บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ป่วยมีสภาพการสบฟันที่ดีขึ้น โดยส่งเสริมประสิทธิภาพการบดเคี้ยว ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่ออวัยวะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบดเคี้ยว มีความสวยงาม และสามารถคงสภาพการสบฟันที่ดีได้ การเคลื่อนฟันเฉพาะตำแหน่ง (minor tooth movement) เป็นการจัดฟันซึ่งมีการเคลื่อนฟันจำนวนน้อยซี่ และระยะทางที่จะเคลื่อนฟันจะทำการเคลื่อนเพียงระยะสั้นๆ โดยจะใช้เครื่องมือที่ไม่ยุ่งยาก และระยะเวลาในการรักษาไม่ยาวนาน ซึ่งสามารถกระทำได้ทั้งในผู้ป่วยที่อยู่ในระยะฟันน้ำนม (primary dentition) และระยะฟันผสม (mixed dentition) ลักษณะการสบฟันผิดปกติ (malocclusion) ที่มักพบ ได้แก่ ฟันซ้อนเก (crowding) ฟันห่าง (spacing) ฟันสบคร่อม (crossbite) ฟันสบลึก (deep bite) และฟันสบเปิด (openbite) ทันตแพทย์สำหรับเด็กมักพบความผิดปกติเหล่านี้เป็นประจำ การแก้ไขสภาวะดังกล่าวจะช่วยป้องกันปัญหาที่ตามมาภายหลัง หรือสกัดกั้นไม่ให้ผู้ป่วยพัฒนาไปสู่การสบฟันที่ผิดปกติในอนาคต ทั้งนี้อาศัยการเจริญเติบโตและพัฒนาการของผู้ป่วยร่วมด้วย

การเคลื่อนฟันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (physiologic tooth movement) เป็นผลที่เกิดจากแรงบดเคี้ยว ซึ่งเป็นการปรับตัวเพื่อชดเชยการสึกทางด้านข้างของฟันที่บริเวณสัมผัส (contact area) จึงทำให้ฟันมีสัมผัสที่แน่นขึ้น ในระหว่างการเคลื่อนฟันนี้ ทำให้เกิดการละลายของกระดูกเบ้าฟันในด้านกดและการสะสมพอกเพิ่มทางด้านตึง (Sicher and Weinmann, 1944) ส่วนการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อแก้ไขการสบฟันที่ผิดปกติ (malocclusion) เป็นการเคลื่อนฟันไปสู่ตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยอาศัยแรงจากเครื่องมือกระทำบนตัวฟัน การเคลื่อนฟันชนิดนี้เป็นการเคลื่อนฟันชนิดทิปปิง (tipping movement) โดยให้แรงเป็นระยะเวลาหนึ่ง (intermittent force) ภายหลังจากได้รับแรงเคลื่อนฟัน ทำให้เกิดด้านกดและด้านตึงที่กระดูกเบ้าฟันเช่นกัน แต่เนื่องจากฟันถูกเคลื่อนด้วยแรงจากเครื่องมือ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นได้มากกว่า และสังเกตได้ชัดเจนกว่า

การศึกษาการตอบสนองของอวัยวะปริทันต์เมื่อได้รับแรงเคลื่อนฟันในมนุษย์ไม่สามารถทำได้โดยตรง จึงได้มีการศึกษาในสัตว์ทดลอง เช่น หนู (Waldo and Rothblatt, 1954; Zaki and Van Huysen, 1963; Bridges, King and Mohammed, 1988) เพื่อนำผลจากการตอบสนองทางจุลกายวิภาคของอวัยวะปริทันต์มาอ้างอิงถึงมนุษย์ หนูเป็นสัตว์ทดลองที่มีข้อได้เปรียบคือ มีจำนวนต่อครอกสูง จึงลดผลของตัวแปรเกี่ยวกับพันธุกรรม สามารถใช้จำนวนมากในการทดลองได้

มีช่วงชีวิตสั้น และพัฒนาการของฟันและกระดูกเบ้าฟันในแต่ละขั้นตอนสังเกตได้ชัดเจน จึงทำให้ระยะเวลาในการศึกษาแต่ละการทดลองสั้น และมีราคาถูก (Waldo and Rothblatt, 1954) ดังนั้นจึงมักใช้หนูเป็นตัวแบบ (model) เพื่อศึกษาการตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ภายหลังการเคลื่อนฟันมากกว่าสัตว์ทดลองชนิดอื่นๆ

การศึกษาเพื่อจำลองการให้แรงเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันที่ผ่านมาได้แก่ การใช้ยางแยกฟัน (rubber band) ตามวิธีของ Waldo (Waldo and Rothblatt, 1954; Zaki and Van Huysen, 1963; Mabushi, Matsuzaka and Shimono, 2002) การใช้สปริงลวดเกลียวปิด หรือ closed coil spring (Bridges, King and Mohammed, 1988; Ashizawa and Sahara, 1998; Hatai et al., 2001) การใช้พลาสติกโมดูล (โกวิท พูลสิน และคณะ, 2544) วิธีการให้แรงที่มีผู้นิยมใช้มากได้แก่ การใช้ยางแยกฟันตามวิธีของ Waldo เนื่องจากสามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เครื่องมือหรือเทคนิกที่ยุ่งยาก สามารถกระทำซ้ำได้ด้วยมาตรฐานเดิมในระดับสูง (reproducible with a high degree of standardization) แต่มีข้อเสีย คือ ส่วนใหญ่ยางที่ใส่มักหลุดหายไปในระหว่างการศึกษา และแรงจากการใส่ยางส่งผลต่อฟันคู่สบ คือ ฟันกรามล่างในด้านเดียวกับที่ใส่ยางได้ (Waldo and Rothblatt, 1954)

การตอบสนองทางชีวภาพในระหว่างการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน เกิดจากการสลายและการสร้างกระดูก (bone resorption and formation) ทำให้มีการปรับเปลี่ยนรูปกระดูก (bone remodeling) จากนั้นฟันจึงเคลื่อนผ่านกระดูก ซึ่งตามปกติการปรับเปลี่ยนรูปกระดูกอยู่ภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน เป็นวงจรที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยปรับความแข็งแรงและรูปร่างกระดูกให้เหมาะกับหน้าที่ของกระดูกนั้น และเป็นกลไกสำคัญสำหรับรักษาดุลแคลเซียมด้วย (สุพรพิมพ์ เจียสกุล, 2545) เริ่มต้นด้วยเซลล์สลายกระดูก (osteoclast) ละลายกระดูกเกิดเป็นช่องว่าง ต่อมาเซลล์สร้างกระดูก (osteoblast) เข้ามาแทนที่ในบริเวณดังกล่าว และสร้างกระดูกใหม่ทดแทน ฮอร์โมนที่มีผลต่อกระดูก ดังตารางที่ 1

ฮอร์โมนกระตุ้นการสร้างกระดูก	**ฮอร์โมนยับยั้งการสลายกระดูก**
ฮอร์โมนเพื่อการเติบโต (growth hormone)	เอสโทรเจน (estrogen)
ปัจจัยเพื่อการเติบโตที่คล้ายอินซูลิน (insulin like growth factor)	แคลซิโทนิน (calcitonin)
แอนโดรเจน (androgen)	
ฮอร์โมนกระตุ้นการสลายกระดูก	**ฮอร์โมนยับยั้งการสร้างกระดูก**
พาราไทรอยด์ฮอร์โมน (parathyroid hormone)	คอร์ทิซอล (cortisol)

ตารางที่ 1 ฮอร์โมนที่มีผลต่อกระดูก (ดัดแปลงจาก สุพรพิมพ์ เจียสกุล. สรีรวิทยาทางการแพทย์ระบบฮอร์โมน, 2545)

จากตารางที่ 1 พบว่าฮอร์โมนเพศมีความสำคัญต่อมวลกระดูก เอสโทรเจน (estrogen) เป็นฮอร์โมนที่สำคัญในเพศหญิง มี 2 ชนิด กล่าวคือ เอสทราไดออล (estradiol) เป็นเอสโทรเจนที่รังไข่สร้างมากที่สุดและมีฤทธิ์รุนแรงที่สุด และเอสโทรน (estrone) ซึ่งมีปริมาณไม่มาก ทั้งฮอร์โมนเอสโทรนและเอสทราไดออลในกระแสเลือดเปลี่ยนกลับไปมาได้ จึงทำให้ระดับในเลือดไม่แตกต่างกันมาก (สุพรพิมพ์ เจียสกุล, 2545)

มีหลายการศึกษาที่คำนึงถึงฮอร์โมนเพศหญิงที่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนฟัน ดังการศึกษาของ Yamashiro and Takano-Yamamoto, 2001 พบว่าการขาดเอสโทรเจน ทำให้เพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันอย่างรวดเร็ว แต่มีความแตกต่างกันในแต่ละเฟส (phase) ของการเคลื่อนฟัน โดยเร่งการเคลื่อนฟันในเฟสที่ 3 ซึ่งเป็นระยะที่ฟันเคลื่อนไปตามช่องว่างที่เกิดจากการละลายกระดูกอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วคงที่ (linear increment phase) ซึ่งอาจเกิดจากการกระตุ้นการปรับเปลี่ยนกระดูกเบ้าฟัน (alveolar bone turnover) ทั้งในส่วนการสร้างและการละลายกระดูกเบ้าฟัน หรือในการศึกษาของ Haruyama et al., 2002 แนะว่าระดับการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนเอสทราไดออลในวงจรเอสทรัส (estrous-cycle) มีผลต่อการเคลื่อนฟัน โดยทำการเคลื่อนฟันในหนูเพศเมีย จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระดับเอสทราไดออลในกระแสเลือด (serum estradiol) เปลี่ยนแปลงตามเฟสของวงจรเอสทรัส ซึ่งมีระดับสูงสุดในช่วงโปรเอสทรัส (pro-estrous) และต่ำสุดในช่วงเอสทรัส นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันมีการเปลี่ยนแปลงตามเฟสของวงจรเอสทรัสในหนู โดยมีการเคลื่อนฟันมากที่สุดเมื่อได้รับแรงจัดฟันในช่วงเอสทรัส และมีการเคลื่อนฟันน้อยที่สุดในช่วงโปรเอสทรัส ซึ่ง Haruyama และคณะได้อธิบายผลดังกล่าวโดยอ้างการศึกษาของ Harris et al.,1996 ว่า เอสโทรเจนมีฤทธิ์ยับยั้งเซลล์สลายกระดูกทั้งทางตรง และทางอ้อม (Harris et al.,1996: 507-520 อ้างถึงใน Haruyama et al., 2002: 409) ดังนั้นการศึกษาการตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ภายหลังการให้แรงเคลื่อนฟันในสัตว์ทดลอง จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านฮอร์โมนเพศซึ่งมีอิทธิพลต่อผลการทดลอง (confounding factors) จึงมักทำการศึกษาในสัตว์เพศผู้มากกว่า

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการทดลองให้แรงเคลื่อนฟันในสัตว์ทดลองนอกเหนือจากการเลือกเพศของสัตว์ทดลองแล้ว การควบคุมสภาวะแวดล้อมของสัตว์ในระหว่างการทดลองให้แรงเคลื่อนฟันก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งผู้ศึกษาควรคำนึงถึง มีการศึกษาที่แสดงถึงความแตกต่างในการเคลื่อนฟัน หรือการตอบสนองของอวัยวะปริทันต์ต่อแรงจัดฟัน เมื่อทดลองให้แรงเคลื่อนฟันที่ช่วงเวลาต่างๆ กันของวัน (Igarashi et al., 1998; Miyoshi et al., 2001) ผลการศึกษาดังกล่าว แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างกลุ่มหนูที่ได้รับแรงจัดฟันในช่วงเวลาที่ต่างๆ กันของวัน โดยพบว่าการให้แรงจัดฟันในช่วงเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงเวลาพักของสัตว์ทดลอง (หนูเป็นสัตว์กลางคืน) ทำให้

มีการสร้างกระดูกขึ้นใหม่ทางด้านตึงของรากฟันมากกว่าการให้แรงจัดฟันในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งผู้ศึกษาได้อธิบายผลการทดลองว่า ช่วงเวลากลางวันมีผลต่อแคลเซียมเมตาบอลิซึมทั้งในหนูและมนุษย์ ซึ่งควบคุมโดยจังหวะการหลั่งฮอร์โมน (hormonal rhythms) จากผลการทดลองจึงเป็นเชิงแนะว่า การตอบสนองทางชีวภาพเมื่อหนูได้รับแรงเคลื่อนฟันจะมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับกิจกรรมการสร้างกระดูกตามธรรมชาติ (physiologic activity of bone formation) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตามช่วงเวลาของวัน ดังนั้นในระหว่างการทดลองจึงต้องควบคุมแสงสว่างของที่อยู่สัตว์ทดลองเพื่อลดปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองของอวัยวะปริทันต์เมื่อได้รับแรงเคลื่อนฟัน

การเคลื่อนฟันภายหลังจากได้รับแรงจัดฟันนั้น โดยแท้จริงแล้วฟันไม่ได้สัมผัสกระดูกโดยตรง แต่จะแขวนอยู่ในกระดูกเบ้าฟัน (bone socket) ด้วยเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) เมื่อให้แรงกระทำต่อฟัน โดยผ่านทางลวด (wires) หรือแผ่นยาง (rubber band) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในอวัยวะปริทันต์ ซึ่งประกอบด้วย เคลือบรากฟัน เอ็นยึดปริทันต์ เหงือก และกระดูกเบ้าฟัน โดยสามารถสังเกตได้ในบริเวณด้านกด (pressure side) และด้านตึง (tension side) ของฟัน การตอบสนองทางจุลกายวิภาคที่พบได้ทางด้านกด คือ เอ็นยึดปริทันต์ถูกกด ช่องเอ็นยึดปริทันต์แคบลง มีการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือด รวมทั้งมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์สลายกระดูก (osteoclast) มาละลายผิวด้านในของกระดูกเบ้าฟัน ส่วนทางด้านตึงของฟันซี่เดียวกัน จะเกิดการยืดของเอ็นยึดปริทันต์ ช่องเอ็นยึดปริทันต์กว้างขึ้น มีการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดเช่นกัน และมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก (osteoblast) เกิดการสร้างกระดูกขึ้นใหม่ และเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของเอ็นยึดปริทันต์ การเปลี่ยนแปลงของอวัยวะปริทันต์นี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะนำแรงนั้นออก ดังนั้นฟันจึงเคลื่อนไปทางด้านกด (Zaki and Van Huysen, 1963)

นอกจากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่กระดูกแล้ว แรงเคลื่อนฟันนี้จะกระทำที่เคลือบรากฟัน (cementum) เช่นเดียวกับที่กระดูก ทำให้มีการสูญเสียเคลือบรากฟันออกจากผิวรากฟัน ดังการศึกษาของ Tanaka et al., 1990 สังเกตพบผิวรากฟันเกิดเป็นแอ่งเว้า (resorbed lacunae) ในด้านกด และจากการศึกษาของ Harry and Sims, 1982 ตรวจพบการซ่อมสร้าง (remodeling) บริเวณผิวรากฟันที่เกิดแอ่งเว้าด้วยเคลือบรากฟันภายหลังที่เอาแรงออก เนื่องจากเคลือบรากฟันมีความต้านทานต่อการละลายมากกว่ากระดูก ดังนั้นเมื่อมีการให้แรงจัดฟัน จึงมักเกิดการละลายกระดูกมากกว่า ซึ่งนำไปสู่การเคลื่อนฟัน อย่างไรก็ตาม เนื้อฟันและเคลือบรากฟันก็ยังมีการละลายด้วย (Brezniak and Wasserstein, 1993) การที่เคลือบรากฟันมีความต้านทานต่อการละลายมากกว่ากระดูก เนื่องจากปัจจัยหลายประการ ประการแรก คือ เคลือบรากฟันเป็นเนื้อเยื่อที่มีฟลูออไรด์ (fluoride) เป็นส่วนประกอบมากที่สุด (Armitage, 1991) เมื่อเทียบกับบรรดา

เนื้อเยื่อที่มีการสะสมแร่ธาตุ (mineralized tissues) ได้แก่ กระดูก เคลือบฟัน และเนื้อฟัน ประการที่สอง คือ เคลือบรากฟันเป็นเนื้อเยื่อที่ไม่มีหลอดเลือดมาเลี้ยง (avascularized tissue) ทำให้เสี่ยงต่อการถูกละลายน้อยกว่า เนื่องจากมีรายงานที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายกระดูก และการละลายรากฟันมีต้นกำเนิดจากอวัยวะสร้างเม็ดเลือด (hemopoietic organs) ได้แก่ ไขกระดูก ซึ่งต่อมาเซลล์เหล่านั้นจะถูกเกณฑ์ให้มาอยู่และทำหน้าที่ที่ตำแหน่งกระดูก และรากฟัน (Tsay, Chen and Oyen, 1999) ประการที่สาม คือ เซลล์ชั้นในสุดของเอ็นยึดปริทันต์ ประกอบด้วย เซลล์สร้างเคลือบรากฟัน (cementoblast) เซลล์สร้างเส้นใย (fibroblast) เซลล์สร้างกระดูก (osteoblast) เซลล์บุหลอดเลือด (endothelial cells) ซึ่งเป็นชั้นที่ทำหน้าที่ในการป้องกันและการซ่อมสร้าง ประการที่สี่ คือ ผิวรากฟันปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อที่ยังไม่ได้สะสมแร่ธาตุ (unmineralized tissues) ได้แก่ พรีซีเมนตัม (precementum) ซึ่งต้านต่อการถูกละลาย แต่ในกรณีที่มีแรงดันอย่างต่อเนื่องก็อาจนำไปสู่ภาวะละลายรากฟันได้ ในขบวนการละลายรากนี้ เซลล์ที่มีบทบาทสำคัญ คือ เซลล์ละลายเนื้อฟัน (odontoclast) ซึ่งมีคุณสมบัติและหน้าที่คล้ายคลึงกับเซลล์สลายกระดูก (Tanaka et al., 1990; Brudvik and Rygh, 1995) โดยจะพบเซลล์ดังกล่าวที่บริเวณผิวรากฟันที่ถูกละลาย (resorbed root surface) ส่วนเซลล์ที่มีบทบาทในขบวนการซ่อมสร้าง ได้แก่ เซลล์สร้างเนื้อฟัน (odontoblast) และเซลล์สร้างเคลือบรากฟัน (cementoblast) ซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างเนื้อฟันและเคลือบรากฟัน ตามลำดับ

การละลายของรากฟัน (root resorption) เป็นปัญหาที่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนฟันที่เกิดจากการจัดฟัน มีรายงานการศึกษาทางจุลกายวิภาคพบอุบัติการณ์สูง ในขณะที่รายงานการศึกษาทางคลินิกแสดงอุบัติการณ์ที่หลากหลาย (Brezniak and Wasserstein, 1993) ซึ่งลักษณะการละลายนี้ไม่สามารถทำนายได้ และไม่สามารถผันกลับได้ถ้าการละลายนี้ขยายลึกไปยังชั้นเนื้อฟัน (dentin) จากการศึกษาของ Brezniak and Wasserstein, 1993: 63 อ้างถึงการศึกษาของ Tronstad, 1988: 293-302 ซึ่งแบ่งการละลายที่เกิดจากการอักเสบ (inflammatory resorption) ออก เป็น 2 ชนิด คือ การละลายที่เกิดจากการอักเสบชนิดชั่วคราว (transient inflammatory resorption) เกิดขึ้นเมื่อได้รับสิ่งกระตุ้นทำให้เกิดการทำลายเพียงเล็กน้อยและเกิดในระยะเวลาสั้น ต่อมาจะถูกซ่อมสร้างด้วยเนื้อเยื่อที่มีลักษณะคล้ายเคลือบรากฟัน (cementum like tissue) แต่เมื่อได้รับสิ่งกระตุ้นอยู่เป็นเวลานาน ทำให้เกิดการละลายลึกลงไปมากขึ้น (progressive inflammatory resorption) เป็นผลให้เอ็นยึดปริทันต์เกิดการตายเฉพาะส่วน ต่อมาจึงมีการสร้างกระดูกเข้าแทนผิวรากฟันที่ถูกละลาย ทำให้เกิดการยึดติดของฟันกับกระดูก (ankylosis) สำหรับการละลายของรากฟันภายหลังการจัดฟัน จัดเป็นชนิดการละลายที่ผิวรากฟัน (surface resorption) หรือเป็นการละลายที่เกิดจากการอักเสบชนิดชั่วคราว (Brezniak and

Wasserstein, 1993) เนื่องจากผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะละลายรากฟัน ดังนั้นจึงต้องมีการเฝ้าติดตามภาวะนี้ โดยในระหว่างการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ผู้ป่วยจะต้องมีการถ่ายภาพรังสีเป็นระยะๆ อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบโดยใช้ภาพรังสีก็ยังมีข้อจำกัดทางด้านความหลากหลายของเทคนิกการถ่าย หรือถึงแม้ว่าจากการตรวจทางภาพรังสีพบว่ารากฟันมีลักษณะปกติ แต่ในความเป็นจริงอาจเกิดการละลายรากฟันขึ้นแล้วก็ได้ โดยเฉพาะการละลายทางด้านแก้ม (buccal) และด้านลิ้น (lingual) ซึ่งไม่สามารถตรวจพบทางภาพรังสี (Brezniak and Wasserstein, 2002)

ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายรากฟัน ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น ชนิดของเครื่องมือจัดฟัน ขนาดและระยะเวลาของแรงที่ให้ และปัจจัยทางชีวภาพ ได้แก่ ความเสี่ยงในการเกิดการละลายรากฟันของแต่ละบุคคล (individual susceptibility) ลักษณะนิสัย (habits) ความหนาแน่นของกระดูกเบ้าฟัน (alveolar bone density) ตำแหน่งของฟันแต่ละซี่ (position) รวมทั้งอายุฟัน (dental age) ด้วย

การสร้างรากฟันจะเริ่มขึ้นภายหลังจากส่วนตัวฟัน (crown) ได้ถูกสร้างสมบูรณ์แล้ว เริ่มจากรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน (cementoenamel junction) โดยอวัยวะสร้างฟันจะสร้างส่วนที่เรียกว่า เยื่อบุหุ้มรากเฮิร์ตวิก (Hertwig's epithelial root sheath) ซึ่งจะแผ่หุ้มบริเวณปุ่มเนื้อกำเนิดฟัน (dental papilla) และมีช่องเปิดบริเวณฐาน ซึ่งต่อไปจะเป็นรูเปิดที่ปลายฟัน โดยเยื่อบุหุ้มรากเฮิร์ตวิกนี้เป็นตัวกำหนดความยาวรากฟัน กรณีการสร้างรากฟันหลายรากก็จะมีส่วนยื่นของเยื่อบุหุ้มรากเฮิร์ตวิกเข้าไปในปุ่มเนื้อกำเนิดฟัน ทำให้เกิดเป็นกลีบ (lobe) ตามจำนวนราก จากนั้นเยื่อบุหุ้มรากเฮิร์ตวิกจะกระตุ้นเซลล์ของปุ่มเนื้อกำเนิดฟันที่ติดกันให้กลายเป็นเซลล์สร้างเนื้อฟันซึ่งจะสร้างเนื้อฟันไปตามความยาวรากฟัน นอกจากนี้ยังกระตุ้นเซลล์ของถุงหุ้มหน่อฟัน (dental sac) ให้เปลี่ยนเป็นเซลล์สร้างเคลือบรากฟัน โดยเริ่มจากการสร้างออร์กานิก เมทริกซ์ (organic matrix) ซึ่งประกอบด้วยคอลลาเจน (collagen) และสารพื้นฐาน (ground substance) ต่อมามีการสะสมแร่ธาตุแคลเซียม (calcium) ฟอสเฟต (phosphate) เคลือบรากฟันนี้มีบทบาทสำคัญในการปกป้องผิวรากฟันจากภาวะการถูกละลายที่เกิดจากสิ่งกระตุ้น โดยเฉพาะแรงจากการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันจะเหนี่ยวนำให้เซลล์ที่ทำหน้าที่ละลายรากฟันมารวมกันในบริเวณดังกล่าว นอกจากนี้เคลือบรากฟันยังเป็นเนื้อเยื่อในการเกาะยึด (anchoring tissue) สำหรับเอ็นยึดปริทันต์เพื่อให้ฟันยึดติดกับกระดูกเบ้าฟันอีกด้วย จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเคลือบรากฟันมี 2 ประเภท ได้แก่ เคลือบรากฟันชนิดที่ไม่มีเซลล์ (acellular cementum) พบที่ผิวรากฟันบริเวณคอฟัน และชนิดที่มีเซลล์ (cellular cementum) พบที่ผิวรากฟันบริเวณปลายรากฟันและบริเวณรอยแยกรากในฟันกราม

ในส่วนฟันที่กำลังพัฒนา (developing tooth) มีการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นที่แตกต่างจากฟันที่สร้างรากสมบูรณ์แล้ว เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า การเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันส่งเสริมให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดการละลายปลายรากฟัน และการสูญเสียระดับความสูงของกระดูกเบ้าฟัน ซึ่งมีหลายการศึกษาในสัตว์ทดลองที่เปรียบเทียบผลการเคลื่อนฟัน ระหว่างกลุ่มที่มีอายุน้อยและกลุ่มที่สูงอายุ แสดงให้เห็นว่า ในกลุ่มที่มีอายุน้อยมีอัตราการเคลื่อนฟันที่เร็วกว่า และระยะทางการเคลื่อนฟันที่มากกว่า (จากการศึกษาของ Bridges, King and Mohammed, 1988 ใช้หนูอายุ 21-28 วัน เปรียบเทียบกับหนูอายุ 90-100 วัน; ในการศึกษาของ Takano-Yamamoto, Kawakami and Yamashiro, 1992 ใช้หนูอายุ 7 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับหนูอายุ 28 สัปดาห์; และในการศึกษาของ Kyomen and Tanne, 1997 ใช้หนูอายุ 6 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับหนูอายุ 14 สัปดาห์) ในขณะที่ผลการศึกษาของ Ren et al., 2003 พบว่าไม่มีความแตกต่างในอัตราการเคลื่อนฟันระหว่างกลุ่มที่มีอายุน้อย (อายุ 6 สัปดาห์) และกลุ่มสูงอายุ (อายุ 9-12 เดือน) แต่ในกลุ่มสูงอายุจะเคลื่อนฟันได้ช้ากว่าในช่วงแรก นอกจากนี้ Ren et al., 2003: 38 ยังอ้างถึงการศึกษาของ Jager and Radlanski, 1991: 399-406 ซึ่งพบว่า ในหนูทั้งสองกลุ่มมีทั้งกิจกรรมของเซลล์สลายกระดูกและเซลล์สร้างกระดูกที่เหมือนกันในระหว่างการเคลื่อนฟัน

นอกจากการศึกษาในสัตว์ทดลองแล้ว มีการศึกษาถึงผลของการจัดฟันต่อการละลายรากฟันในผู้ป่วยด้วยภาพรังสี (Hendrix and Carels, 1994) ทำการศึกษาในผู้ป่วย 2 กลุ่ม เพื่อประเมินความเสี่ยงในเรื่องเพศ อายุผู้ป่วย ระยะการสร้างรากฟันเมื่อเริ่มรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน และช่วงเวลาในการจัดฟันต่อการเกิดการละลายปลายรากคือ กลุ่ม A ได้แก่ผู้ป่วยที่มีรากฟันสร้างไม่สมบูรณ์ยกเว้นฟันกรามซี่แรก และกลุ่ม B ได้แก่ผู้ป่วยที่มีรากฟันสร้างสมบูรณ์แล้วยกเว้นฟันกรามซี่ที่สองและสาม จากผลการศึกษาพบว่า เพศ อายุผู้ป่วย และช่วงเวลาในการจัดฟันไม่มีความสัมพันธ์กับรากฟันที่สั้นลงเมื่อเปรียบเทียบภาพรังสีก่อนการรักษาและหลังการรักษาทั้ง 2 กลุ่ม แต่ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรากฟันสั้นภายหลังการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน คือ ระยะการสร้างรากฟันเมื่อเริ่มรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน โดยฟันที่อยู่ในระยะการสร้างรากเมื่อเริ่มจัดฟัน จะมีการสร้างรากฟันต่อไป แต่จะมีความยาวที่สั้นกว่าความยาวปกติ (โดยเปรียบเทียบกลุ่ม A ภายหลังการรักษา และกลุ่ม B ก่อนการรักษา) และฟันที่อยู่ในระยะที่การสร้างรากฟันสมบูรณ์แล้วมีโอกาสเกิดการละลายรากฟันได้มากกว่ากลุ่มที่มีการสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์อย่างมีนัยสำคัญ (โดยเปรียบเทียบกลุ่ม A ภายหลังการรักษา และ กลุ่ม B หลังการรักษา) สอดคล้องกับการศึกษาของ Rosenberg, 1972 ซึ่งกล่าวว่า ระดับของพัฒนาการการสร้างรากฟัน (degree of root formation) ไม่ได้มีอิทธิพลต่ออุบัติการณ์และปริมาณการเกิดการละลายรากฟัน ฟันที่การสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์สามารถมีความยาวถึงความยาวปกติได้ภายหลังได้รับการจัดฟัน และพบว่ามี

การเกิดการละลายรากฟันที่น้อยกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีรากฟันสร้างสมบูรณ์แล้ว แต่เนื่องจากการศึกษาในมนุษย์ มีความหลากหลายจากปัจจัยทางพันธุกรรม จึงไม่อาจอ้างถึงผลของการเปลี่ยนแปลงที่พบนี้ เกิดจากปัจจัยด้านอายุเพียงอย่างเดียว รวมทั้งไม่มีการสนับสนุนจากลักษณะทางจุลกายวิภาคด้วย

ปัจจุบัน ยังไม่มีรายงานการวิจัยถึงการเปรียบเทียบผลต่อการสร้างรากฟันที่ยังไม่เจริญเต็มที่ ในสัตว์ทดลองที่ได้รับแรง และไม่ได้รับแรงเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน และยังไม่มีการสรุปได้ชัดเจนว่า แรงจากการเคลื่อนฟันส่งผลต่อพัฒนาการสร้างรากฟันอย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เปรียบเทียบผลจากแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนฟันเป็นระยะเวลาหนึ่งต่อการสร้างรากฟันที่มีระยะการสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์ในหนูวิสตาร์ ภายหลังจากที่นำแรงออกแล้ว จะมีการสร้างรากฟันต่อไปอย่างปกติหรือไม่ เมื่อเทียบกับอีกด้านหนึ่งซึ่งไม่ได้รับแรงเคลื่อนฟัน โดยประเมินจากความยาวฟันในภาพรังสี และลักษณะทางจุลกายวิภาค

2. เปรียบเทียบผลของการให้แรงเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนฟันต่อรากฟัน เมื่อเคลื่อนฟันในช่วงที่มีการสร้างรากฟันสมบูรณ์ในหนูวิสตาร์ เมื่อเทียบกับอีกด้านหนึ่งซึ่งไม่ได้รับแรงเคลื่อนฟัน โดยประเมินจากความยาวฟัน พยาธิสภาพที่ปรากฏในภาพรังสี และลักษณะทางจุลกายวิภาค

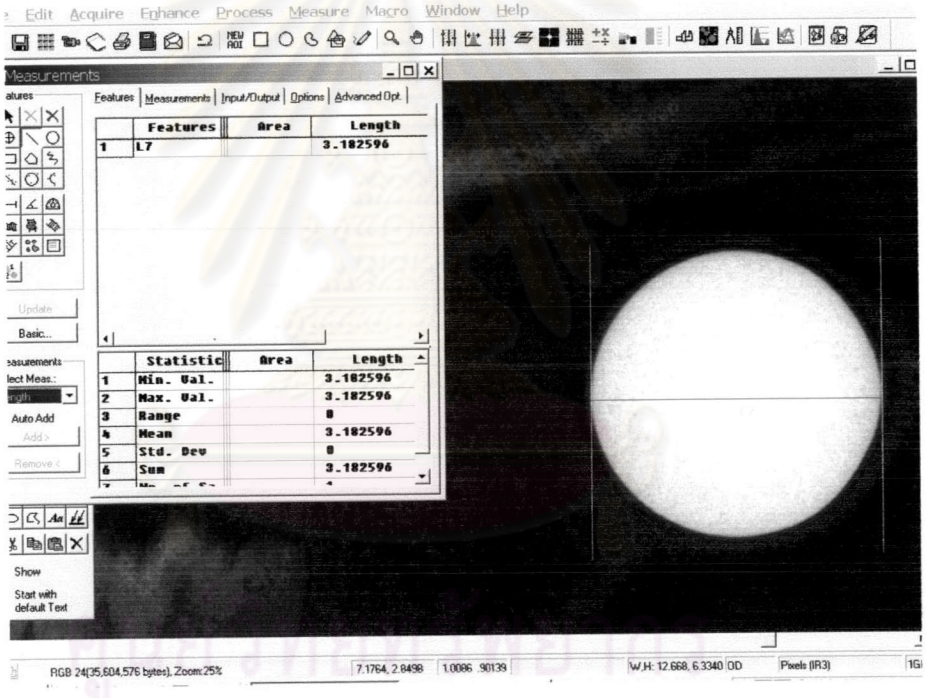
ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการศึกษาในสัตว์ทดลอง โดยใช้หนูวิสตาร์เป็นตัวแบบ 2 กลุ่มอายุ คือ กลุ่มที่การสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์ (อายุ 9 สัปดาห์) และกลุ่มที่มีการสร้างรากฟันสมบูรณ์ (อายุ 15 สัปดาห์) เพื่อเปรียบเทียบผลของการให้แรงเคลื่อนฟันจากการใส่ยางแยกฟันกรามบนเป็นระยะเวลาหนึ่งในหนูตัวเดียวกัน โดยใช้ฟันกรามข้างบนซ้ายเป็นด้านควบคุม และใช้ฟันกรามข้างบนขวาเป็นด้านทดลอง ประเมินผลจากความยาวฟันในภาพรังสี และใช้การบรรยายลักษณะทางจุลกายวิภาคประกอบผลการทดลอง

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. หนูที่ใช้ในการทดลองเป็นเพศผู้ สายพันธุ์เดียวกัน ถูกเลี้ยงในสภาพแวดล้อมเดียวกันที่สำนักสัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ภายในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส และควบคุมแสงสว่าง โดยให้แสงสว่าง 12 ชั่วโมง มืด 12 ชั่วโมง (12 light/12 dark cycle) มีการควบคุมระบบโครงสร้างอุปกรณ์ สภาวะแวดล้อม เพื่อไม่ให้เกิดโอกาสติดเชื้อหรือโอกาสติดเชื้อน้อยที่สุด ได้รับอาหารสำเร็จรูปที่ผลิตโดย บริษัท Perfect Companion Co., Ltd. และดื่มน้ำกรอง
2. การแยกฟันโดยใช้ยางแยกฟัน (elastic band) ขนาด 3/16 นิ้ว 2 ออนซ์ หนา 0.65 มิลลิเมตร ของบริษัท Ormco Corporation ในหนูวิสตาร์เปรียบเหมือนการให้แรงต่อฟัน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนฟันลักษณะทิปปิง (tipping movement) จะปรากฏการตอบสนองทั้งด้านกด และด้านดึง (Waldo and Rothblatt, 1954)

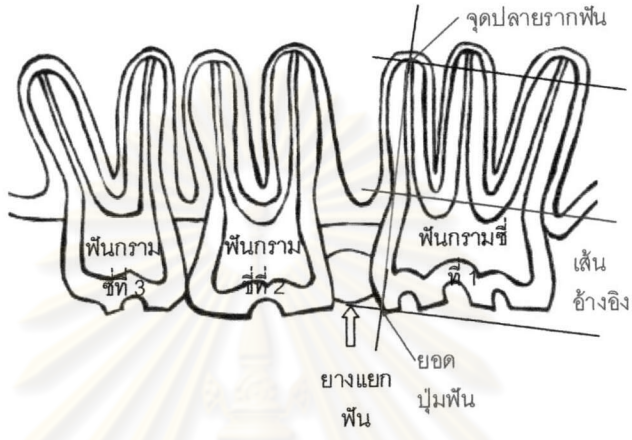
3. การศึกษาความยาวฟันจากภาพรังสี กระทำโดยเครื่องถ่ายภาพรังสีในช่องปาก โดยถ่ายภาพกะโหลกศีรษะทางด้านข้าง ใช้ปริมาณรังสี 50 kVp 10 mA ระยะจากแหล่งกำเนิดแสงถึงวัตถุคงที่ คือ 60 เซนติเมตร เป็นเวลานาน 5 วินาที และสแกนภาพรังสีด้วยเครื่องสแกนเนอร์ (color image scanner) ที่ใช้ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ (computer) ยี่ห้อ Epson Perfection 3200 Photo โดยกำหนดค่าความละเอียด (resolution) ในการสแกนแต่ละครั้งที่ 9600 ดีพีไอ (9600 dpi)
4. เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลมเหล็ก คือ ระยะที่วัดด้วยดิจิเมติก คาลิปเปอร์ (digimatic caliper) โดยวัดจากผิวทรงกลมด้านหนึ่งไปยังผิวทรงกลมอีกด้านหนึ่ง
5. เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลมเหล็กในภาพสแกนฟิล์มถ่ายภาพรังสี ค่าความละเอียด 9600 ดีพีไอ กำลังขยาย (zoom) 25% คือ เส้นที่ลากจากจุดที่เส้นสัมผัสผิววงกลมด้านหนึ่งไปยังจุดที่เส้นสัมผัสผิววงกลมอีกด้านหนึ่งซึ่งขนานกับเส้นแรก ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแสดงการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกทรงกลมในภาพสแกนฟิล์มภาพรังสี

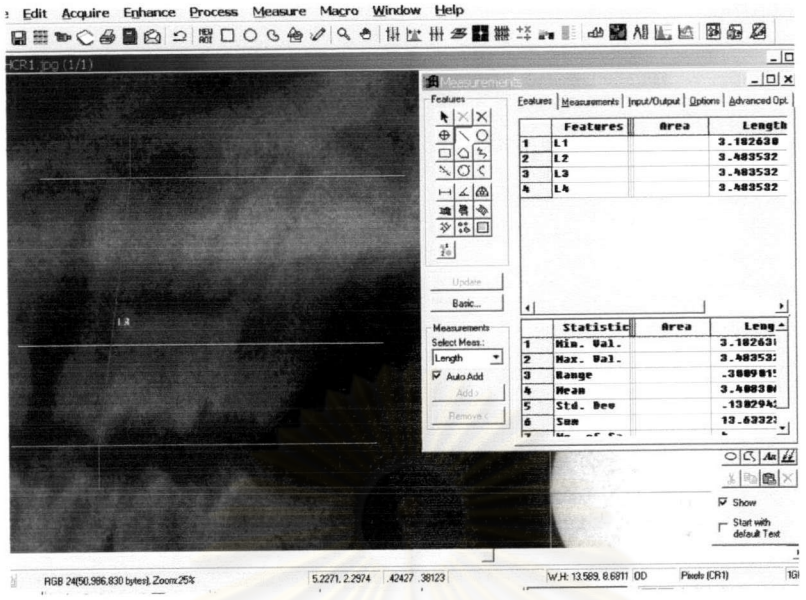
6. เส้นอ้างอิง (reference line) หมายถึง เส้นที่เชื่อมจุดรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟันด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของฟันกรามบนซี่แรก ดังภาพที่ 2
7. ยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง (distobuccal cusp) ของฟันกรามบนซี่แรก หมายถึง จุดตัดระหว่างเส้นที่ขนานกับเส้นอ้างอิงซึ่งสัมผัสกับส่วนบนสุดของยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางและเส้นที่ลากมาตั้งฉากกับเส้นดังกล่าว ดังภาพที่ 2

8. ส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง (distobuccal root apex) หมายถึง จุดตัดระหว่างเส้นที่ขนานกับเส้นอ้างอิงซึ่งสัมผัสกับส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางและเส้นที่ลากมาตั้งฉากกับเส้นดังกล่าว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการวัดความยาวฟัน แสดงเส้นอ้างอิง ยอดปุ่มฟัน และจุดปลายรากฟัน โดยวัดระยะทางจากยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง (distobuccal cusp) ของฟันกรามบนซี่แรก จนถึงส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางในภาพรังสี (radiographic distobuccal root apex)

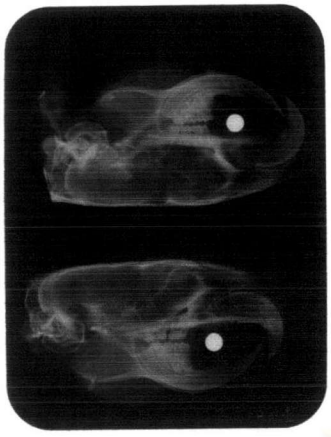
9. การวัดความยาวฟัน กระทำโดยวัดระยะทางจากยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง (distobuccal cusp) ของฟันกรามบนซี่แรก จนถึงส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางในภาพรังสี (radiographic distobuccal root apex) โดยมีลูกกลมเหล็กเป็นสิ่งอ้างอิงของกำลังขยายภาพ ทำการวัดความยาวภาพรังสีที่ได้รับการสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ (color image scanner) ที่ใช้ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ (computer) ยี่ห้อ Epson Perfection 3200 Photo โดยกำหนดค่าความละเอียด (resolution) ในการสแกนแต่ละครั้งที่ 9600 ดีพีไอ (9600 dpi) กำลังขยาย 25% ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (Image Pro Plus) เป็นจำนวน 3 ครั้ง/ซี่ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการประมวลผล ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพการวัดความยาวฟัน แสดงเส้นอ้างอิง ยอดปุ่มฟัน และจุดปลายรากฟัน ด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (Image Pro Plus)

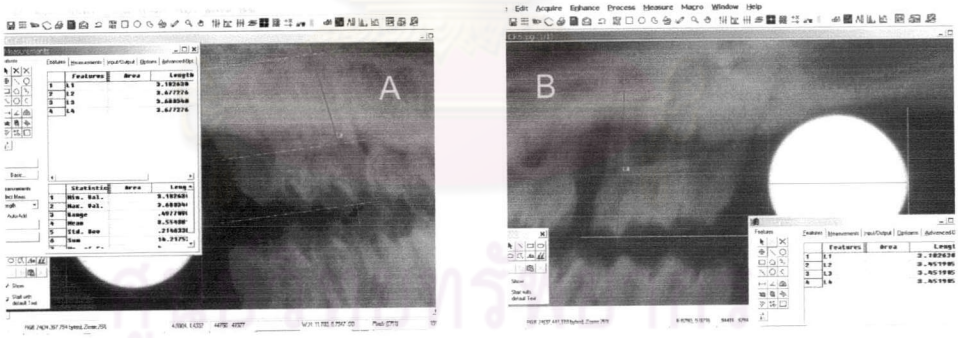
ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การตอบสนองทางจุลกายวิภาคของอวัยวะปริทันต์ เป็นการศึกษาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงความยาวรากฟัน และความหนาของเคลือบรากฟัน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างและการละลายที่ผิวรากฟัน เมื่อได้รับแรงเคลื่อนฟันจากยางแยกฟัน ไม่ครอบคลุมถึงการเปลี่ยนแปลงอื่นๆของอวัยวะปริทันต์ เมื่อขนาดและทิศทางของแรงเปลี่ยนแปลงไป
2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันมีมากมาย เพื่อให้ได้ข้อสรุปเฉพาะการละลายรากฟันและการซ่อมสร้างของรากฟันภายหลังการเคลื่อนฟัน เมื่อคุณสมบัติทางโครงสร้างกายภาพของการสร้างรากฟันมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุ การดำเนินการวิจัยจำเป็นต้องนำความรู้พื้นฐานที่ปรากฏในรายงานการวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงที่เหมาะสม และช่วงอายุที่ต่างกันของหนูในการศึกษาการตอบสนองทางจุลกายวิภาคที่ทำให้เกิดการเคลื่อนฟัน และมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างรากฟันมาปฏิบัติเพื่อให้ได้งานวิจัยที่ก้าวหน้าไปอีกขั้นหนึ่ง ดังนั้นความถูกต้องและความน่าเชื่อถือที่ได้จากการวิจัยนี้ ส่วนหนึ่งจึงขึ้นกับผลการวิจัยที่ผ่านมา
3. ค่าความยาวฟันที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ ขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดในการสแกน กำลังขยาย และความแม่นยำของการกดเม้าส์ (mouse) ดังนั้นความถูกต้องและน่าเชื่อถือของการวิจัยนี้ จึงขึ้นอยู่กับการควบคุมปัจจัยดังกล่าว แต่หากวัดค่าความยาวฟันด้วยวิธีที่ต่างออกไป ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้ต่างไปด้วย



ภาพที่ 14 ภาพรังสีกะโหลกศีรษะทางด้านข้างทั้งด้านซ้าย (บน) และด้านขวา (ล่าง) ในฟิล์มชนิดออกคลูซอลแผ่นเดียวกัน

8. วัดขนาดลูกกลมเหล็กด้วยดิจิเทติก คาลิปเปอร์ แล้วจึงบันทึกขนาดไว้สำหรับอ้างอิง
9. การวัดความยาวฟัน กระทำโดยวัดระยะทางจากยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง (distobuccal cusp) ของฟันกรามบนซี่แรก จนถึงส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางในภาพรังสี (radiographic distobuccal root apex) กำลังขยาย 25% (zoom 25%) โดยมีลูกกลมเหล็กเป็นสิ่งอ้างอิงของกำลังขยายภาพ ทำการวัดความยาวด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ (Image Pro Plus) เป็นจำนวน 3 ครั้ง/ซี่ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการประมวลผล
10. เปรียบเทียบความยาวรากฟันเฉลี่ยระหว่างด้านทดลองและด้านควบคุมในแต่ละกลุ่ม และสังเกตการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ที่พบในภาพรังสี

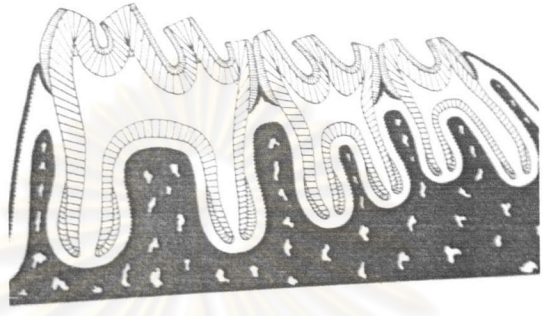


ภาพที่ 15 การวัดความยาวฟันด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพโดยมีลูกกลมเหล็กเป็นสิ่งอ้างอิงกำลังขยายภาพ (A) : ด้านซ้ายซึ่งเป็นด้านควบคุม (B) : ด้านขวาซึ่งเป็นด้านทดลอง

11. นำชิ้นเนื้อแช่ในสารละลาย 5% อีดีทีเอ ที่มีค่าพีเอช (pH) 7.4 เพื่อดึงแคลเซียมอิออน (decalcification) ทำให้ชิ้นเนื้ออ่อนตัวลง ทำการตรวจสอบด้วยการถ่ายภาพรังสี และทดสอบทางเคมีด้วยการเติมสารแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) และสาร

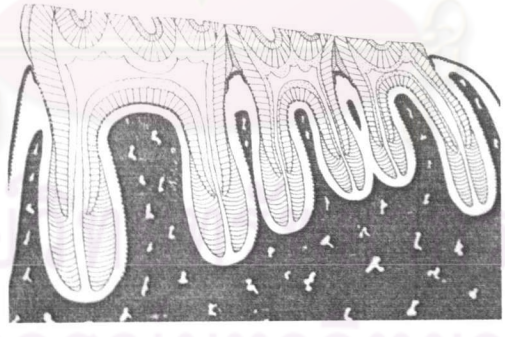
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. **ฟันกรามที่ยังไม่เจริญเต็มที่** (immature molar) **คือ ฟันกรามที่การสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์** (incomplete root formation) **มีลักษณะปลายรากเปิด ความยาวรากฟันที่วัดได้ในภาพรังสีสั้นกว่าเมื่อมีการสร้างรากสมบูรณ์ ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาในหนูวิสตาร์ที่มีอายุ 9 สัปดาห์ ดังภาพที่ 4**



ภาพที่ 4 ลักษณะฟันกรามหนูที่ยังไม่เจริญเต็มที่ (ดัดแปลงจาก Belting et al. J Dent Res: p. 350, 1953)

2. **ฟันกรามที่เจริญเต็มที่** (mature molar) **คือ ฟันกรามที่มีการสร้างรากฟันสมบูรณ์** (complete root formation) **มีลักษณะปลายรากปิด ความยาวรากฟันที่วัดได้ในภาพรังสีเท่ากับเมื่อมีการสร้างรากสมบูรณ์ ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาในหนูวิสตาร์ที่มีอายุ 15 สัปดาห์ เนื่องจากมีรายงานการศึกษาพัฒนาการของฟันในหนูที่อายุดังกล่าว จะมีฟันกรามที่มีการสร้างรากสมบูรณ์** (Schour and Massler, 1942) **ดังภาพที่ 5**



ภาพที่ 5 ลักษณะฟันกรามหนูที่เจริญเต็มที่ (ดัดแปลงจาก Belting et al. J Dent Res: p. 350, 1953)

3. **ความยาวฟันกราม** (tooth length) **คือ ระยะที่วัดจากยอดปุ่มฟันด้านใกล้แก้มไกลกลาง** (distobuccal cusp) **ของฟันกรามบนซี่แรก จนถึงส่วนปลายสุดของรากฟันด้านใกล้แก้มไกลกลางในภาพรังสี** (radiographic distobuccal root apex)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำผลการวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาค เมื่อเคลื่อนฟันในช่วงระยะเวลาที่การสร้างรากฟันยังไม่สมบูรณ์ และที่มีระยะการสร้างรากฟันสมบูรณ์ รวมทั้งเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไปในการวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. นำผลการวิจัยไปประกอบการพิจารณาให้การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในเด็ก

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1. วางแผนเตรียมการและประสานงาน
2. จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์
3. ขอจริยธรรม
4. ดำเนินการวิจัยนำร่อง
5. วิเคราะห์ผลงานวิจัยนำร่อง นำมาปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการวิจัย
6. นำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์
7. จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
8. ดำเนินงานวิจัย
9. วิเคราะห์ข้อมูล และแปลผล
10. จัดทำรายงานการวิจัย และเตรียมอุปกรณ์นำเสนอผลงานวิจัย
11. นำเสนอผลงานวิจัย และแก้ไขได้สมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย