแบบเฉียบพลันอาจนำไปสู่ภาวะข้อเสื่อมอย่างเรื้อรังได้



รูปที่ 5 ภาพรังสีของ tarsus ที่เกิดข้อเสื่อมในช้างแอฟริกา แสดงกระดูกงอกตลอดแนวด้านหน้าของ tarsus (ซ้าย) และกระดูกงอกบริเวณด้านบนของ talus และ central tarsus (ลูกศรชี้) (ขวา) (Hittmair and Vielgrader , 2000)

Siegel (1973) ได้รายงานการพบกระดูกข้อเท้าหลังผิดรูป (tibiotarsal deformity) ในช้างแอฟริกา อายุ 3 ปี ซึ่งมีประวัติเคยเป็นโรคกระดูกอ่อน (rickets) มาก่อน ช้างถูกกักขังจึงได้รับแสงแดดน้อยและขาดการออกกำลังกาย ตรวจพบบริเวณข้อเท้าหลังด้านขวามีการเบี่ยงออก (deviation) ประมาณ 30 องศาไปทางด้านข้าง (รูปที่ 6) จากรังสีวินิจฉัยพบว่าแนว physis ที่ปลายล่างของ tibia ด้านที่ชิดกับ metaphysis มีลักษณะไม่เรียบและเป็นแนวกว้างกว่าปกติ ส่วนแนวที่ชิดกับด้าน epiphysis มีลักษณะที่บร้งสี (รูปที่ 7) ซึ่งได้รับการรักษาโดยใช้อุปกรณ์คล้องรองเท้าและมีเข็มขัดเพื่อรัดและตัดให้กระดูกเจริญไปในแนวตรงมากขึ้น



รูปที่ 6 ข้อเท้าหลังด้านขวาผิดรูป (tibiotarsal deformity) ในช้างแอฟริกาอายุ 3 ปี (Siegel, 1973)



รูปที่ 7 ภาพรังสีข้อเท้าหลังด้านขวาของช้างรูปที่ 6 พบ physis ที่ปลายล่างของ tibia ด้านที่ชิดกับ metaphysis มีลักษณะไม่เรียบและเป็นแนวกว้างกว่าปกติ (ลูกศรชี้) (Siegel, 1973)

ภาวะกระดูกบางมักพบในช้างที่ได้รับสารอาหารไม่ได้สัดส่วน โดยเฉพาะการขาดธาตุแคลเซียม Ensley และคณะ (1994) ได้รายงานการป่วยของลูกช้างเอเชีย อายุ 9 เดือน ซึ่งไม่ได้กินนมแม่เหลืองเมื่อแรกเกิดเนื่องจากแม่ช้างไม่ยอมรับลูก ลูกช้างจึงได้รับการรักษาด้วยการให้พลาสมาของแม่ช้างจำนวน 1,500 ซีซี. เข้าทางหลอดเลือดและให้นมแม่เหลืองของแม่ด้วยการสอดท่อพร้อมทั้งให้น้ำนมที่ได้ปรับสูตรให้ใกล้เคียงกับนมแม่ช้าง ลูกช้างเริ่มมีอาการดีขึ้นแต่มีอาการท้องเสียและเดินกะเผลก การวินิจฉัยจากภาพรังสี พบกระดูกบาง ปลายล่างของ humerus หักจากพยาธิสภาพ (pathological fracture) และมีการพอกหนาของกระดูกใหม่ (callus formation) ตรงรอยหัก ลูกช้างมีอาการทรุดลงจึงพิจารณาทำปราณีฆาต (euthanasia) จากการชันสูตรพบว่ากระดูกบางมากจนสามารถใช้มีดตัดออกได้โดยง่าย พบ radius และ ulna ทั้งสองข้างหักแบบ greenstick หมอนรองกระดูกส่วนเอว (lumbar intervertebral disc) มีการเสื่อมและโผล่เข้าไปในช่องไขสันหลัง (spinal canal) จากการตรวจทางจุลพยาธิวิทยาพบการหนาตัวของเนื้อเยื่อเส้นใยของเยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) และมีเนื้อเยื่อเส้นใยเข้าไปแทนที่เนื้อกระดูกใน cortex และช่องว่างในไขกระดูก

การเจริญของกระดูก (Bone development)

การเจริญของกระดูกในระยะ fetus ส่วนใหญ่จะเป็นการเจริญจากกระดูกอ่อนที่เรียกว่า endochondral ossification โดยอาศัยศูนย์เริ่มสร้างกระดูกปฐมภูมิ (primary ossification center) และศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิ (secondary ossification center) กระดูกเหล่านี้ได้แก่ กระดูกแกนลำตัว กระดูกชนิดยาว (long bone) และกระดูกบางส่วนของกะโหลก เป็นต้น ส่วนกระดูกอื่นๆ เช่น กระดูกส่วนใหญ่ของกะโหลกและขากรรไกร จะเจริญมาจากแผ่นเนื้อเยื่อบางของเนื้อเยื่อคอนเนคทีฟ (connective tissue) ที่เรียกว่า intramembranous ossification สำหรับกระดูกชิ้นยาวนั้น การเจริญเพิ่มความยาวจะเจริญจากกระดูกอ่อน ส่วนการเจริญเพิ่มความกว้างจะเจริญจากเยื่อหุ้มกระดูก เรียกว่า appositional bone growth

ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกปฐมภูมิ

ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกปฐมภูมิของกระดูกชนิดยาวส่วนใหญ่จะปรากฏขณะสัตว์อยู่ในท้องแม่ โดยเริ่มแรกเป็นกระดูกอ่อนอยู่ที่ตรงกลางลำกระดูก แล้วขยายขนาดโตขึ้นจนมีแคลเซียมมาเกาะ (calcification) ที่เนื้อพื้น (matrix) เซลล์กระดูกอ่อนจะถูกดูดซึมกลายเป็นโพรงไขกระดูกปฐมภูมิ (primary marrow cavity) แล้วมีการสร้างกระดูกบนแกนของกระดูกอ่อนที่เหลือเกิดเป็นกระดูกฟองน้ำ (spongy bone) ที่ปลายทั้งสองข้างของโพรงไขกระดูก โดยคงเหลือส่วนของแผ่นกระดูกอ่อนปิดที่ปลายทั้งสองของกระดูกฟองน้ำ ซึ่งแผ่นกระดูกอ่อนจะเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเพิ่มความยาวของกระดูกใน

ภายหลัง ขณะเดียวกันก็จะมีกระดูกเนื้อแน่น (compact bone) ถูกสร้างจากเยื่อหุ้มกระดูกเป็นผนังกระดูก (cortex) ล้อมรอบศูนย์การเกิดกระดูกปฐมภูมิ

ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิ

ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิที่ epiphysis ของปลายกระดูกทั้งสองข้าง ส่วนใหญ่จะปรากฏในลูกสัตว์ใกล้คลอดหรือหลังคลอด โดยเจริญแบบมีการสร้างกระดูกขึ้นแทนที่กระดูกอ่อน แล้วขยายขนาดแทนที่กระดูกอ่อนมากขึ้นเรื่อยๆ จนเหลือกระดูกอ่อนทางด้านข้อต่อเป็นกระดูกอ่อนผิวข้อ (articular cartilage) และด้านลำกระดูกเป็น physis คั่นระหว่าง epiphysis และ metaphysis ซึ่ง physis จะยังคงอยู่เพื่อการเจริญเพิ่มความยาวของกระดูกชนิดยาวจนกว่าสัตว์จะโตเต็มวัย แผ่นกระดูกอ่อนนี้จึงหายไป เหลือเป็นแนวกระดูกเชื่อมต่อระหว่าง epiphysis กับ metaphysis ของลำกระดูก

การเจริญเต็มขั้นของกระดูก (Skeletal Maturation)

การเจริญเติบโตของร่างกายตั้งแต่แรกเกิดจนโตเต็มวัยจะเหมาะสมกับอายุหรือไม่ สามารถวิเคราะห์ได้จาก น้ำหนักตัว ส่วนสูงและการเจริญเต็มขั้นของกระดูก อย่างไรก็ตาม ทั้งน้ำหนักตัวและส่วนสูง ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วัดการเจริญเติบโต เนื่องจากปัจจัยทั้งสองสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอาหารและสุขภาพของร่างกาย ดังนั้น การเจริญเต็มขั้นของกระดูกซึ่งสัมพันธ์กับการเจริญของร่างกาย จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการวัดการเจริญเติบโตในช่วงที่อายุน้อย

การเจริญเต็มขั้นของกระดูก เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับทุกส่วนของโครงกระดูกทั่วร่างกาย โดยเปลี่ยนจากเนื้อเยื่อเส้นใย (fibrous tissue) และกระดูกอ่อนไปเป็นกระดูกอย่างต่อเนืองตั้งแต่แรกเกิดจนโตเต็มวัยได้เป็นกระดูกที่สมบูรณ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

- ระยะที่ 1 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกปฐมภูมิเปลี่ยนจากกระดูกอ่อนเป็นกระดูกที่ diaphysis ของกระดูกชนิดยาวซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่อยู่ในท้องแม่
- ระยะที่ 2 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิเปลี่ยนจากกระดูกอ่อนเป็นกระดูกที่ epiphysis ของกระดูกชนิดยาวซึ่งเกิดขึ้นก่อนหรือหลังคลอดเล็กน้อย
- ระยะที่ 3 การเชื่อมติดกันของกระดูก (bony fusion) คือส่วน epiphysis เชื่อมต่อกับ metaphysis ตรงแนว physis เมื่อสัตว์โตเต็มวัย

ดังนั้น การประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกจากภาพรังสี จึงนับจากการปรากฏของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิที่ epiphysis ตั้งแต่แรกเกิด แล้วมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดจนกระทั่ง epiphysis เชื่อมต่อกับ metaphysis ของลำกระดูก และแนว physis หายไปเมื่อสัตว์โตเต็มวัย

การเจริญเต็มขั้นของกระดูกในมนุษย์มักศึกษาจากกระดูกข้อมือและมือ โดยการเปรียบเทียบระหว่างอายุกระดูก (bone age) กับอายุจริง (chronological age) (อนันต์, 2528) สำหรับวิธีประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกนั้นมีด้วยกันหลายวิธี (Graham, 1972) คือ

1. Atlas methods เป็นการถ่ายภาพรังสีของกระดูกแต่ละส่วนในแต่ละช่วงอายุเพื่อทำนายอายุของกระดูกและอายุจริง
2. Oxford and Tanner-Whitehouse systems เป็นการสร้างระบบในการให้คะแนนการเจริญของกระดูกแต่ละส่วนที่สัมพันธ์กับอายุจริง
3. Measurement methods เป็นการวัดความยาวของกระดูกโดยตรง แล้วหาอัตราส่วนการเจริญของกระดูก
4. Pictographic and other approaches เป็นการถ่ายภาพวาดลายเส้นหรือภาพคอมพิวเตอร์ของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกในการทำนายช่วงอายุของกระดูกโดยเทียบกับอายุจริง
5. Counting centers method เป็นการประเมินการพัฒนาของกระดูกจากการนับจำนวนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกโดยเทียบกับช่วงอายุจริง
6. Estimation of fetal maturity เป็นการประมาณการเจริญอย่างสมบูรณ์ของ fetus โดยการวัดขนาดของกะโหลกและกระดูกสันหลัง และความกว้าง ความยาว และความหนาของกระดูกรยางค์
7. Prediction of correction for limb length discrepancy เป็นการทำนายอายุของกระดูกจากความไม่เท่ากันของความยาวของกระดูกรยางค์
8. Prediction of adult height เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับการเจริญเต็มขั้นของกระดูกในการทำนายอายุกระดูก
9. Prediction of Menarche เป็นวิธีประมาณอายุกระดูกจากกระยะเริ่มแรกของการมีประจำเดือนเนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกันระหว่างอายุของกระดูกและการเชื่อมปิดของ phalanges ส่วนปลายกับเวลาที่มีประจำเดือนครั้งแรก
10. Scoliosis management เป็นวิธีวัดการเจริญเต็มขั้นของกระดูกสันหลังโดยดูจากการจัดเรียงตัวและการเชื่อมปิดของกระดูกสันหลัง

ส่วนการประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกในสัตว์นั้น มีรายงานการศึกษาในหลายรูปแบบ เช่น การแปลผลจากภาพรังสีและการวัดการเพิ่มความยาวของกระดูกโดยตรง ซึ่งวิธีเก็บตัวอย่างในสัตว์นั้น มักศึกษาจากสัตว์ที่อายุต่างๆ กันหรือศึกษาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัตว์แรกเกิดจนถึงอายุใดอายุหนึ่ง ดังนี้

1. การประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกจากภาพรังสี

1.1 การศึกษาในสัตว์ที่อายุต่างๆกัน (latitudinal study)

Calzada และ Aguilar (1996) ได้ศึกษาการเจริญเต็มขั้นของกระดูกส่วน flipper จากภาพรังสี ในโลมา (Mediterranean Striped Dolphin : *Stenella coeruleoalba*) โดยใช้เครื่องเอกซเรย์แบบหิ้ว ถ่ายภาพรังสีบริเวณ flipper ของโลมาจำนวน 98 ตัวที่เสียชีวิต โดยประมาณอายุโลมาจากชุดฟัน แล้วแปลผลการเจริญเต็มขั้นของกระดูกแต่ละส่วนจากภาพรังสี โดยแบ่งการเจริญเป็น 7 ระดับขั้น (stage) ดังนี้

- ระดับ 0 ไม่ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิ
- ระดับ 1 ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิแต่มีขนาดน้อยกว่า 50% ของความกว้างของลำกระดูก
- ระดับ 2 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิมีขนาดระหว่าง 50-100% ของความกว้างของลำกระดูก
- ระดับ 3 ระยะห่างระหว่าง epiphysis และ metaphysis ของกระดูกเริ่มที่จะแคบลง
- ระดับ 4 physis ระหว่าง epiphysis และ metaphysis เริ่มที่จะเชื่อมปิด
- ระดับ 5 physis เชื่อมปิดอย่างสมบูรณ์และแนวของ physis มีลักษณะที่บรังสี (radiodense) ตลอดความกว้างของกระดูก
- ระดับ 6 มีการปรับรูป (remodeling) บริเวณ physis จนไม่พบแนว physis หรือพบน้อยกว่า 50%

ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ส่วน distal radius และ distal ulna ใช้ประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกได้ดี และพบว่ากระดูกส่วน flipper มีการเจริญเต็มขั้นภายใน 5-6 ปีและ 8-9 ปี โดยมีขนาดลำตัวยาว 160-175 เซนติเมตรและ 170-181 เซนติเมตรในโลมาเทศเมียมและเทศผู้ ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาในม้า Ruohoniemi และคณะ (1993) ได้ประเมินการสร้างกระดูก (ossification) ของกระดูกอ่อน collateral ของ phalanx ที่ 3 ในม้า (Finn horses) จำนวน 462 ตัว โดยนำภาพรังสีมาแบ่งระดับการเจริญของกระดูกเป็น 6 เกรด คือ

- เกรด 0 กระดูกอ่อน collateral แยกจาก sidebone ชัดเจน (ไม่ปรากฏ ossification)
- เกรด 1 มีการสร้างกระดูกเล็กน้อยที่กระดูกอ่อน collateral แต่ส่วนใหญ่ยังเป็นกระดูกอ่อน
- เกรด 2 มีการสร้างกระดูกเพิ่มมากขึ้นที่ฐานของกระดูกอ่อนในระดับของข้อต่อระหว่างกระดูกนิ้วส่วนปลาย
- เกรด 3 มีการสร้างกระดูกมากขึ้นปานกลางในระดับของ navicular bone ส่วนบน
- เกรด 4 มีการสร้างกระดูกเจริญดีมากในระดับที่เหนือ navicular bone แต่ยังคงสร้างเฉพาะส่วนครึ่งท้ายของ phalanx ที่ 2
- เกรด 5 มีการสร้างกระดูกเฉพาะส่วนครึ่งบนของ phalanx ที่ 2

จากการศึกษาอัตราการเจริญของกระดูกม้าทั้ง 462 ตัว พบว่ามีกระดูกอยู่ในเกรด 0, 1 – 2, 3 และ 4 – 5 จำนวน 22.9, 49.1, 10.2 และ 17.8% ตามลำดับ

Adams และ Thilsted (1985) ได้อธิบายลักษณะที่ปรากฏของข้อเข่า (stifle joint) ในลูกม้าตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 6 เดือน จำนวน 74 ข้อเข่า โดยแบ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ femoral trochlear ridge และ patella ออกเป็น 4 เกรด (รูปที่ 8) คือ

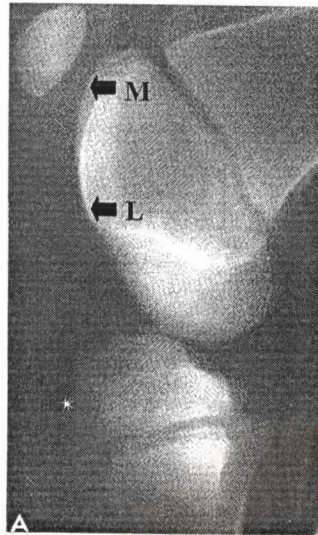
- เกรด 1 รูปร่างเรียบสม่ำเสมอ
- เกรด 2 รูปร่างขรุขระเล็กน้อย
- เกรด 3 รูปร่างขรุขระปานกลาง
- เกรด 4 รูปร่างขรุขระมาก

ผลการศึกษาพบว่า ลูกม้าอายุ 0 – 20 สัปดาห์ มี medial femoral trochlear ridge อยู่ในเกรด 3 และ 4 แสดงว่า การพบ femoral trochlear ridge ที่มีรูปร่างขรุขระในลูกม้าอายุต่ำกว่า 20 สัปดาห์ ถือว่าเป็นปกติ แต่ถ้าพบในม้าโตอาจเกิดจากพยาธิสภาพได้

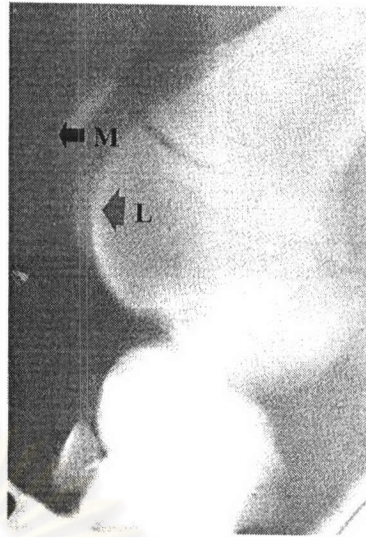
Soana และคณะ (1998) ได้ศึกษาการสร้างกระดูก (osteogenesis) ของ carpus และ tarsus ในม้าระยะ fetus จากภาพรังสีและลักษณะทางกายวิภาคที่ปรากฏ เพื่อหาเวลาในการปรากฏของ carpus และ tarsus สำหรับประมาณอายุของ fetus โดยศึกษาจาก fetus 140 ตัว (เพศผู้ 71 ตัวและเพศเมีย 69 ตัว) ดังนี้

1. วัดความยาวของ crown-rump length จากจุดที่สูงที่สุดบริเวณศีรษะไปถึงส่วนท้ายของลำตัวบริเวณโคนหาง
2. วัดความยาวของ diaphysis ของ metacarpus ที่ 3 และ metatarsus ที่ 3 จากภาพรังสี
3. ระยะห่างจาก occipital crest ไปยัง labial tip ของกระดูก incisor จากภาพรังสี
4. ลักษณะการพัฒนาของฟันจากภาพรังสี

Medial trochlear ridge
(M) : เกรด 2
Lateral trochlear ridge
(L) : เกรด 1



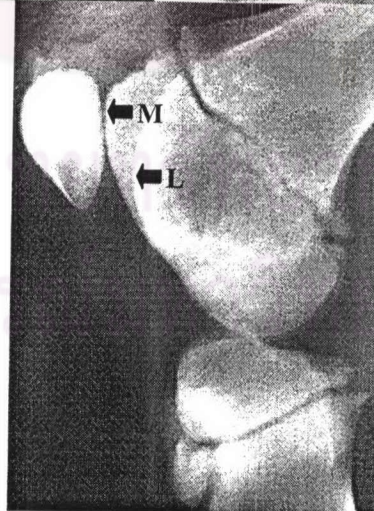
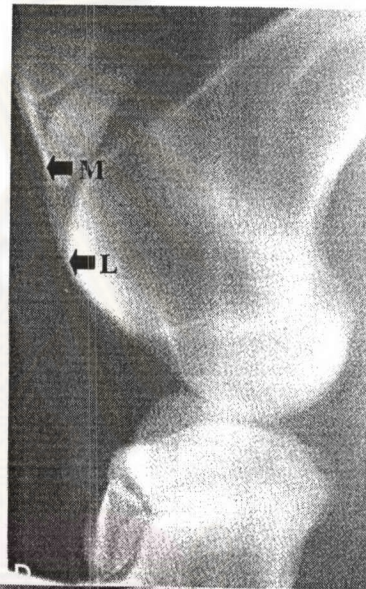
Medial trochlear ridge
(M) : เกรด 3
Lateral trochlear ridge
(L) : เกรด 2



Medial trochlear ridge
(M) : เกรด 1
Lateral trochlear ridge
(L) : เกรด 2



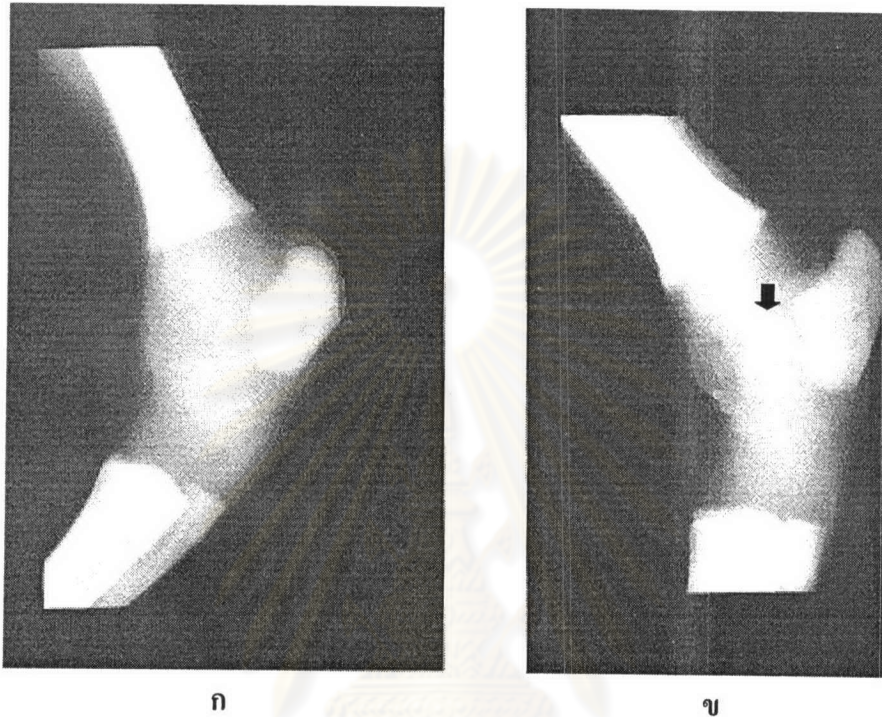
Medial trochlear ridge
(M) : เกรด 1
Lateral trochlear ridge
(L) : เกรด 1



Medial trochlear ridge
(M) : เกรด 4
Lateral trochlear ridge
(L) : เกรด 3

รูปที่ 8 ภาพรังสีข้อเข่าลูกม้าแสดงลักษณะรูปร่างของ trochlear ridge ทั้ง 4 เกรด
(Adams and Thilsted, 1985)

จากการศึกษาพบว่ากระดูกแต่ละชิ้นของ carpus และ tarsus ได้เริ่มปรากฏขึ้นในช่วงอายุที่ต่างกัน คือ accessory, radial, intermediate, ulna และ carpus ที่ 2 – 4 ได้เริ่มปรากฏเมื่อ fetus อายุ 254, 274, 274 - 278 , 310 และ 280-310 วัน ตามลำดับ สำหรับ tarsus นั้น ส่วน calcaneus, astragalus และ central tarsus ที่ 1 – 4 ได้ปรากฏเมื่อ fetus อายุ 125, 220 – 260 และ 280-320 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 9 ภาพรังสีของ tarsus ในท่า mediolateral ในม้าระยะ fetus อายุ 220 วัน (ก) และ 260 วัน ซึ่งปรากฏ astragalus (ศรชี้) (ข) (Soana et al., 1998)

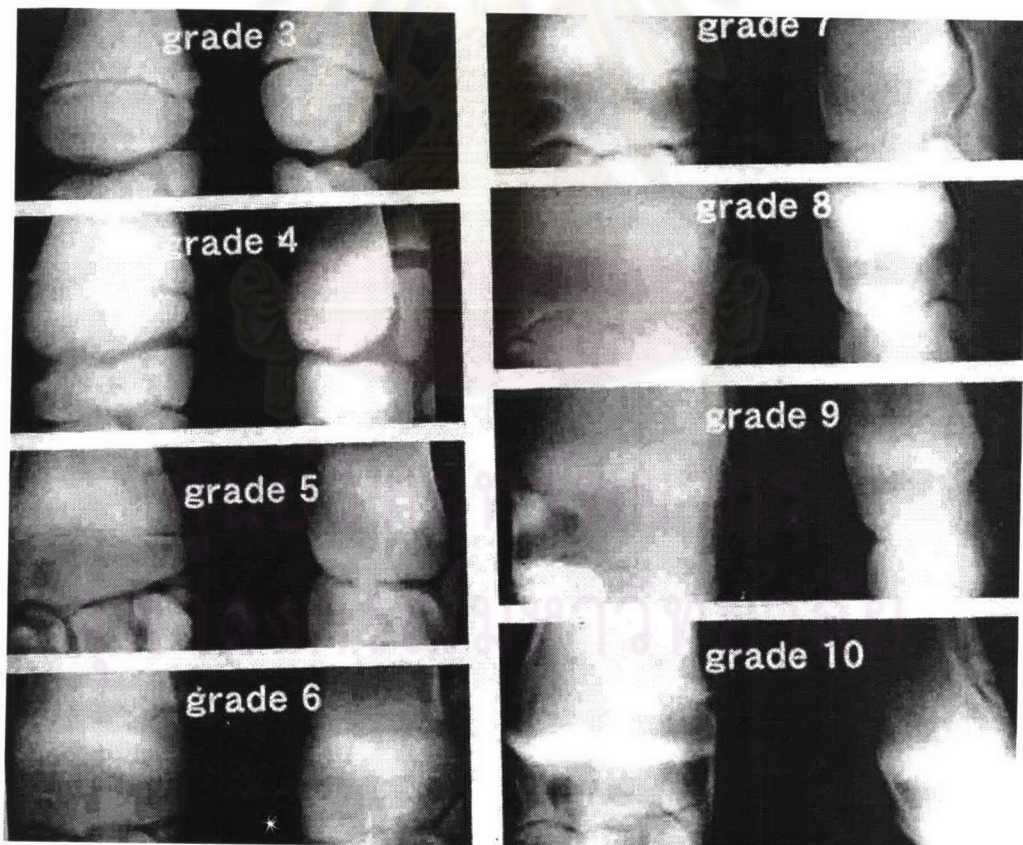
1.2 การศึกษาแบบต่อเนื่อง (longitudinal study)

ในการศึกษาแบบต่อเนื่องตั้งแต่แรกเกิดจนโตเต็มวัยโดยใช้ภาพรังสีนั้น Oishi และคณะ (1996) ได้ศึกษาการเจริญเต็มขึ้นของกระดูกในวัว (Japanese black beef cattle) จากภาพรังสีของ distal radius, distal ulna, distal metacarpus, proximal phalanx และ tuber calcanei โดยจัดแบ่งระดับการเจริญเต็มขึ้นของกระดูกเป็น 11 เกรด ดังนี้

- เกรด 0 ไม่ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิ
- เกรด 1 ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิขนาดเล็กกลม
- เกรด 2 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่รูปร่างคงเดิม
- เกรด 3 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิเริ่มมีลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนไป

- เกรด 3 ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิเริ่มมีลักษณะรูปร่างที่เปลี่ยนไป
- เกรด 4 เริ่มปรากฏลักษณะโครงสร้างที่แน่นอนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิ
- เกรด 5 ความกว้างของ epiphysis เท่ากับ metaphysis
- เกรด 6 มีการเหลื่อมกันของขอบของ epiphysis และ metaphysis ที่เรียก capping และรูปร่างของ epiphysis เริ่มชัดเจน แต่ยังเห็นเป็นช่องว่างระหว่าง epiphysis และ metaphysis
- เกรด 7 มีการเชื่อมกันบางส่วนระหว่าง epiphysis กับ metaphysis
- เกรด 8 มีการเชื่อมกันระหว่าง epiphysis กับ metaphysis มากเกินกว่าครึ่งหนึ่ง
- เกรด 9 มีการเชื่อมกันระหว่าง epiphysis กับ metaphysis ค่อนข้างสมบูรณ์ แต่ยังเห็นแนวของ physis
- เกรด 10 พบแนว physis น้อยมากหรือไม่พบเลย และ physis ปิดอย่างสมบูรณ์

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่ากระดูกแต่ละส่วนมีระดับการเจริญเต็มขั้นที่ต่างกัน เป็นต้นว่า distal radius ในวัวตั้งแต่แรกเกิดจนโตเต็มวัยมีการเจริญเต็มขั้นทั้งหมด 8 เกรด คือ เกรด 3 ถึงเกรด 10 (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 ภาพรังสีของ distal radius ในวัวแสดงระดับการเจริญเต็มขั้นทั้ง 8 เกรดตั้งแต่แรกเกิดจนโตเต็มวัย (Oishi et al., 1996)

ส่วนการศึกษาในม้า Vulcano และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเชื่อมปิดของแนว physis ที่ distal radius จากภาพรังสีในม้า (thoroughbred horse) เพศผู้ 10 ตัวและเพศเมีย 10 ตัว ตั้งแต่อายุ 16 เดือน จนกระทั่ง physis ปิด โดยถ่ายภาพรังสีอย่างต่อเนื่องทุกๆ 30 วัน แล้วแปลผลภาพรังสีแยกเป็น 3 เกรด คือ

เกรด A มีการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis อย่างสมบูรณ์

เกรด B มีการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis บริเวณตรงกลางเท่านั้น (central fusion)

เกรด C ยังไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis

จากผลการศึกษาพบว่า การเชื่อมปิดของ physis ในม้าเพศเมีย (701 ± 37 วัน) เร็วกว่าเพศผู้ (748 ± 55 วัน) ส่วน MacCallum และคณะ (1978) ได้ประมาณการเจริญเต็มขั้นของกระดูกม้าที่กำลังเติบโตโดยเปรียบเทียบลักษณะที่เห็นด้วยตาเปล่า (macroscopic) กับลักษณะที่ปรากฏในภาพรังสีอย่างต่อเนื่องของ scapula, humerus, radius, ulna, carpus, metacarpus, phalanges, femur, patella, tibia, fibula, tarsus และ metatarsus โดยแบ่งระดับการเจริญออกเป็น 9 เกรด คือ

เกรด 0 ไม่ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกหรือไม่ปรากฏเค้าโครงกระดูกอ่อน (cartilaginous model)

เกรด 1 ปรากฏเค้าโครงกระดูกอ่อนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูก

เกรด 2 เค้าโครงกระดูกอ่อนบางส่วนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกถูกแทนที่ด้วยกระดูกและไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis

เกรด 3 เค้าโครงกระดูกอ่อนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกถูกแทนที่ด้วยกระดูกมากขึ้นและไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis

เกรด 4 เค้าโครงกระดูกอ่อนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกถูกแทนที่ด้วยกระดูกเกือบสมบูรณ์และไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis

เกรด 5 เค้าโครงกระดูกอ่อนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกถูกแทนที่ด้วยกระดูกอย่างสมบูรณ์และไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis และ metaphysis

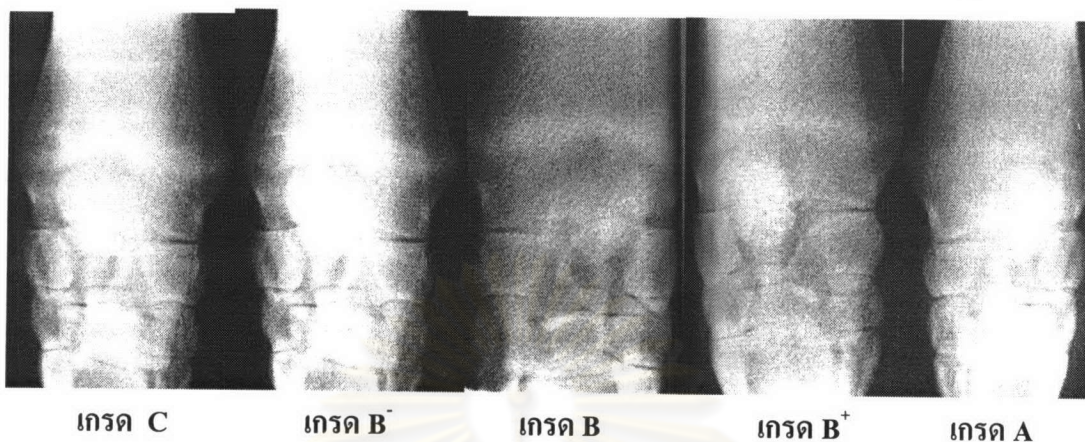
เกรด 6 epiphysis เชื่อมกันบางส่วนกับ metaphysis

เกรด 7 epiphysis เชื่อมกับ metaphysis อย่างสมบูรณ์

เกรด 8 เค้าโครงกระดูกอ่อนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกถูกแทนที่ด้วยกระดูกเกือบสมบูรณ์และ epiphysis เชื่อมกับ metaphysis เพียงบางส่วน (เกรดนี้ใช้ประเมินเฉพาะกับ accessory carpus)

Gabel และคณะ (1977) ได้เปรียบเทียบการเชื่อมปิดของ physis ที่ distal radius ในม้ากลุ่มที่ปกติและกลุ่มที่เคยบาดเจ็บ โดยถ่ายภาพรังสีตั้งแต่ม้าอายุ 2 ปี แล้วถ่ายต่อเนื่องทุกๆ 60 วัน จนกระทั่ง physis ปิด แล้วแปลผลจากภาพรังสี โดยแบ่งระดับการเจริญของกระดูกเป็น 5 เกรด จากเกรด C ที่ physis ยัง

เปิดกว้างอยู่จนถึงเกรด A ที่ physis ปิดสมบูรณ์แล้ว (รูปที่ 11) จากผลการศึกษาพบว่า physis ที่ distal radius จะเชื่อมปิดเมื่อมามีอายุเฉลี่ย 29.8 ± 1.7 เดือน



รูปที่ 11 ภาพรังสี distal radius ในม้าแสดงลักษณะที่แตกต่างกันของเกรดที่ใช้ประเมินการเจริญเต็มขั้น (Gabel et al., 1977)

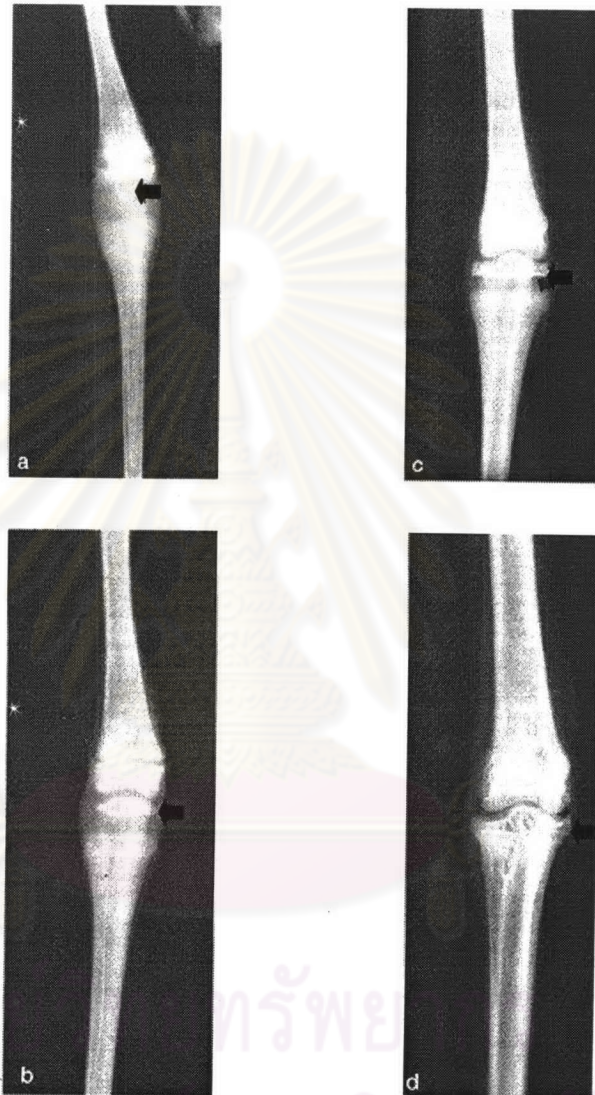
Mason และ Bourke (1973) ได้ศึกษาการเชื่อมปิดของ physis ที่ distal radius ในม้า 100 ตัวจากภาพรังสี โดยถ่ายภาพรังสีทุกๆ 3 เดือน จำนวน 3 ครั้ง ในม้าอายุ 23 – 30 เดือน และแบ่งระดับการเจริญเต็มขั้นของกระดูกเป็น 3 เกรด คือ

- O (open) แนว physis มีลักษณะโปร่งรังสี (radiolucent line) กว้างและเป็นคลื่น
- I (intermediate) แนว physis มีลักษณะโปร่งรังสีและมีขนาดแคบลง
- C (closed) แนว physis เริ่มมีลักษณะที่รังสีของ physal scar

การศึกษการเจริญเต็มขั้นของกระดูกในลิง (Rhesus monkey) นั้น Silverman และคณะ (1983) ได้ถ่ายภาพรังสีของกระดูกยาวอย่างต่อเนื่องตามช่วงอายุในลิง 28 ตัว ซึ่งเริ่มที่อายุ 175 วัน โดยศึกษาศูนย์เริ่มสร้างกระดูกของ acetabular bones, tuber calcanei, femoral capitus, proximal radius, olecranon of ulna, distal tibia, proximal fibula, distal femur, distal fibula, proximal tibia, proximal humerus, tibial tuberosity, distal ulna และ distal radius โดยใช้ภาพรังสีอธิบายการเจริญของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกและบันทึกระยะเวลาการเชื่อมปิดของแนว physis ในแต่ละกระดูก พบว่าการเชื่อมปิดของ physis อย่างสมบูรณ์มีระยะเวลา 7.3 และ 7.2 ปี ในลิงเพศผู้และเพศเมีย ตามลำดับ

ส่วนในสัตว์ปีก Naldo และคณะ (1998) ใช้ภาพรังสีอธิบายการเจริญของ proximal tibiotarsus, distal tibiotarsus, proximal tarsometatarsus และ proximal metacarpus ที่ 3 ในนก bustard (นกกลุ่ม

เดียวกับนกกระสา) โดยถ่ายภาพรังสีอย่างต่อเนื่องแล้วบันทึกเวลาในการปรากฏของศูนย์เริ่มสร้างกระดูก ทุติยภูมิและเวลาในการเชื่อมปิดของแนว physis ในแต่ละกระดูกที่ศึกษา ซึ่งพบว่า proximal tibiotarsus มีการเจริญเต็มขั้นช้าที่สุดคือ ศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุติยภูมิจะปรากฏเมื่อนกมีอายุ 111-201 วันและแนว physis เชื่อมปิดที่อายุ 219-298 วัน (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 ภาพรังสีศูนย์เริ่มสร้างกระดูกของ proximal tibiotarsus (ศรชี้) ในนก bustard ที่อายุ 50 วัน (a), 78 วัน (b), 134 วัน (c) และ 219 วัน (d) (Naldo et al., 1998)

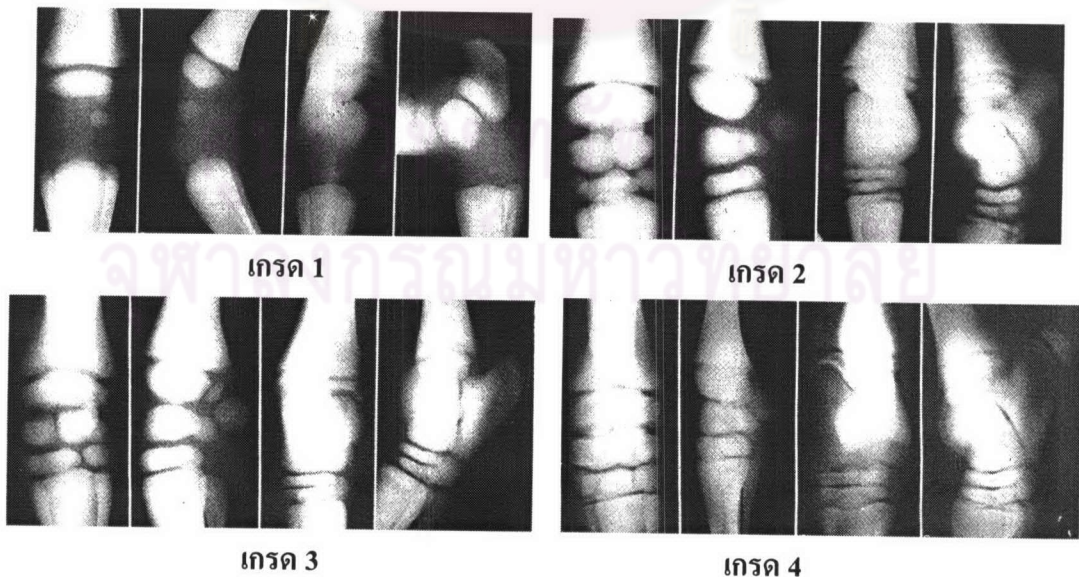
นอกจากนี้ Naldo และคณะ (2000) ยังได้วิเคราะห์อัตราการเจริญของกระดูกอ่อนยาวในนก bustard จากภาพรังสี โดยถ่ายภาพรังสีต่อเนื่องในนก 29 ตัว ภายหลังจากการวางยาสลบ นกทั้งหมดถูกขัง น้ำหนักก่อนที่จะถ่ายภาพรังสี แล้วทำการถ่ายภาพรังสีทุกสัปดาห์ตั้งแต่แรกเกิดจนกระดูกเจริญเต็มขั้น วัดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของกระดูกจากภาพรังสีโดยใช้ vernier caliper เพื่อเปรียบเทียบอัตราการ

เจริญของกระดูกในแต่ละวัน จากผลการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญของ tarsometatarsus และ tibiotarsus ในนก bustard เหมือนกับของไก่เลี้ยงและนกที่มีขายาวบางชนิด

Adams และ Poulos (1988) ได้กำหนด SOI ซึ่งเป็นดัชนีการสร้างกระดูก (skeletal ossification index) สำหรับลูกม้าที่เกิดใหม่ เพื่อใช้ประเมินสภาพรังสีของ carpus และ tarsus ในลูกม้าอายุน้อยกว่า 2 สัปดาห์ โดยแบ่งระดับการสร้างกระดูกของ cuboidal bone เป็น 4 ระดับ (รูปที่ 13) คือ

- เกรด 1 ไม่ปรากฏการสร้างกระดูก
- เกรด 2 ปรากฏการสร้างกระดูกเป็นบางกระดูก (ไม่พบกระดูก carpus ที่ 1, proximal physis ของ metacarpus และ metatarsus ที่ 3 ยังคงเปิดอยู่และ lateral styloid process ของ distal radius รวมทั้งส่วนของ malleoli ของ tibia ยังไม่ปรากฏ)
- เกรด 3 ปรากฏการสร้าง cuboidal bone แต่ยังมีขนาดเล็กและขอบกลม ช่องว่างของข้อต่อยังคงกว้างและ physis ของ proximal metacarpus และ proximal metatarsus ที่ 3 ปิดแล้ว
- เกรด 4 พบลักษณะของเกรด 3 และ cuboidal bone มีรูปร่างเหมือนกับที่พบในม้าโตเต็มวัย ส่วนช่องว่างของข้อต่อยังคงกว้างอยู่

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในลูกม้า 24 ตัวซึ่งมีอายุการตั้งท้องที่แตกต่างกัน (297-374 วัน) จากผลการศึกษาไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง SOI กับเพศ แต่มีความสัมพันธ์ระหว่าง SOI กับน้ำหนักตัวและ SOI กับระยะการตั้งท้อง ยกเว้นในลูกม้า 10 ตัวที่มีอายุการตั้งท้องน้อยกว่า 320 วันที่ความสัมพันธ์ระหว่าง SOI กับระยะการตั้งท้องไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 13 ภาพรังสีแสดงระดับการสร้างกระดูกของ cuboidal bone ในลูกม้า (Adams and Poulos, 1988)

การศึกษาในสัตว์ชนิดอื่นๆ นั้น Mgasas และ Arnbjerg (1993) ใช้ภาพรังสีอธิบายการเจริญของ tarsus ในแพะ (West African Dwarf Goat) ช่วงหลังคลอด โดยถ่ายภาพรังสีตั้งแต่ช่วงสัปดาห์แรกของอายุ และที่อายุ 3, 6, 9, 16, 23, 28, 37 และ 46 สัปดาห์ พบว่า talus, tarsi centrale (Tc) และ tarsus ที่ 1-4 พบตำแหน่งสร้างกระดูกเพียงตำแหน่งเดียว ส่วน calcaneus พบ 2 ตำแหน่ง และพบว่าการเชื่อมกันของ locus ของ T2 และ T3 เริ่มเกิดที่อายุ 3 สัปดาห์ ส่วนการเชื่อมกันระหว่าง T2+T3 กับ Tc เกิดที่อายุ 23 สัปดาห์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่า tarsus ของแพะมีความแตกต่างไปจากของโคและแกะ

Wenham และคณะ (1986) ได้ศึกษาการเจริญและพัฒนาของกระดูกจากภาพรังสีในกวาง (red deer) ระยะ fetus โดยการวัดความยาวของกระดูกจากภาพรังสี ในกวาง 17 ตัวซึ่งมีอายุการตั้งท้องตั้งแต่ 72 ถึง 224 วัน พบว่าน้ำหนักของ fetus ที่ 75 วันของการตั้งท้องเท่ากับ 44 กรัมและเพิ่มขึ้นประมาณ 6.9% ต่อวันและที่อายุ 233 วัน fetus มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม โดยมีอัตราการเจริญ 1.23% ต่อวัน ส่วนกระดูกปลายขาบริเวณ metacarpus และ metatarsus มีอัตราการเจริญสูงกว่ากระดูกส่วนต้นขา

Pyke (1966) ได้ศึกษาการวัดอัตราการเจริญเต็มขั้นของกระดูกในหนูจากภาพรังสีของข้อเท้าหน้า ส่วน metacarpus และ phalanges โดยแบ่งระดับการเจริญเต็มขั้นของกระดูกเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ระดับที่ 1 ไม่พบการเชื่อมกันของ epiphysis กับกระดูกชิ้นยาว จนถึงระดับที่ 5 ที่มีการเชื่อมกันของ epiphysis กับกระดูกชิ้นยาวอย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการวัดจากภาพรังสีนี้มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีทางจุลพยาธิวิทยาเนื่องจากสามารถกระทำได้อต่อเนื่องในสัตว์ตัวเดียวกัน

Wrathall และคณะ (1974) ใช้ภาพรังสีอธิบายการพัฒนาของกระดูกขาในสุกรระยะ fetus โดยถ่ายภาพรังสีทุกๆ 5 วัน ตั้งแต่ fetus อายุ 35 วันจนลูกสุกรอายุ 1 เดือนหลังคลอด เพื่อเปรียบเทียบโครงกระดูกขาในสุกร 502 ตัว โดยทำการวัดความยาวของ diaphysis ที่มีแคลเซียมเกาะแล้ว (humerus, radius, ulna, metacarpus ที่ 3 และ 4, femur, tibia และ metatarsus ที่ 3 และ 4 และนับจำนวนของศูนย์เริ่มสร้างกระดูก บันทึกเวลาที่ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูก เพื่อศึกษาลำดับการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับของกระดูกปลายขา แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าสามารถใช้ความยาวของ diaphysis ในการประมาณอายุการเจริญของกระดูกได้

Morgan (1965) ได้ศึกษา distal ulna จากภาพรังสีในม้าพันธุ์ Quarter, Thoroughbred และพันธุ์ผสมจำนวน 85 ตัว อายุตั้งแต่ 22 วันจนถึง 30 ปี พบว่ามีม้า 28 ตัวจากม้า 50 ตัวที่สามารถแปลผลจากภาพรังสีได้มีรูปร่างของ distal ulna เหมือนกันทั้งด้าน craniocaudal และ lateromedial และรูปร่างของ distal ulna ที่เกิดการสร้างกระดูกแล้ว (ossified) แตกต่างกันไปหลายรูปร่าง

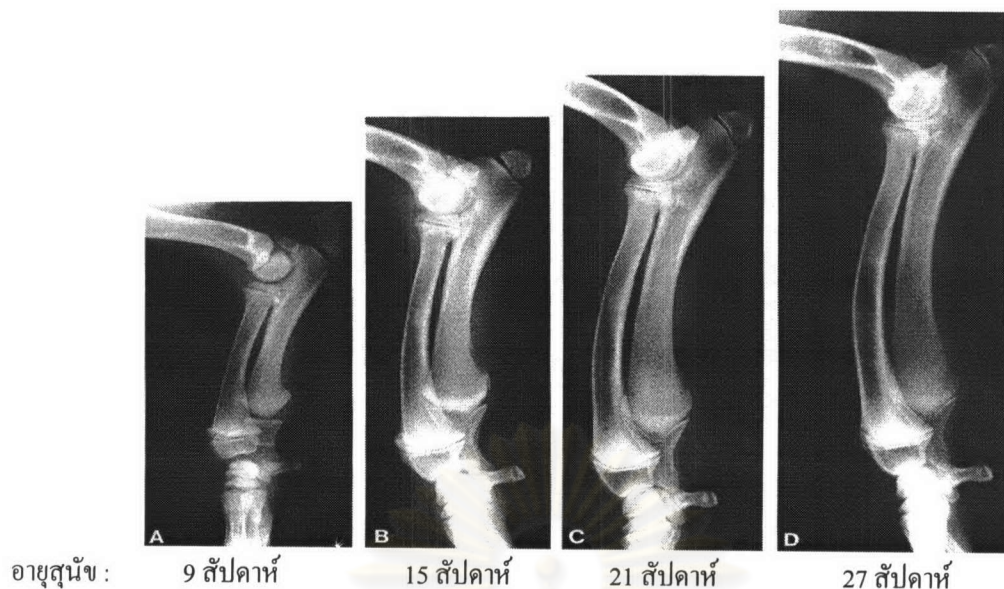
Chapman (1965) ใช้การถ่ายภาพรังสีเพื่อศึกษาการปรากฏของศูนย์เริ่มสร้างกระดูกและการเชื่อมปิดของแนว physis ในสุนัขพันธุ์บีเกิลเพศเมีย 3 ตัวและเพศผู้ 4 ตัว โดยถ่ายภาพรังสีทุกๆ 3 วัน ตั้งแต่ลูกสุนัขอายุ 1 วันถึง 2 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงถ่ายภาพรังสีทุกสัปดาห์จนกระทั่งสุนัขอายุ 194 วัน แล้วถ่ายภาพรังสีต่อเนื่องทุกๆ 2 สัปดาห์จนกระทั่งสิ้นสุดการศึกษา พบว่า epiphysis ของ distal radius, distal ulna, distal tibia และ distal fibula ปรากฏศูนย์เริ่มสร้างกระดูกทุกตัวเมื่ออายุ 25, 45, 25 และ 38 วัน ตามลำดับ และ physis เชื่อมปิดเมื่อสุนัขมีอายุ 222-250 วัน

Sumner-smith (1966) ได้ประมาณการเจริญของกระดูกจากภาพรังสีในสุนัข 2 กลุ่ม เพื่อเปรียบเทียบวิธีการศึกษาข้อมูล คือ กลุ่มแรกศึกษาแบบอายุต่างๆ กัน (ศึกษาในสุนัขหลายตัวที่มีอายุแตกต่างกัน) และในกลุ่มที่สองศึกษาแบบต่อเนื่อง (ศึกษาในสุนัขตัวเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยเก็บข้อมูลที่อายุต่างกัน) โดยใช้ภาพรังสีอธิบายศูนย์เริ่มสร้างกระดูก และประมาณระยะเวลาในการเชื่อมกันของกระดูกขาค้างในแต่ละส่วนที่ศึกษา พบว่าการศึกษาทั้งสองรูปแบบให้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน

Voorhout และคณะ (1994) ได้ศึกษาการพัฒนาของกระดูกขาหน้าในลูกสุนัขพันธุ์เกรทเดนอายุตั้งแต่ 9-27 สัปดาห์ขึ้นไป โดยถ่ายภาพรังสี 4 ครั้ง ห่างกันครั้งละ 6 สัปดาห์ แล้วแปลผลจากการเปลี่ยนแปลงของขนาด, รูปร่าง, ความทึบแสงและโครงร่างของกระดูก โดยวัดความยาวของ radius จากตรงกลางของ proximal physis ไปยังตรงกลางของ distal physis ส่วนความยาวของ ulna นั้น วัดจาก olecranon ในตำแหน่งที่ใกล้กับ apophyseal physis ไปยัง physis ของ distal ulna โดยใช้ไม้บรรทัดโค้งในการวัดเพื่อหาค่าเฉลี่ยของความยาวของ radius และ ulna จากผลการศึกษาพบว่าความยาวของ radius ที่อายุ 9 และ 27 สัปดาห์ เท่ากับ 7.8-9.5 และ 18.2-20.3 เซนติเมตร ส่วนความยาวของ ulna เท่ากับ 10-12 และ 21.8-24.3 เซนติเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 14)

2. การประมาณการเจริญของกระดูกด้วยวิธีอื่น

Thompson (1995) ได้ศึกษาการเจริญเต็มขั้นของกระดูกม้าแบบต่อเนื่อง ตั้งแต่อายุ 14-588 วันในม้า 106 ตัว (เพศผู้ 60 ตัวและเพศเมีย 46 ตัว) โดยวิเคราะห์ส่วนสูงและความยาวของลำตัว ส่วนสูงของ knee ถึง pastern, ส่วนสูงของ hock ถึง pastern, ส่วนสูงของ hip ถึง pastern และส่วนสูงของ shoulder ถึง pastern โดยทำการวัดทุกๆ 14 วันตั้งแต่มีอายุ 14 ถึง 392 วันและทุกๆ 28 วันตั้งแต่มีอายุ 393 ถึง 588 วัน ซึ่งได้สรุปว่า รูปแบบการเจริญของกระดูกม้าสามารถอธิบายได้โดยการวัดส่วนสูงและความยาวของลำตัวเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการตรวจวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับข้อต่อและกระดูกม้า

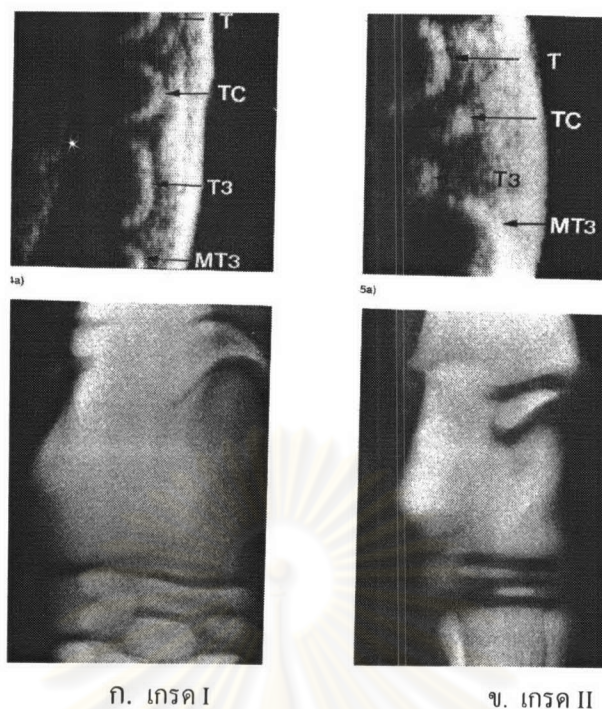


รูปที่ 14 ภาพรังสีแสดงการเจริญเพิ่มความยาวของ radius และ ulna ในสัปดาห์พันธุ์เกรทเดนอายุ 9 – 27 สัปดาห์ (Voorhout et al., 1994)

Ruohoniemi (1993) ได้ศึกษาการเจริญของศูนย์เริ่มสร้างกระดูก tarsus ในลูกม้าแรกเกิดจำนวน 10 ตัว ด้วยวิธีอัลตราซาวนด์และถ่ายภาพรังสีเพื่อเปรียบเทียบด้วย โดยแบ่งระดับการเจริญของกระดูกออกเป็น 4 เกรด คือ

- เกรด I ไม่ปรากฏ Tc (central tarsal bone) และ T3 (tarsal bone ที่ 3) และผิวของ MT3 (proximal metatarsal bone ที่ 3) ปรากฏเป็นเส้นโค้ง (รูปที่ 15 ก)
- เกรด II Tc และ T3 ปรากฏเพียงบางส่วนแต่ยังไม่เรียงตัวในแนวเดียวกันและ MT3 ปรากฏเป็นเส้นโค้ง (รูปที่ 15 ข)
- เกรด III Tc และ T3 ปรากฏชัดเจนโดยผิวกระดูกปรากฏเป็นเส้นโค้งหรือเส้นตรงและผิวของ Tc, T3 และ MT3 ยังไม่เรียงตัวในแนวเดียวกัน
- เกรด IV ผิวของ Tc และ T3 ปรากฏเป็นเส้นตรงและ Tc, T3 และ MT3 เรียงตัวชิดเป็นแนวเดียวกัน

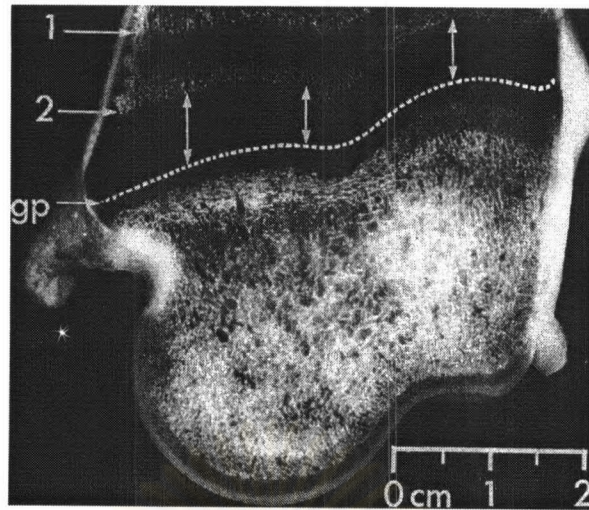
Pourlis และคณะ (1998) ได้ศึกษาศูนย์เริ่มสร้างกระดูกและอัตราการเจริญของกระดูกขาในนกกระทาช่วงก่อนการฟัก โดยวัดความยาวของ humerus, radius, ulna, femur, tibia และ fibula ผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ (stereoscopic microscope) พบว่า มีความแตกต่างของรูปแบบการเจริญของกระดูกระหว่างขาและปีก โดย humerus และ tibia มีอัตราการเจริญของกระดูกเร็วที่สุด ในขณะที่ radius และ fibula เจริญช้าที่สุด



รูปที่ 15 ตัวอย่างภาพอัลตราซาวนด์ (บน) เปรียบเทียบกับภาพรังสี (ล่าง) ของ tarsus เกรด I (ก) และ II (ข) (Ruohoniemi, 1993)

Goyal และคณะ (1981) ได้ศึกษาการเจริญของกระดูกขาในลูกม้าเพศผู้ 13 ตัว เพศเมีย 10 ตัว อายุระหว่าง 52-104 วัน โดยฉีด oxytetracycline 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรวมกับ 5% dextrose ใน normal saline เข้าทางหลอดเลือด จำนวน 2 ครั้งห่างกัน 30 วัน แล้วปรานีมาต และเก็บซากไว้ที่ความเย็น -20 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงวิเคราะห์อัตราการเจริญของ physis จากระยะห่างระหว่างเส้นเรืองแสงทั้งสองเส้นที่ปรากฏ (รูปที่ 16) พบว่า distal radius และ distal tibia มีอัตราการเจริญ 165 และ 178 ไมครอนต่อวันตามลำดับ และได้สรุปว่าอัตราการเจริญของกระดูกม้าจะสูงในกลุ่มที่อายุน้อย ขาหลังเจริญเร็วกว่าขาหน้าและเพศผู้เจริญดีกว่าเพศเมีย

ส่วนวิธีทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (nuclear medicine : scintigraphy) Uhlhorn และคณะ (2000) ได้ศึกษาลักษณะการเชื่อมปิด physis ของ distal radius ในลูกม้า 14 ตัว ซึ่งไม่มีอาการเดินกะเผลก โดยฉีด $^{99}\text{Tc-HDP}$ ซึ่งเป็นสารเภสัชรังสีเข้าทางหลอดเลือด หลังจากนั้น 2 ชั่วโมงจึงใช้กล้องอ่านรังสีแกมมา (gamma camera) ในการตรวจหาสารเภสัชรังสีที่สะสมบริเวณ physis (รูปที่ 17) โดยศึกษาอย่างต่อเนื่องทั้งหมด 6 ครั้ง จากการศึกษพบว่าหลังจากมีการเชื่อมปิดของแนว physis แล้วจะมีสารเภสัชรังสีสะสมที่บริเวณ physis ในปริมาณน้อยมาก



รูปที่ 16 ภาพตัดขวางบริเวณ physis ของ distal radius แสดงเส้นเรืองแสงที่เกิดจากการฉีด oxytetracycline ครั้งแรก (1) และครั้งที่สอง (2) และแนว physis (gp) (Goyal et al., 1981)



รูปที่ 17 ภาพ scintigraphy บริเวณ physis ของ distal radius ที่มีการสะสมของสารเภสัชรังสีในลูกม้าอายุ 22 เดือน (Uhlhorn et al,2000)