

ความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีพีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรัสสิ  
ชนิดต่างๆ : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาเอ็นไอคอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ  
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACCURACY OF CBCT IN VRFs DETECTION IN ROOT CANAL TREATED TEETH OBSTRUCTED WITH DIFFERENT RADIOPAQUE MATERIALS: EX VIVO STUDY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Endodontology  
Department of Operative Dentistry  
Faculty of Dentistry  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีซีทีในการตรวจหารากฟัน แตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บร้งสีชนิด ต่างๆ : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ
โดย	นายกิตติพงษ์ เกตุแป้น
สาขาวิชา	วิทยาเอ็นโดดอนต์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร.สมสินี พิมพ์ขาวขำ

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิงปิยาณี พาณิชยวิสัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร.สมสินี พิมพ์ขาวขำ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร.ชุติมา ระติสุนทร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง คุณเมตตจิตต์ นวจินดา)

กิตติพงษ์ เกตุแป้น : ความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีบีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตก  
 แนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรัสสีชนิดต่างๆ : การศึกษาในห้องปฏิบัติการ. (  
 ACCURACY OF CBCT IN VRFs DETECTION IN ROOT CANAL TREATED TEETH  
 OBSTRUCTED WITH DIFFERENT RADIOPAQUE MATERIALS: EX VIVO STUDY)  
 อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ทญ. ดร.สมสินี พิมพ์ขาวขำ

บทนำ รากฟันแตกในแนวตั้งเป็นหนึ่งในสาเหตุสำคัญของการสูญเสียฟันในฟันที่ผ่านการ  
 รักษาคลองรากฟันมาแล้ว ฟันที่มีรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นมักวินิจฉัยได้ยาก จึงได้นำภาพรังสีซีบีซีซี  
 ทีซึ่งสามารถทำให้มองเห็นคลองรากฟันได้ทั้งสามมิติมาตรวจวินิจฉัย แต่ข้อจำกัดของภาพรังสีซีบีซีซี  
 ทีคือเมื่อมีวัสดุที่บรัสสีอยู่ในคลองรากฟันจะก่อให้เกิดสิ่งแปลกปนที่มีลักษณะคล้ายกับรอยแตก  
 จุดประสงค์ของการศึกษานี้จึงต้องการศึกษาถึงความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีบีซีซีทีในการตรวจหา  
 รอยแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่ถูกปิดกั้นด้วยวัสดุที่บรัสสีชนิดต่างๆ *วัสดุและวิธีการ* ใช้ฟัน  
 กรามน้อยที่มีรากตรงรากเดียวจำนวนหกสิบซี่ โดยฟันสี่สิบซี่จำลองให้เกิดการแตกของรากฟันใน  
 แนวตั้ง นำฟันทุกซี่ถ่ายภาพรังสีไมโครซีทีเพื่อยืนยันว่าฟันที่จำลองรอยแตกมีรอยแตกเกิดขึ้นจริง  
 ฟันทุกซี่จะถูกถ่ายภาพรังสีซีบีซีซีที โดยไม่มีวัสดุที่บรัสสีในคลองรากฟันใช้เป็นกลุ่มควบคุม และมีการ  
 ใส่เดือยฟันโลหะเหรียญ เดือยฟันเส้นใยเรซิน และกัตตาเพอร์ซาเป็นวัสดุที่บรัสสีในคลองรากฟัน ผู้  
 แปลภาพรังสีสี่คนทำการแปลภาพรังสี และคำนวณหาค่าความไว ความจำเพาะ และความเที่ยงตรง  
 ของภาพรังสีซีบีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง *ผลการทดลอง* ในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุ  
 ที่บรัสสีพบว่าซีบีซีซีทีมีค่าความไว ความจำเพาะ และความเที่ยงตรงอยู่ที่ ร้อยละ 77.5 ร้อยละ  
 88.75 และร้อยละ 81.86 ตามลำดับ หากมีวัสดุที่บรัสสีปรากฏในคลองรากฟันจะทำให้ค่า  
 ความจำเพาะและความเที่ยงตรงของซีบีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งลดลง *สรุป*  
 ภาพถ่ายรังสีซีบีซีซีทีที่มีความเที่ยงตรงสูงในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่ไม่มี  
 วัสดุที่บรัส ซึ่งหากมีวัสดุที่บรัสปรากฏในคลองรากฟันแล้วจะทำให้ความสามารถของซีบีซีซีทีในการ  
 วินิจฉัยรากฟันแตกในแนวตั้งลดลง

สาขาวิชา วิทยาเอ็นโดดอนต์  
 ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5875804832 : MAJOR ENDODONTOLOGY

KEYWORD: Vertical Root Fracture Gold post Fiber post Gutta-percha Accuracy  
CBCT

Kittipong Ketpan :

ACCURACY OF CBCT IN VRFs DETECTION IN ROOT CANAL TREATED TEETH  
OBSTRUCTED WITH DIFFERENT RADIOPAQUE MATERIALS: EX VIVO STUDY.

Advisor: Asst. Prof. Somsinee Pimkhaokham, Ph.D.

*Introduction:* Vertical root fracture (VRFs) is cause of tooth loss, especially in endodontically treated tooth. Various signs and symptoms of VRFs make difficult to diagnosis. CBCT yield 3D image of root canal and widely use to VRFs detection. Limitation of CBCT is artifact production if radiopaque material presented in root canal and mimic to VRF, the purpose of this study aimed to define accuracy of CBCT in VRFs detection of obstructed root canal by radiopaque materials. *Materials and Methods:* Sixty extracted premolar with one, straight root canal were collected. Canal was opened then root canal preparation was performed, 40 teeth were simulated VRFs and the rest were not. All teeth were scanned by Aquitomo 3D 170 without root canal filling material serve as control. For experiment group Gold post, Fiber post and Gutta-percha were inserted in root canal before CBCT scanned. 4 examiners detected VRFs in each groups. Sensitivity, specificity and Accuracy of CBCT in VRFs detection was determined. *Results:* Sensitivity, specificity and accuracy in non-filled was 77.5, 88.75 and 81.86% respectively. Once root canal was filled by radiopaque materials, specificity and accuracy was reduced. *Conclusion:* CBCT has high accuracy in VRF detection in non-filled root canal and radiopaque material which presented in root canal impaired ability of CBCT in diagnosed VRFs.

Field of Study: Endodontology

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดตลอดจนครู อาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนมา ตั้งแต่ครั้งปฐมวัยจนปัจจุบัน ตลอดจนครอบครัวที่คอยให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร.สมสินี พิมพ์ขาวขำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยชี้แนะแนวทางการทำงาน ทั้งยังดูแลเรื่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาอยู่ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิงปิยาณี พาณิชยวิสัย ที่เปรียบเสมือนคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เป็นอย่างดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิง ดร.ชุตินา ระติสุนทร ประธานหลักสูตรผู้ซึ่งเป็นให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา รองศาสตราจารย์ ทันทแพทย์หญิงคุณเมตตจิตต์ นวจินดา ที่เป็นกำลังใจในการทำงาน และยังเสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาเอ็นโอดอนต์ ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางการรักษาคลองรากฟัน ให้กับผู้เขียนจนสามารถนำไปประกอบอาชีพและสามารถถ่ายทอดแก่ผู้อื่นได้

ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยชีววิทยาช่องปาก และภาควิชารังสีวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ทันทแพทย์ชยาพล อารังจารูวัตร ทันทแพทย์หญิงปัทมณูช หิรัญเมฆาวณิช อาจารย์ทันตแพทย์สรรพัชญ์ เบญจวงศ์กุลชัย และ อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร.จุฑามาศ ดีโพธิ์ ที่มีส่วนช่วยอย่างมากในการแปลภาพรังสีในงานวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หากวิทยานิพนธ์นี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่วงการทันตแพทย์แล้ว ผู้เขียนขอขอบคุณดีทั้งหมดให้กับผู้มีพระคุณที่ได้กล่าวมาข้างต้น

กิตติพงษ์ เกตุแป้น

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
หลักการและเหตุผล.....	1
ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	2
คำถามงานวิจัย.....	13
วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	13
สมมติฐานงานวิจัย.....	13
ขอบเขตงานวิจัย.....	13
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
ระเบียบวิธีวิจัย.....	14
1. วัสดุและอุปกรณ์.....	14
2. การเตรียมพื้น.....	14
3. การถ่ายภาพรังสีซีซีที.....	18
การแปลภาพถ่ายรังสีซีซีทีและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	20
1 การสอบเทียบผู้แปลภาพรังสี.....	20
2 การแปลภาพรังสีซีซีทีในการทดลอง.....	21
3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	22
ผลการทดลอง.....	23
1. ผู้แปลผลภาพรังสีมีผลการสอบเทียบดังนี้ (Calibration session).....	23

2. ผลการแปลภาพรังสีในการทดลอง.....	23
3. แผนภูมิแสดง Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve .....	26
4. การทวนสอบความสอดคล้องในการแปลภาพรังสีโดยใช้สถิติแคปปา .....	28
อภิปรายผลการทดลอง.....	29
สรุปผลการทดลอง.....	36
ข้อเสนอแนะ.....	36
บรรณานุกรม.....	37
ประวัติผู้เขียน.....	44





## หลักการและเหตุผล

ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้วจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องมาจากการสูญเสียความมีชีวิตของฟัน รวมถึงปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการรักษาคลองรากฟันกับเนื้อฟัน เช่น น้ำยาล้างคลองรากฟันโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ทำให้เนื้อฟันสูญเสียปริมาตร ส่วนของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะคอลลาเจน อาจทำให้รากฟันมีความแข็งแรงลดลง นอกจากนี้การใส่ยาในคลองรากฟันเป็นเวลานานมีผลทำให้ความแข็งแรงของรากฟันลดลง ดังนั้นฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้วมีความเสี่ยงต่อการเกิดการแตกของรากฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแตกของคลองรากฟันในแนวตั้ง (Vertical root fracture) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งในความล้มเหลวหลังจากการรักษาคลองรากฟัน และมีการพยากรณ์โรคที่แย่มากเป็นสาเหตุให้ฟันซี่นั้นต้องถูกถอนออกไป

การตรวจหาการแตกของรากฟันในทางคลินิกนั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีลักษณะอาการและอาการแสดงที่ไม่จำเพาะเจาะจง รวมถึงการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากเพื่อการวินิจฉัยก็ไม่สามารถให้การวินิจฉัยได้อย่างถูกต้อง จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการให้การวินิจฉัย ซึ่งการให้การวินิจฉัยที่ดีที่สุดคือการทำศัลยกรรมเพื่อสำรวจหารอยแตก (Exploratory surgery) โดยในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องถ่ายภาพรังสีส่วนตัดโดยอาศัยคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในงานทันตกรรม (Dental computed tomography, cone beam computed tomography; CBCT) มาใช้เพื่อตรวจหารอยแตกของรากฟันในแนวตั้ง ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการตรวจสูงกว่าภาพถ่ายรังสีแบบดั้งเดิม (Conventional radiograph) และภาพถ่ายรังสีแบบดิจิทัล (Digital radiograph)

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งของภาพถ่ายรังสีซีซีทีคือมีวัสดุที่บร้งสีอยู่ภายในคลองรากฟัน ไม่ว่าจะเป็นวัสดุอุดคลองรากฟัน เช่น กัดตาเพอร์ชา หรือเดือยฟันที่เป็นโลหะ จะเป็นสิ่งที่ทำให้คุณภาพของภาพถ่ายรังสีลดลงเนื่องจากการเกิดสิ่งแปลกปน (Artifact) โดยสิ่งแปลกปนที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่วัสดุที่บร้งสีดูดซับโฟตอน (Photon) ที่มีพลังงานมาก แล้วโฟตอนที่มีพลังงานน้อยไปตกกระทบที่ตัวรับภาพ เรียกว่าเกิดบีมฮาร์ดนิง (Beam hardening) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจจะทำให้เห็นภาพในลักษณะเงารูปถ้วย (Cupping shallow) หรือเกิดเป็นริ้ว (Streak) รอบๆ วัสดุที่บร้งสีดังกล่าว ซึ่งทำให้การแปลผลภาพถ่ายรังสีซีซีทีนั้นแปลได้ยากขึ้น

ในทางคลินิกเมื่อเกิดความล้มเหลวหลังจากการรักษาคลองรากฟันครั้งแรกมาแล้ว และเกิดข้อสงสัยว่ามีรากแตกในแนวตั้งหรือไม่ มักจะมีการส่งภาพถ่ายรังสีซีซีที แต่จากปัญหาของซีซีทีคือการเกิดสิ่งแปลกปน ทำให้เกิดปัญหาในการวินิจฉัย จึงมีข้อสงสัยว่าควรรื้อวัสดุที่บร้งสีออกจากคลองรากฟันก่อนที่จะส่งภาพถ่ายรังสีซีซีที เพื่อวินิจฉัยรากฟันแตกแนวตั้งหรือไม่

## ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

รากฟันแตกในแนวตั้ง (Vertical root fractures) คือ การแตกของรากฟันตามแนวยาวของฟัน โดยการแตกเริ่มเกิดขึ้นที่ระดับโคนของรากฟันก็ได้ และมีการขยายของรอยแตกจากตัวฟันไปเชื่อมกับอวัยวะปริทันต์ รอยแตกมักเกิดขึ้นในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น (Buccolingual direction) ซึ่งอาจจะเกิดแค่ด้านใกล้แก้ม หรือ ด้านใกล้ลิ้น หรืออาจจะเกิดขึ้นทั้งด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้นโดยรากฟันแตกในแนวตั้งอาจจะเริ่มเกิดจากบริเวณส่วนปลายของราก และขยายไปยังส่วนบนของรากฟัน หรือ อาจจะเกิดจากการส่วนตัวฟัน (coronal) 1/3 ของรากฟันขยายลุกลามไปยังส่วนปลายราก (1) เมื่อการแตกเกิดขึ้นแล้วทั้งแตกแบบสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ รอยแตกนั้นจะขยายไปยังเอ็นยึดปริทันต์ และมีการเจริญของเนื้อเยื่ออ่อนเข้ามายังบริเวณรอยแตก ทำให้ส่วนของรากฟันมีการแยกออกจากกัน โดยการแตกแบบไม่สมบูรณ์นั้นหมายถึงรอยแตกนั้นจำกัดอยู่เพียงแค่ด้านใดด้านหนึ่งของผิวรากฟัน แต่อย่างไรก็ตาม ร้อยละ 90 ของรากฟันแตกแนวตั้งที่พบในภาพรังสีนั้นจะเป็นการแตกแบบสมบูรณ์ ซึ่งรอยแตกนั้นจะเกี่ยวข้องกับผิวรากฟัน โดยปกติจะเกิดบริเวณผิวรากด้านใกล้แก้มและด้านใกล้ลิ้น และถ้ารอยแตกมีการเชื่อมต่อกับช่องปาก เศษอาหาร และเชื้อแบคทีเรียจะเข้าสู่บริเวณรอยแตก และเหนียวน้ำให้เกิดกระบวนการอักเสบของเนื้อเยื่อปริทันต์บริเวณข้างเคียง ส่งผลให้เกิดการทำลายของเอ็นยึดปริทันต์ มีการละลายของกระดูกเบ้าฟัน และเกิดการสร้างเนื้อเยื่อแกรนูเลชันขึ้น (2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีกระดูกที่บาง เช่น กระดูกด้านแก้มของฟันกรามน้อยบน การทำลายของเอ็นยึดปริทันต์ และการทำลายของกระดูกจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่รากฟันแตกในแนวตั้งนั้นจำกัดอยู่แค่บริเวณส่วนปลายของรากฟันโดยที่ไม่มีช่องทางการติดต่อกับช่องปาก กระบวนการอักเสบในบริเวณเนื้อเยื่อรอบปลายรากนั้นจะขึ้นอยู่กับการปลดปล่อยสารที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในคลองรากฟัน ซึ่งรวมถึงเชื้อแบคทีเรีย และ ซีลเลอร์ (Sealer) (3) รากฟันแตกในแนวตั้งมักเกิดขึ้นในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้ว ซึ่งได้มีการตั้งสมมติฐานว่าอาจจะเกิดได้จากการทำการขยายคลองรากฟันที่มากเกินไปจนทำให้ผนังคลองรากฟันที่เหลืออยู่บางและอ่อนแอหรืออาจจะเกิดจากการมีเนื้อเยื่อฟันในคลองรากฟัน แต่อย่างไรก็ตามการปริมาณเนื้อฟันที่ถูกกำจัดออกมานั้น ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับการเกิดรอยแตกที่เพิ่มมากขึ้น (4) เนื่องจากว่ามีหลายๆ ปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้สามารถวินิจฉัย หรือทำนายการเกิดการแตกของรากฟันในแนวตั้ง จึงมีความจำเป็นที่ต้องค้นหาพารามิเตอร์อื่นๆ ที่อาจจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งซึ่งการอุดคลองรากฟันด้วยกัตาเพอร์ชาโดยใช้วิธีแลทเทอรอล คอนเดนเซชัน (Lateral condensation) ได้ถูกพิจารณาว่าเป็นอีกหนึ่งสาเหตุหลักของการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งเนื่องจากแรงที่เกิดจากสเปรด

เดือร์อาจจะส่งเสริมให้เกิดการแตกของราก (5) โดยเมื่อพิจารณาถึงชนิดของสเปรตเดือร์ร่วมกับการอุดคลองรากฟันโดยวิธีแลทเทอรอล คอนเดนเซชันกับการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งพบว่าแรงสูงสุดที่เกิดจากการใช้สเปรตเดือร์ชนิดใช้นิ้วจับ (Finger spreader) นั้นทำให้เกิดรากฟันแตกแนวตั้งน้อยกว่าการใช้สเปรตเดือร์ชนิดใช้มือถือดีสิบเอ็ดที (Hand spreader D11T) อย่างมีนัยสำคัญ (6) ความโค้งของคลองรากฟันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความเครียดสะสม (Stress concentration) จากการศึกษาโดยใช้แบบจำลองไฟไนท์ อีลีเมนต์ (Finite element model) ตรวจสอบการเกิดความเครียดสะสมภายในคลองรากฟันนั้นพบว่ารูปแบบการแตกของคลองรากฟันในแนวตั้งนั้นเป็นผลมาจากการมีความเครียดภายในคลองรากฟัน และทิศทางการแตกมักเกิดในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้น ผ่านส่วนที่หนาที่สุดของเนื้อฟันภายในผนังคลองรากฟัน เนื่องจากเป็นแนวที่สามารถเข้าสู่คลองรากฟันโค้งได้ดีที่สุด (7, 8) ในฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันมาแล้ว พบว่าแรงบดเคี้ยววันนั้นทำให้ความชุกของการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งสูงกว่าฟันที่ไม่ได้รับการรักษาคคลองรากฟัน (3, 9) ดังนั้นขนาดและทิศทางของแรงบดเคี้ยว โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงบดเคี้ยวที่มีลักษณะซ้ำ (Repetitive chewing force) จะมีความสำคัญเพราะเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดลักษณะของการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง (feature of vertical root fracture) (10) ความชุกของการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง และนำไปสู่การถอนฟันนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด บางรายงานนั้นสรุปจากรายงานผู้ป่วยเป็นลำดับ (Case series) (11, 12) และการติดตามผลการรักษาจากกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโดยการใส่ฟันเทียมทดแทน (13-16) และมีการศึกษาย้อนหลังที่พบว่าความชุกของการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งนั้นอยู่ในช่วงร้อยละ 2-31 โดยร้อยละ 90 ของฟันถอนเนื่องจากรากแตกแนวตั้งนั้นเป็นฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันมาแล้ว (17) แต่อย่างไรก็ตามความชุกของฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันมาแล้วและต้องถอนเนื่องจากการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งนั้นอาจจะยังไม่แน่ชัด(15,16) ถึงแม้ว่าเพศและการถอนกััดฟันนั้นไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความชุกของการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งแต่ว่าการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นมักพบมากที่สุดในกลุ่มผู้ป่วยช่วงอายุ 41-60 ปี ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นช่วงอายุที่มักจะได้รับ การรักษาคคลองรากฟันและมีจำนวนปีของการใช้งานฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันแล้วที่มากกว่า ช่วงอายุอื่นตามการศึกษาของ Cohen และคณะในปี ค.ศ. 2006 พบว่าความถี่ของการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งนั้นมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของฟัน โดยพบว่าร้อยละ 23.35 เกิดในฟันกรามน้อยบน ร้อยละ 21.59 เกิดในฟันกรามใหญ่ล่างซี่ที่หนึ่ง และส่วนใหญ่มักเกิดที่รากใกล้กลาง และในฟันกรามใหญ่ล่างซี่ที่สองมีความถี่ร้อยละ 21.15 (18)

#### การวินิจฉัย

ผู้ป่วยที่มีรากฟันแตกแนวตั้งมักมีลักษณะอาการโดยทั่วไปคือมีอาการปวดเล็กน้อย มีตุ่มหนองและมีอาการของรอยโรคเรื้อรังที่กลับมารุนแรงขึ้น (Exacerbation of Chronic lesion) และ

บางครั้งผู้ป่วยอาจจะได้ยินเสียงคลิกขณะที่ทำการอัดกัตาเพอร์ชาลงสู่คลองรากฟัน หรืออาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ใส่เดือยฟัน และอาจจะมีอาการบวมของเนื้อเยื่ออ่อนปรากฏได้ โดยลักษณะการบวมนั้นจะมีลักษณะฐานกว้าง (Board-Based) และมักเกิดขึ้นในตำแหน่งกลางรากฟัน โดยบางครั้งอาจจะมีอาการคลำเจ็บร่วมด้วย และการบวมนั้นจะเกิดขึ้นบริเวณราก ส่วนที่บริเวณรอบปลายรากจะมีอาการบวมได้เล็กน้อยการมีรูเปิดตุ่มหนองมากกว่าหนึ่งตำแหน่งก็สามารถพบได้ในฟันที่มีรากฟันแตกแนวตั้ง

อาการของรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นไม่ชัดเจน ดังนั้นการตรวจจากทางคลินิกหรือภาพถ่ายรังสีเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถให้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับทันตแพทย์ในการการวินิจฉัยแก่ผู้ป่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่งจะเริ่มมีอาการ การวินิจฉัยจะยิ่งทำได้ยากขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วการวินิจฉัยว่าเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นมักจะวินิจฉัยได้หลังจากที่ทำการรักษาคองรากฟัน และทำการบูรณะหลังรักษาคองรากฟันเสร็จสิ้นแล้วเป็นเวลานานหลายปี (19) มากกว่าครึ่งหนึ่งของผู้ป่วยจะรายงานว่ามีอาการปวดเล็กน้อย และปวดเมื่อมีการบดเคี้ยว (6, 11) แม้ว่าอาการของรากฟันแตกแนวตั้งนั้นจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับอาการของโรคปริทันต์ หรือคล้ายกับอาการของฟันที่รักษาคองรากมาแล้วล้มเหลว โดยผู้ป่วยร้อยละ 35 จะมาพบทันตแพทย์ด้วยการมีหนอง และมีการกลับมารุนแรงขึ้นของรอยโรคเรื้อรังเดิมในบริเวณดังกล่าว (20) บางรายอาจจะมีร่องเหงือกที่เป็นลักษณะปกติ แต่โดยส่วนใหญ่แล้วนั้นมักจะมียูนิปริทันต์ในตำแหน่งเดียวและแยกออกจากตำแหน่งอื่นที่มีลักษณะปกติ จึงมีลักษณะการโพรบที่เป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) (11, 21, 22) ร่องลึกที่เกิดขึ้นมักจะมีตำแหน่งใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดรอยแตก และเมื่อรอยแตกมีขยายตลอดทั้งความยาวรากลักษณะของร่องลึกที่พบได้นั้นอาจเป็นแบบสองข้าง (Bilateral) การตรวจพบร่องลึกในสองตำแหน่งที่ตรงข้ามกันนั้นเป็นลักษณะที่เฉพาะของการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง โดยการวินิจฉัยว่ารากฟันแตกในแนวตั้งที่ดีที่สุดคือการทำศัลยกรรมเพื่อตรวจหารอยแตก เมื่อทำการเปิดแผ่นเหงือกแบบหนา (Full thickness flap) และทำการดึงรั้งแผ่นเหงือกแล้วจะสามารถเห็นรอยแตกบนรากฟันได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ารอยแตกนั้นทำให้เกิดการแยกกันของชิ้นส่วนรากฟัน จะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น แต่ถ้าในระหว่างกระบวนการศัลยกรรม พบว่ามีรอยกระดูกเปิดแยก (Dehiscence) หรือช่องกระดูกโหว่ (Bone fenestration) และหรือไม่สามารถมองเห็นรอยแตกของรากได้ชัดเจน ทางเลือกของการรักษาต่อไปคือการตัดปลายรากฟัน (Apicoectomy)

การตรวจทางภาพถ่ายรังสี

อีกหนึ่งเครื่องมือสำหรับการวินิจฉัยรากฟันแตกในแนวตั้งที่ใช้ร่วมกับการตรวจทางคลินิกคือภาพถ่ายรังสี ซึ่งรากฟันแตกในแนวตั้งจะมีความผันแปรในผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีไป โดยปัจจัยที่จะทำให้สามารถเห็นรอยแตกทางภาพรังสีได้นั้นขึ้นอยู่กับ มุมของแนวรังสีที่ผ่านไปยัง

แนวรอยแตก เวลาที่เกิดรอยแตกนั้น และระดับของการแตกแบบแยกออกจากกันของรากฟัน โดยหนึ่งในรูปแบบของรอยแตกนั้นอาจจะเห็นเป็นลักษณะเงาดำของเส้นผมบนรากฟัน หรืออาจจะมีเงาดำมีลักษณะเป็นเส้น ทอดไปในแนวเดียวกับวัสดุอุดคลองรากฟัน แต่รอยแตกดังกล่าวนี้ตรวจหาได้ยาก และโดยปกติแล้วนั้นภาพรังสีรอบปลายรากจะไม่สามารถตรวจพบได้ แต่กระนั้น Rud และ Omnell (23) ตรวจพบรอยแตกที่มีลักษณะเหมือนเส้นผมได้ถึงร้อยละ 35.7 จากผู้ป่วยที่มีรากฟันแตกในแนวตั้งทั้งหมด 375 ราย อีกกรณีที่สามารถตรวจได้ว่าเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งอย่างชัดเจนคือ รากฟันมีการแตกแยกออกจากกันร่วมกับการละลายของกระดูกรอบปลายรากฟันขนาดใหญ่ โดยขอบเขตของรอยโรคเมื่อเกิดการแตกในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางจะมีลักษณะกระจาย (Diffuse) มากกว่าเมื่อเกิดการแตกในแนวใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น Pitts และ Natkin ในปี ค.ศ. 1983 (21) ได้กล่าวว่าลักษณะเงาโปร่งรังสีในภาพรังสีที่ทอดตลอดแนวความยาวรากมีลักษณะที่เรียกว่าเป็นฮาโล (Halo-like radiolucency) โดยส่วนใหญ่แล้วการเกิดรากแตกนั้นมักเกิดในทิศทางใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น ซึ่งก็จะมีในระยะแรกการละลายของกระดูกจะเกิดเฉพาะกระดูกที่อยู่ด้านเดียวกับรอยแตกเท่านั้น ดังนั้นการตรวจพบว่าการละลายของกระดูกจึงทำได้ยากเพราะว่ามุมของภาพถ่ายรังสีนั้นจะเกิดการซ้อนทับ (Superimposition) จึงแนะนำให้เปลี่ยนมุมแนวระนาบ (Horizontal angulation) เพื่อให้มองเห็นรอยแตกได้ง่ายขึ้น

### ภาพถ่ายรังสี

คิดค้นโดย Roentgen ในปี ค.ศ. 1895 และนำมาใช้ในวงการทันตกรรมโดย Kell ภาพรังสีนั้นได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานเอ็นโดดอนติกส์ โดยใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวินิจฉัยโรคภาพถ่ายรังสีแบบตั้งเดิมนั้นก็ให้รายละเอียดเพียงพอสำหรับการตรวจในบริเวณตัวฟัน รากฟัน และกระดูกในบริเวณโดยรอบ แต่ทว่าในการวินิจฉัยการละลายของรากฟันทั้งภายใน และภายนอกรากฟัน รวมถึงการตรวจรากฟันแตกในแนวตั้งนั้น จะแปลผลภาพรังสีได้ยาก แต่ก็ยังพอทำได้ ยกตัวอย่างเช่นลักษณะที่เป็นเงาโปร่งรังสีแบบฮาโล ซึ่งสามารถอธิบายได้ทั้งการมีเงาโปร่งรังสีร่วมกันทั้งบริเวณรอบปลายราก (Periapical) และข้างราก (Perilateral) หรือการเกิดเงาโปร่งรังสีในลักษณะที่เป็นมุมเริ่มจากกระดูกสัน (Crestal bone) ทอดตามแนวด้านข้างของรากฟัน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ในฟันที่มีรากฟันแตกแนวตั้ง และการแปลผลภาพรังสีของฟันที่มีรากฟันแตกแนวตั้งอาจจะถูกรบกวนด้วยรอยโรคทางเอ็นโดดอนติกส์ หรือรอยโรคทางปริทันต์ โดย Tamse ได้แสดงให้เห็นว่าจะสามารถมองเห็นรากฟันแตกแยกออกจากกันได้เพียงแค่ 3 รายในผู้ป่วยที่มีรากฟันแตกในแนวตั้งทั้งหมด 42 ราย และผู้ป่วยจำนวน 6 ราย จาก 42 ราย นั้นไม่พบว่ามีคามผิดปกติของกระดูก (5) ส่วน Meister และคณะพบว่าในผู้ป่วย 32 รายจะมีการแตกแยกออกจากกันของรากอย่างชัดเจนเพียง 1 รายเท่านั้น และอีก

7 รายงานพบว่าแม้แค่เพียงเงาโปร่งรังสีที่บริเวณปลายราก ดังนั้นการลักษณะทางภาพถ่ายรังสีของราก ฟันแตกแนวตั้งจึงมีความหลากหลาย และตรวจหาได้ยาก (11)

ในปี 1987 ได้มีการนำภาพถ่ายแบบดิจิตอลมาใช้ในทางทันตกรรม โดย Francis Mouyen โดยใช้เครื่องถ่ายภาพชื่อ RadioVisioGraphy (RVG) และใช้ Charge Coupling Device (CCD) เป็นตัวรับภาพ หลังจากนั้นเป็นต้นมาภาพถ่ายรังสีแบบดิจิตอลก็เป็นที่นิยมแพร่หลายมากขึ้นเนื่องจากว่า ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับลดลงลดเวลาในการล้างฟิล์ม รวมถึงสามารถจัดการกับภาพได้ เช่นการขยายภาพ การปรับความคมชัด เป็นต้น นอกจากนี้ภาพรังสีแบบดิจิตอลนั้นยังสามารถเก็บรักษาได้ง่าย ในปัจจุบันชนิดของตัวรับภาพรังสีดิจิตอลนั้นแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ 1.Solid-state detector (CCD) 2. Storage phosphor plate และ 3.Optically scanned digital radiography. โดยความแม่นยำในการตรวจวินิจฉัยของ CCD นั้นเทียบเท่ากับการถ่ายภาพรังสีแบบดั้งเดิมในการตรวจรอยโรครอบปลายรากฟันที่จำลองขึ้นมา (24, 25)

ความสามารถในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งโดยการใช้ภาพถ่ายรังสีในช่องปากนั้นมีข้อจำกัดเนื่องจากว่ารังสีไม่ได้ขนานกับระนาบของรอยแตกและการซ้อนทับกับโครงสร้างทางกายวิภาคอื่นๆ ทำให้ความไว (sensitivity) ของการตรวจหารอยแตกในแนวตั้งนั้นลดลงนอกจากนั้นภาพถ่ายรังสีภายในช่องปากยังอาจมีการบิดเบี้ยวเกิดขึ้นทั้งหมดจึงเป็นผลให้การตรวจหารอยแตกทำได้ยากเมื่อใช้ภาพถ่ายรังสีในช่องปากทั้งแบบดั้งเดิมและแบบดิจิตอล (26)

ภาพรังสีส่วนตัดโดยอาศัยคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในทางทันตกรรม (ซีบีซีที)

โทโมกราฟี (Tomography) หมายถึง ภาพที่ได้จากร่างกายของมนุษย์ที่ถูกตัดแบ่งเป็นเป็นส่วนๆ โดยซีบีซีทีเป็นเทคโนโลยีพัฒนามาจากภาพรังสีส่วนตัดทางการแพทย์ (Medical computed tomography; Medical CT)

ซีบีซีทีใช้แหล่งกำเนิดรังสีเป็นรูปกรวยหรือพีระมิด (Cone-shaped หรือ Pyramid shaped) และตัวรับภาพ 2 มิติ ที่ติดตั้งบนแกนหมุน ซึ่งสามารถหมุนได้รอบเพื่อสร้างภาพเป็นลำดับหลายๆ ภาพต่อเนื่องกันในการสแกนเพียงครั้งเดียวในบริเวณตำแหน่งที่ต้องการแล้วนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันแล้วสร้างเป็นข้อมูลเชิงปริมาตร (Volumetric information)

ภาพซีบีซีทีสามารถสร้างลักษณะทางกายวิภาคให้เป็นรูปร่างสามมิติได้ โดยที่ในภาพถ่ายรังสีทั่วไปนั้นไม่สามารถทำได้ และเมื่อถ่ายภาพซีบีซีที ผู้ป่วยจะได้รับปริมาณรังสีน้อยกว่า ภาพรังสีส่วนตัดทางการแพทย์ เริ่มมีการนำซีบีซีทีมาปรับใช้ในทางทันตกรรมโดย Arai และคณะในปี ค.ศ. 1997 โดยใช้เครื่องสแกนดอรา (Scandora, Sorodex) มาทำการดัดแปลงให้มีบริเวณเห็นภาพ (Field of view; FOV) ที่มีขนาดเล็ก มีความละเอียดสูง (High-resolution) และมีปริมาณรังสีที่ต่ำ ซึ่งเรียกเครื่องซีทีใหม่นี้ว่า ORTHO CT และต่อมาได้พัฒนาเป็นเครื่อง Accuitomo 3DX (Morita Co.,

Kyoto, Japan) ซึ่งเป็นเครื่องที่หมุนในลักษณะรูปตัวซี (Rotational C-arm device) ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับเครื่องถ่ายภาพรังสีพานอรามิก โดยแกนหมุนรูปตัวซีจะหมุนรอบศีรษะของผู้ป่วยจนครบ 360 องศา จากนั้นข้อมูลจะส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์และทำการสร้างภาพขึ้นมาใหม่ (Reconstruction) โดยขนาดว็อกเซล (Voxel size) นั้นก็จะมีหลายขนาดให้เลือก โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.125 จนถึง 0.200 มม. และยังสามารถสร้างภาพสามมิติได้ และสามารถดูภาพได้แนวตัดแกนกลาง (Axial) แนวหน้าหลัง (Coronal) และแนวซ้ายขวา (Sagittal) โดยภาพรังสีซีทีที่ได้นั้นจะมีสิ่งแปลกปน มารบกวนการแปลภาพเพียงเล็กน้อย

ได้มีการแนะนำว่าสำหรับการถ่ายภาพรังสีนั้นควรยึดหลัก ALARA ซึ่ง Ekestubbe และคณะพบว่าปริมาณรังสีที่เกิดจากการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากในบริเวณฟันกรามนั้นมีปริมาณรังสีเพียงแค่ 0.01-0.02 ไมโครซีเวิร์ท (27) และตามการศึกษาของ Ludlow และคณะ พบว่าการถ่ายภาพรังสีซีทีซีทีจะมีปริมาณรังสีมากกว่าการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก 4-42 เท่า และถ้าลดขนาดของบริเวณเห็นภาพให้เล็กลง ปริมาณรังสีที่ใช้ก็น้อยลงตามด้วย (28) ส่วนการศึกษาของ Hirsch และคณะ พบว่าเมื่อถ่ายภาพรังสีซีทีซีทีจะมีเอฟเฟกทีฟโดส (Effective dose) อยู่ที่ 20.02 ไมโครซีเวิร์ท เมื่อใช้บริเวณเห็นภาพขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร (29, 30)

เนื่องจากเนื้อเยื่อของมนุษย์มีความไวต่อรังสีที่แตกต่างกัน และปริมาณรังสีที่ใช้ไม่สามารถบอกถึงผลกระทบทางชีวภาพต่อเนื้อเยื่อได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นต่อการเกิดผลกระทบทางชีวภาพหลังจากที่มนุษย์ได้รับรังสีซึ่งเป็นการวัดระดับความอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อเนื้อเยื่อของมนุษย์เมื่อได้รับรังสีจึงหมายถึงเอฟเฟกทีฟโดสที่ได้จากผลรวมของปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นของทุกอวัยวะในระหว่างการถ่ายภาพรังสีคูณกับความไวต่อรังสี (Radiation sensitivity) ของเนื้อเยื่อที่ถูกกำรังสีอีกซ์ผ่านที่มีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละอวัยวะ โดยจะวัดในหน่วยซีเวิร์ทส์ และมักจะแสดงในรูปไมโครซีเวิร์ทส์ เนื่องจากปริมาณรังสีที่ใช้บ่อยๆ (31)

หนึ่งในข้อดีที่ซีทีซีทีเหนือกว่าภาพรังสีส่วนตัดทางการแพทย์คือมีเอฟเฟกทีฟโดส น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (32) ดังรูปที่ 1 เครื่องถ่ายภาพรังสีซีทีซีทีที่มีเอฟเฟกทีฟโดสแตกต่างกันไปตามแต่ละยี่ห้อแต่อย่างไรก็ตามก็ยังน้อยกว่าเครื่องพานอรามิก และภาพรังสีส่วนตัดทางการแพทย์ ซึ่งอาจเป็นเพราะสแกนเนอร์ (Scanner) มีปริมาตร (Volume) ที่จำกัดซึ่งออกแบบมาเฉพาะเพื่อถ่ายบริเวณเล็กๆ ของขากรรไกร และการที่ซีทีซีทีมีสแกนเนอร์ที่มีปริมาตรจำกัด (Limited volume scanner) นั้นจึงเหมาะสมสำหรับงานเอนโดดอนติกส์ที่ต้องการถ่ายเพียงฟัน 1-3 ซี่ และมีการศึกษาพบว่าซีทีซีทีสแกนเนอร์ของ 3D accuimoto, J morita มีเอฟเฟกทีฟโดสเทียบเท่า การถ่ายภาพรังสีรอบปลายราก (Periapical radiograph) เพียง 2 -3 ฟิล์มเท่านั้น

ภาพถ่ายรังสีซีทีซีทีมีประโยชน์ในการตรวจวินิจฉัยรอยแตก(33)และรอยโรครอบปลายราก (34) รวมถึงมีประโยชน์ในการใช้สำหรับการวางแผนศัลยกรรมทางเอนโดดอนติกส์ (35) และการ

ทำงานทางด้านทันตกรรมรากเทียม (29) นอกจากนี้ซีบีซีทียังสามารถใช้ในการตรวจวิเคราะห์ความผิดปกติของข้อต่อขากรรไกร และกระบวนการละลายของรากฟันได้ เนื่องจากภาพซีบีซีทีนั้นมีความละเอียดที่สูงเพียงพอ (36, 37)

แม้ว่าซีบีซีทีจะมีประโยชน์หลายประการ แต่ก็ยังคงมีข้อจำกัดบางอย่าง โดยซีบีซีทีนั้นไม่ได้มีอยู่ทั่วไปตามคลินิกทันตกรรม (38) และภาพรังสีซีบีซีทียังมีการเกิดสิ่งแปลกปน ทั้งลักษณะที่เป็นริ้ว (streak artifact) และบีมฮาร์ดเดนนิง (beam hardening) (39-41) ซึ่งสิ่งแปลกปนเหล่านี้จะไปทำให้คุณภาพของภาพรังสีซีบีซีทีลดลง

<i>Ionizing Radiation Dosages (approximate)</i>		
<b>Activity</b>	<b>Effective Dose in <math>\mu</math>Sv</b>	<b>Dose as Days of Equivalent Background Radiation</b>
1 day background radiation, sea level	7-8	1
1 digital PA radiograph	6	1
4 dental bite-wing radiographs, F-speed film	38	5
FMX; PSP or F-speed film	171	21
Kodak® CBCT focused field, anterior	4.7	0.71
Kodak® CBCT focused field, maxillary posterior	9.8	1.4
Kodak® CBCT focused field, mandibular posterior	38.3	5.47
3D Accuitomo, J. Morita	20	3
NewTom 3G, ImageWorks	68	8
Chest x-ray	170	25
Mammogram	700	106
Medical CT, head	2,000	243
Medical Cat Scan (Spiral CT abdomen)	10,000	1,515
Federal Occupation Safety Limit per Year	50,000	7,575

*Ludlow JB et al. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology. Dentomaxillofac Rad 2006; 35: 219-226.*  
*White SC, Pharoah MJ. Oral Radiology: Principles and Interpretation. 2009. Mosby Elsevier, St. Louis, Missouri.*

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบเอฟเฟกทีฟโดสของเครื่องเอ็กซเรย์ชนิดต่างๆ (42)

สิ่งแปลกปนในภาพรังสีซีบีซีที (Artifact in CBCT) (43)

#### 1. น้อยส์ (Noise)

เป็นปัจจัยทำให้ภาพรังสีมีคุณภาพแย่ลง โดย 2 ปัจจัยของ น้อยส์ที่ควรตระหนักในการทำ การรวมภาพให้เป็นสามมิติ (Reconstructed image) คือข้อผิดพลาดที่เกิดจากการหมุนไม่ครบรอบของการถ่ายภาพรังสีซีบีซีที (Additive noise stemming round off error) และ photon count noise หรือน้อยส์อาจหมายถึง ภาพที่ไม่ชัดเจนได้เช่นกัน โดยซีบีซีทีจะใช้ปริมาณรังสีน้อยกว่าภาพรังสีส่วน ตัดทางการแพทย์ทำให้ได้ภาพที่ไม่ชัดเจนจึงมีโอกาสเกิดน้อยส์มากกว่า

#### 2. บีมฮาร์ดเดนนิง



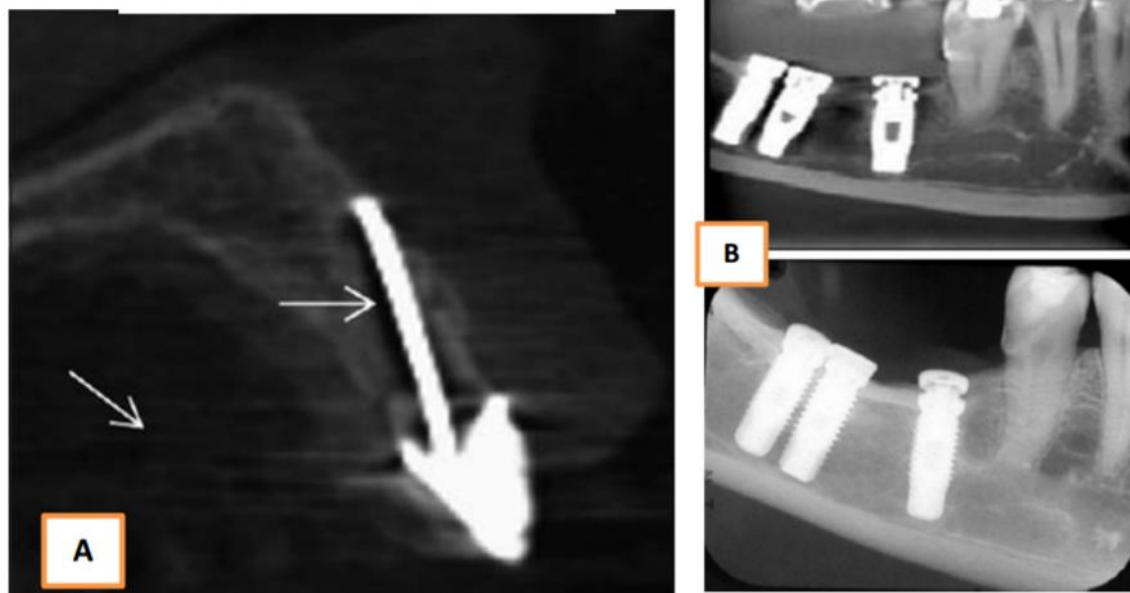
ภาพรังสีที่ได้บางครั้งสามารถเกิดสิ่งแปลกปนขึ้นได้ เมื่อลำรังสีเอ็กซ์ ตกกระทบบนวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงมาก เช่นเคลือบฟันหรือ วัสดุบูรณะที่เป็นโลหะทำให้โฟตอนที่มีความพลังงานระดับต่ำถูกดูดกลืนโดยวัตถุ แทนที่โฟตอนที่มีความพลังงานระดับสูง ทำให้พลังงานเฉลี่ยของลำรังสีเอ็กซ์มีค่าเพิ่มขึ้น เรียกว่าเกิดบีมฮาร์เดนนิ่งและปรากฏการณ์นี้จะสร้างสิ่งแปลกปนขึ้น 2 ชนิด คือ

1. เกิดเป็นริ้ว (Streak) และแถบเงาดำ (Dark bands) รอบ ๆ วัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (ดังรูปที่ 2A)

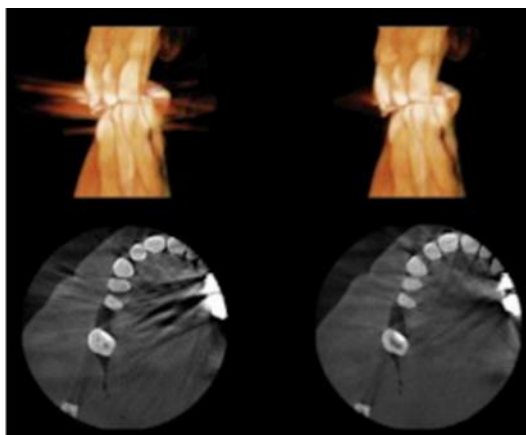
2. เกิดการบิดเบี้ยวของวัตถุที่โครงสร้างเป็นโลหะที่เรียกว่าสิ่งแปลกปนลักษณะรูปถ้วยหรือคัพปีงอาร์ติแฟกต์ (Cupping artifact) (ดังรูปที่ 2B) ซึ่งสิ่งแปลกปนเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการวินิจฉัยโรค (40, 44)

### 3. การกระเจิง (Scatter)

คือการกระเจิงของโฟตอนที่ไม่เป็นเส้นตรงหลังจากกระทบวัตถุบางอย่าง ซึ่งทำให้เพิ่มความรุนแรงของโฟตอน (Photon intensity) เหตุการณ์นี้ทำให้เกิดผลคล้ายบีมฮาร์เดนนิ่งและลดความต่างของเนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue contrast) ด้วย (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 แสดงบีมฮาร์เดนนิ่ง A. แสดงการเกิดริ้วและแถบเงาดำรอบ ๆ วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง B. แสดงการเกิดคัพปีงอาร์ติแฟกต์ในภาพรังสีซีบีซีที (บน) เมื่อเทียบกับภาพรังสี รอบปลายราก (ล่าง)



รูปที่ 3 แสดงการกระเจิง (ซ้าย) แสดงภาพที่มีการกระเจิง(ขวา) แสดงภาพหลังจากใช้โปรแกรม  
ปรับแต่งเพื่อลดการกระเจิง

เนื่องมาจากการแปลภาพรังสีซีบีซีทีนั้นยังไม่ค่อยมีการฝึกฝนให้ทันตแพทย์ทั่วไปได้ฝึกแปลผลจึงแนะนำว่าการแปลภาพรังสีซีบีซีทีควรให้รังสีทันตแพทย์เป็นผู้แปลภาพรังสีให้ เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือในการแปลภาพมากกว่าทันตแพทย์ทั่วไป และในทางเอ็นโดดอนติกส์นั้นสามารถใช้ซีบีซีทีได้ในหลายๆด้าน สมาคมทันตแพทย์รักษารากฟันแห่งสหรัฐอเมริกา (American Association of Endodontists; AAE) จึงได้ร่างแนวปฏิบัติในปี ค.ศ. 2015 เกี่ยวกับการใช้ซีบีซีทีซึ่งได้กล่าวว่าซีบีซีทีนั้นไม่ได้ใช้ทั่วไปในการรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์แต่จะใช้ซีบีซีทีก็ต่อเมื่อภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากนั้นไม่สามารถให้ข้อมูลที่ต้องการได้

ในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งนั้นควรใช้ซีบีซีทีเป็นทางเลือกเมื่อการตรวจทางคลินิกและภาพรังสีสองมิติไม่สามารถให้ข้อสรุปในการวินิจฉัยได้ โดยมีการศึกษาทางคลินิกพบซีบีซีทีนั้นมีความไว (Sensitivity) และความจำเพาะ (Specificity) มากกว่าภาพถ่ายรังสีรอบปลายราก (45) Edlund และคณะได้กล่าวว่าความไวของซีบีซีทีนั้นเท่ากับร้อยละ 88 และความจำเพาะอยู่ที่ร้อยละ 75 (44) และมีอีกหลายการศึกษาที่พบว่าซีบีซีทีนั้นมีความไวและความจำเพาะที่สูงกว่าภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง ซึ่งแสดงออกมาในรูปของอัตราความเสี่ยง (Odd ratio) คือซีบีซีทีเท่ากับ 0.752 และ 0.652 ในพื้นที่ทำการอุดและไม่อุดคลองรากฟันตามลำดับ ในขณะที่ภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากแบบสองมิตินั้นอยู่ที่ 0.242 และ 0.961 ตามลำดับ (46) แต่อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta-analysis) โดย Corbella และคณะในปี ค.ศ. 2014 ที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของซีบีซีทีกับภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากพบว่า ภาพถ่ายรังสีทั้งสอง

ชนิดมีประสิทธิภาพในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งทั้งในฟันที่อุดและไม่อุดคลองรากไม่แตกต่างกัน  
(1)

คุณภาพของภาพรังสีซีซีทีนั้นจะลดลงเมื่อมีวัสดุที่มีความทึบรังสีสูง เช่น โลหะ ภายในคลองรากฟัน เพราะจะทำให้เกิดเป็นบิมฮาร์เดนนิ่งซึ่งไปมีผลต่อกระบวนการแปลภาพถ่ายรังสี โดยเฉพาะในการตรวจหารอยแตกของรากฟัน *Junquira* และคณะได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของภาพรังสีซีซีทีและภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากฟันในคลองรากฟันที่มีเดือยโลหะ โดยใช้ซีซีทีที่มีขนาดว็อกเซล 0.125 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าความสามารถในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในฟันที่มีเดือยโลหะเมื่อทำการถ่ายภาพรังสีทั้งสองชนิดนั้นไม่แตกต่างกัน (46) และขนาดของว็อกเซลก็ไม่ได้มีผลต่อการวินิจฉัยรากฟันแตกแนวตั้งในฟันที่มีเดือยโลหะในคลองรากฟัน *Melo* และคณะ ได้ทำการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งโดยใช้ภาพซีซีทีที่มีขนาดว็อกเซล 0.3 และ 0.2 มิลลิเมตร ในคลองรากฟันที่อุดด้วยกัตาเพอร์ชา และมีเดือยโลหะใส่ร่วมด้วย จากการศึกษาได้ข้อสรุปว่าเมื่อมีวัสดุทึบรังสีปรากฏในคลองรากฟัน ทั้งคลองรากฟันที่อุดด้วยกัตาเพอร์ชา และคลองรากฟันที่อุดด้วยกัตาเพอร์ชาและใส่เดือยโลหะร่วมด้วย การมีวัสดุดังกล่าวในคลองรากฟันจะลดความจำเพาะของภาพรังสีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง (47) ส่วน *da Silveira* และคณะกล่าวว่าในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งหากภายในคลองรากฟันมีวัสดุทึบรังสี ให้เลือกใช้ว็อกเซลขนาด 0.2 มิลลิเมตร และในคลองรากฟันที่ปราศจากวัสดุทึบรังสีให้เลือกใช้ว็อกเซลขนาด 0.3 มิลลิเมตร แต่อย่างไรก็ดีก่อนจะเลือกถ่ายซีซีทีควรใช้ภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนมุมแนวระนาบ (48) ซึ่งสอดคล้องกับข้อแนะนำของสมาคมทันตแพทย์รักษารากฟันแห่งสหรัฐอเมริกาที่แนะนำให้ส่งถ่ายภาพรังสีซีซีทีเมื่อภาพรังสีสองมิติไม่สามารถให้ข้อมูลที่ครบถ้วน โดยจากการศึกษาต่างๆ นั้น ประสิทธิภาพของภาพถ่ายรังสีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีเดือยโลหะนั้นยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด

มีการศึกษาถึงความสามารถของภาพถ่ายรังสีซีซีทีในการตรวจหารอยแตกแนวตั้งจำลองในคลองรากฟันที่ใส่เดือยฟันชนิดเส้นใยเรซิน เปรียบเทียบกับคลองรากฟันที่ใส่เดือยฟันไทเทเนียม โดยภาพซีซีทีสามารถตรวจหารอยแตกในฟันที่ใส่เดือยฟันเส้นใยเรซินได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า (49) *de Rezende Barbosa* และคณะในปี ค.ศ. 2016 พบว่าเมื่อใช้ภาพถ่ายรังสีซีซีทีในฟันที่จำลองให้เกิดรากฟันแตกแนวตั้ง และใส่เดือยฟันชนิดต่างๆ นั้น ในเดือยฟันชนิดเส้นใยเรซิน สามารถตรวจพบว่ามีรากฟันแตกแนวตั้งได้ไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมคือกลุ่มที่ไม่มีเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีความไวและความเที่ยงตรงต่อการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญ (50) นอกจากนี้แล้ว ยังพบว่าแม้จะใช้โปรแกรมที่ช่วยลดสิ่งแปลกปนในภาพรังสีซีซีทีก็ให้ผลในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งที่ไม่แตกต่างกับการไม่ใช้โปรแกรมลดสิ่งแปลกปน (51)

The 3D Accuitomo 170 CBCT (J. Morita, Kyoto, Japan)

3D Accuitomo 170 เป็นรุ่นที่ 4 ของผลิตภัณฑ์ในสาย Accuitomo ซึ่งจะลดปริมาณของรังสีลงจากรุ่นก่อนถึงร้อยละ 30-40 แม้ว่าจะเลือกใช้บริเวณเห็นภาพที่มีขนาดใหญ่ที่สุดก็ยังคงได้รับรังสีน้อยกว่าภาพรังสีรอบปลายรากทั้งปาก (FMX, F-speed film) ร้อยละ 25 (20) มีบริเวณเห็นภาพให้เลือก 9 ขนาด เริ่มจากขนาด 40X40 mm สำหรับงานเอ็นโดคอนติคส์ หรือหารอยแตกไปจนถึงขนาด 170X120 mm ซึ่งจะเห็นบริเวณ ศีรษะลำคอทั้งหมด เหมาะสำหรับการวางแผนการรักษาศัลยกรรมหรือทันตกรรมรากเทียม ([www.global.morita.com](http://www.global.morita.com))

จากการศึกษาการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งทางคลินิกในฟันที่รักษารากฟันแล้ว โดยใช้เครื่อง 3D Accuitomo 170 พบว่า มีความเที่ยงตรงมากกว่า NewTom 3G โดยที่ความกว้างของรอยแตก (Fracture line) และรูปแบบการทดลอง (การทดลองในมนุษย์หรือการทดลองในห้องปฏิบัติการ) มีผลต่อความแม่นยำของการวัด การทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro) จะสามารถตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งได้แม่นยำกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความกว้างของรอยแตก 50-150 ไมโครเมตร (52)

### คำถามงานวิจัย

ความเที่ยงตรงของภาพถ่ายรังสีซีบีซีซีทีต่อการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บร้งสีชนิดต่างๆ เทียบเท่ากับคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสีหรือไม่

### วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีบีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้ว และมีวัสดุที่บร้งสี

### สมมติฐานงานวิจัย

H0: ความเที่ยงตรงของภาพถ่ายรังสีซีบีซีซีทีต่อการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บร้งสี กับคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสีไม่แตกต่างกัน

H1: ความเที่ยงตรงของภาพถ่ายรังสีซีบีซีซีทีต่อการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บร้งสี กับคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสีแตกต่างกัน

### ขอบเขตงานวิจัย

เป็นงานวิจัยภายในห้องปฏิบัติการศุนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และคลินิกรังสีวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีบีซีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้ว และถูกปิดกั้นด้วยวัสดุที่บร้งสีชนิดต่างๆ โดยอาจนำผลการศึกษาไปประกอบการตัดสินใจว่าจะรี้อวัสดุที่บร้งสีออกจากคลองรากฟันก่อนส่งถ่ายภาพรังสีซีบีซีซีทีเพื่อตรวจหาว่าฟันซี่นั้นมีรากฟันแตกในแนวตั้งหรือไม่

## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 ฟันกรามน้อยล่างที่มีคลองรากเดี่ยวจำนวน 60 ซี่ และมีความโค้งตามการวัดด้วยวิธีการของ Schneider ในปี ค.ศ.1971 ไม่เกิน 10 องศา (53)

1.2 เครื่องตัดฟัน

1.3 เครื่องยูนิเวอร์ซอล เทสติ้ง แมชีน (Universal testing machine; Instron 8872, Instron corp., Norwood, MA, USA)

1.4 แท่งโลหะรูปลิ้ม

1.5 อีพ็อกซี เรซินสำหรับทำบล็อกฟัน

1.6 ซิลิโคนชนิด พุดดี (putty body silicone)

1.7 เครื่องถ่ายภาพรังสี ไมโครซีที SKYSCAN 1173 (Bruker corporation, Kontich, Belgium)

1.8 เครื่องถ่ายภาพรังสี 3D Accuitomo170 CBCT (J. Morita, Kyoto, Japan)

1.9 เครื่องถ่ายภาพรังสีภายในช่องปากระบบดิจิทัล พร้อมแผ่นรับภาพชนิด พีเอสพี

1.10 ตะไบชนิดหมุนด้วยมอเตอร์ โปรแทปเปอร์ ยูนิเวอร์ซอล ขนาด เอฟสาม (DentsplySirona, Maillefer, Switzerland)

1.11 แอคเซสซอรี โฟสต์ (Fibercone™, R.T.D., Saint Egreve, France)

1.12 แท่งกัดตัด้าเพอร์ซาขนาดเอฟสาม (DentsplySirona, Maillefer, Switzerland)

### 2. การเตรียมฟัน

2.1 นำฟันกรามน้อยล่างของมนุษย์รากตรงและมีหนึ่งคลองรากที่ถูกถอนเนื่องจากการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เก็บฟันในสารละลายไทมอลความเข้มข้นร้อยละ 0.1

2.2 ทำการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากด้วยเทคนิคขนานในแนวใกล้แก้มใกล้ลิ้นและในแนวใกล้กลางใกล้กลาง เพื่อยืนยันว่ามีเพียงหนึ่งคลองรากฟัน

2.3 ตัดส่วนตัวฟันออก ให้เหลือเฉพาะส่วนของรากฟันวัดจากส่วน ตัวฟันถึงปลายรากให้ได้ความยาว 15 มิลลิเมตร โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ชนิดดิจิทัล (Digital vernier caliper) ดังรูปที่ 4

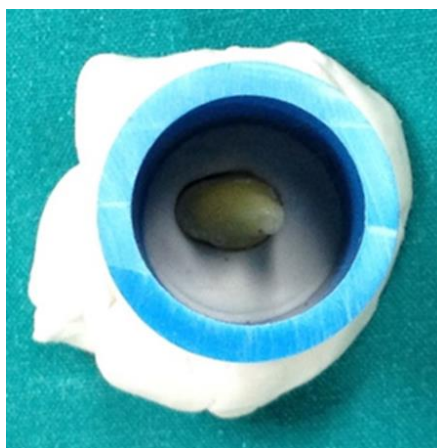


รูปที่ 4 แสดงการตัดส่วนตัวฟันออกให้เหลือส่วนที่วัดจากตัวฟันถึงปลายรากฟันยาว 15 มิลลิเมตร

2.4 ใส่ตะไบชนิดเคเบอร์ 15 ลงไปให้ถึงรูปเปิดปลายรากจากนั้นถอยร่นขึ้นมา 1 มิลลิเมตร ใช้เป็นความยาวทำงาน

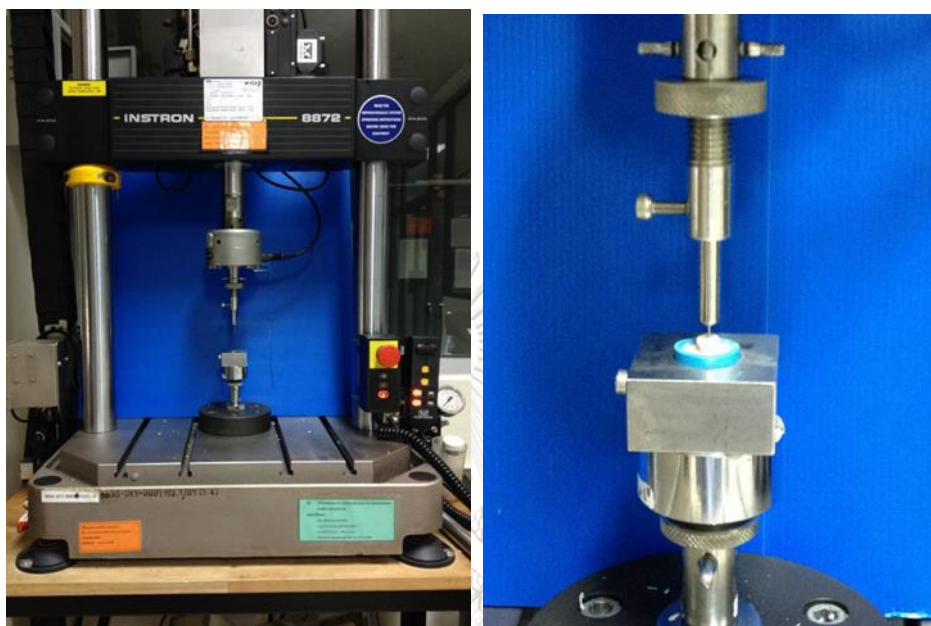
2.5 เตรียมคลองรากฟันด้วยตะไบชนิดหมุน โปรแทปเปอร์ ยูนิเวอร์ซอล ขนาดเอสเอ็กซ์ จนถึง ขนาดเอฟสาม ในทุกคลองรากฟัน ขณะเปลี่ยนเครื่องมือล้างคั่นด้วยน้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 นำฟันไปติดตั้งในบล็อกอีพ็อกซี เรซิน (Epoxy resin block) โดยห่อหุ้มส่วนของรากฟัน ด้วยซิลิโคนชนิดพุดตี้ เพื่อจำลองเป็นเป็นยึดปริทันต์ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 แสดงการเตรียมการติดตั้งฟันในเรซินบล็อก

2.7 นำบล็อกฟันจำนวน 40 ชิ้น ไปจำลองให้เกิดรากฟันแตกแนวตั้ง โดยใช้เครื่องยูนิเวอร์ซอล เทสติ้ง แมชีน (Instron 8872, Instron corp., Norwood, MA, USA) และหัวกดรูปปลี้ม โดยกำหนด ความเร็วของการกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งเกิดรากแตก ส่วนอีก 20 ชิ้นเป็นกลุ่มควบคุมไม่ทำ ให้เกิดการแตกของรากฟัน (รูปที่ 6)



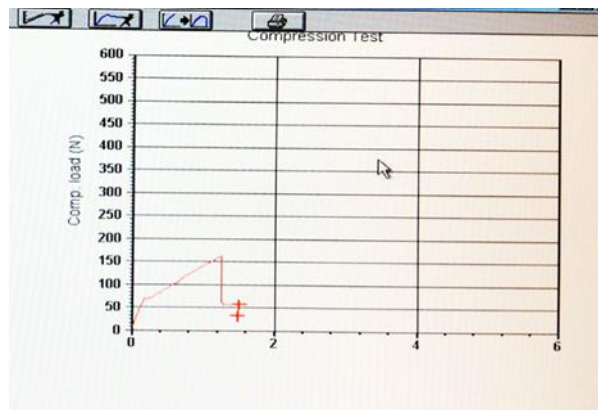
รูปที่ 6 แสดงวิธีการจำลองให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้งโดยเครื่อง Instron 8872 (Instron corp., Norwood, MA, USA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<b>Speed 1:</b>	<b>Value:</b>	<b>Speed 2:</b>
<input type="text" value="1.0000"/> <input type="text" value="mm/min"/>	<input type="text" value="1.00"/> <input type="text" value="min"/>	<input type="text" value="50.0000"/> <input type="text" value="mm/min"/>
<b>Test stop</b>		
<b>Criteria:</b>	<input type="text" value="Load Drops By"/>	<b>Value:</b> <input type="text" value="80.000"/> %
<b>Action:</b>	<input type="text" value="Stop then return"/>	<b>Threshold:</b> <input type="text" value="60.000"/> <input type="text" value="N"/>

รูปที่ 7 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแรงกดที่ทำให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้งโดยเครื่อง Instron 8872 (Instron corp., Norwood, MA, USA)



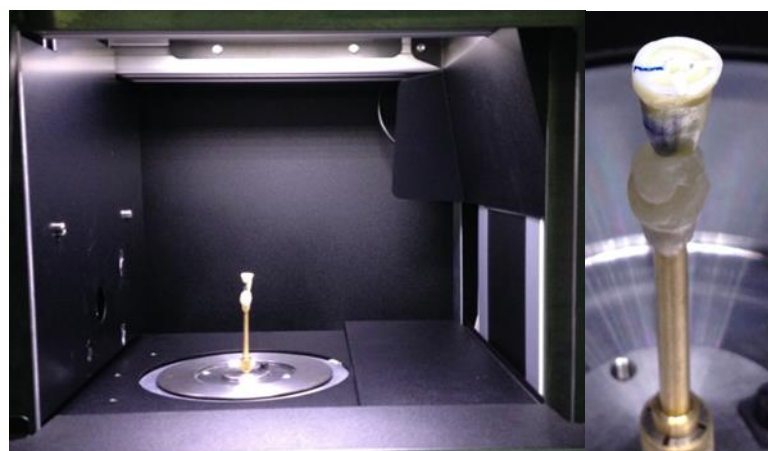


รูปที่ 8 แสดงกราฟการตกลงของแรงกดขณะเกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง

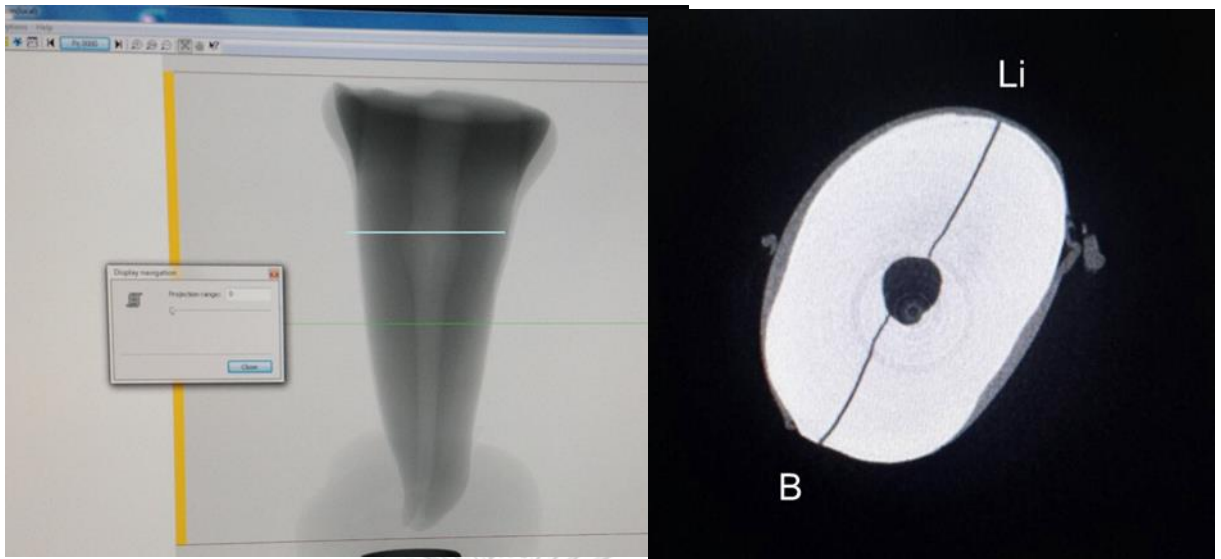
2.8. แกะฟันออกจากบล็อกและนำฟันทุกซี่ไปเข้าเครื่องถ่ายภาพรังสีไมโครซีที SKYSCAN 1173 (Bruker corporation, Kontich, Belgium) โดยใช้ความละเอียด 0.89 ไมโครเมตร เพื่อยืนยันว่ามีการแตกของรากฟันในแนวตั้งเกิดขึ้นจริง



รูปที่ 9 แสดงเครื่องถ่ายภาพรังสีไมโครซีที SKYSCAN 1173 (Bruker corporation, Kontich, Belgium)



รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งฟันในการถ่ายภาพรังสีไมโครซีที



รูปที่ 11 แสดงภาพถ่ายรังสีโมโครซีทีที่แสดงให้เห็นว่าเกิดรากฟันแตก

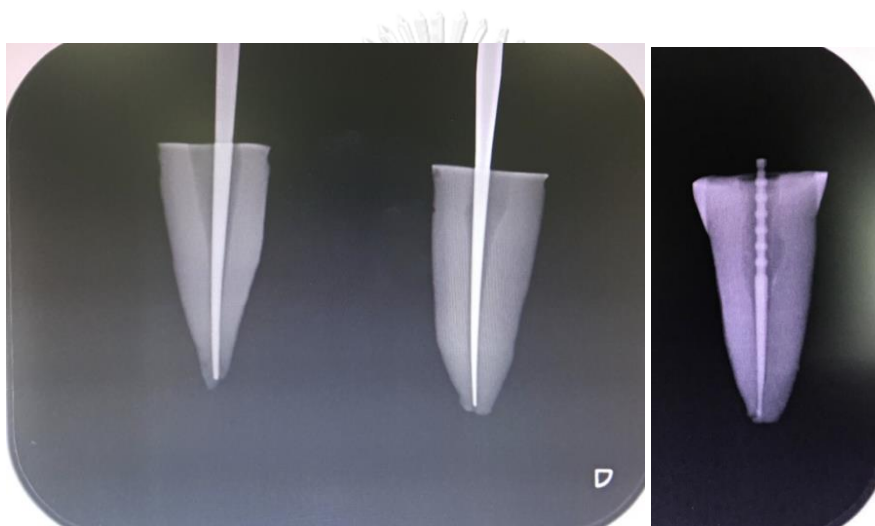
### 3.การถ่ายภาพรังสีซีบีซีที

3.1 นำขากรรไกรล่างของมนุษย์มาทอหุ้มด้วยซิลิโคนชนิดพุดตี้ เพื่อจำลองลักษณะของเนื้อเยื่ออ่อน



รูปที่ 12 แสดงการทอหุ้มขากรรไกรล่างของมนุษย์ด้วยพุดตี้ซิลิโคนและการติดตั้งฟันลงในเบ้าฟันก่อนทำการถ่ายภาพรังสีซีบีซีที

3.2. ติดตั้งฟันในขากรรไกรล่างมนุษย์ที่ผ่านการห่อหุ้มซิลิโคนเรียบร้อยแล้วมาถ่ายภาพรังสีซีซีพีซีทีด้วยเครื่อง 3D Accuitomo 170 (J. Morita, Kyoto, Japan) โดยเลือกขนาดของบริเวณเห็นภาพ 40x40 มิลลิเมตรและขนาดว็อกเซล 0.125 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดว็อกเซลที่ผู้แปลภาพรังสีสามารถเห็นรอยแตกได้ชัดเจนที่สุด (จากการศึกษานำร่อง) โดยฟันทุกซี่จะได้รับการใส่วัสดุที่บร้งสี 3 ชนิดในคลองรากฟัน คือเดือยฟันโลหะเหวี่ยง กัดตาเพอร์ชาโคนขนาดเอฟสาม และ เดือยฟันเส้นใยเรซิน โดยวัสดุที่บร้งสีทั้งสามชนิดต้องสามารถใส่ลงไป ในคลองรากฟันได้ถึงส่วนครึ่งรากส่วนปลาย (Apical half) โดยใช้ภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากเทคนิคขนาน ดังรูปที่ 13 และคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสีเป็นกลุ่มควบคุม



รูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้รับการใส่วัสดุที่บร้งสีทั้งสามชนิด ซ้ายกัดตาเพอร์ชาโคนขนาดเอฟสาม กลางเดือยฟันโลหะเหวี่ยง และขวาเดือยฟันเส้นใยเรซิน โดยวัสดุที่บร้งสีทั้งสามชนิดสามารถใส่ลงไปถึงครึ่งรากส่วนปลาย

3.3. นำภาพที่ได้จากการถ่ายภาพซีซีพีซีทีที่ผ่านการสร้างภาพสามมิติ (Reconstruction) โดยโปรแกรม One Volume Viewer (J. Morita, Kyoto, Japan) แล้วตัดสไลด์ในทั้ง 3 ระนาบคือระนาบตัดขวาง ระนาบตัดแบ่งซ้ายขวา และระนาบตัดแบ่งหน้าหลัง ทำการสุ่มให้ผู้แปลภาพรังสีซึ่งประกอบด้วยทันตแพทย์เฉพาะทางด้านคลองรากฟัน (Endodontist) จำนวน 2 คนและทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยาช่องปากขากรรไกรและใบหน้า (Dentomaxillofacial radiologist) จำนวน 2 คนทำการแปลผลภาพรังสี

## การแปลภาพถ่ายรังสีซีซีทีและการวิเคราะห์ข้อมูล

### 1 การสอบเทียบผู้แปลภาพรังสี

ก่อนเริ่มให้ผู้แปลภาพรังสี เริ่มทำการแปลภาพรังสีในการทดลอง ผู้แปลภาพรังสีซึ่งประกอบด้วยทันตแพทย์เฉพาะทางด้านคลองรากฟันจำนวน 2 คน และทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยาช่องปาก ขากรรไกรและใบหน้า จำนวน 2 คน จะได้รับการสอบเทียบเพื่อปรับมาตรฐานการแปลภาพรังสี โดยมีวิธีการสอบเทียบดังนี้

1.1 ให้ผู้แปลภาพรังสีฝึกแปลภาพรังสีจากภาพถ่ายรังสีซีซีทีทั้งในคลองรากฟันที่มีรอยแตก และในคลองรากฟันที่ไม่มีรอยแตกจำนวน 60 ภาพ

1.2 ทำการสุ่มภาพรังสีซีซีทีทั้งในคลองรากฟันที่มีรอยแตก และไม่มีรอยแตกจำนวน 20 ภาพมาให้ผู้แปลภาพรังสีแต่ละคนแปลภาพอย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยมีหลักเกณฑ์ในการแปลภาพรังสีดังนี้

การแปลภาพจะประเมินจากทั้ง 3 ระนาบ คือระนาบตัดแกนกลาง ระนาบแบ่งหน้าหลัง และระนาบแบ่งซ้ายขวา โดยฟันแต่ละซี่จะได้รับการให้คะแนนเพียง 1 ระดับจากทั้งหมด 5 ระดับ

ผู้แปลภาพรังสีสามารถปรับขยายภาพ เพิ่มความสว่าง และปรับความต่างของสีขาวและสีดำของภาพรังสีได้โดยการใช้ software one volume viewer (J morita corp., Kyoto, Japan)

ลักษณะทางภาพรังสีในการตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในภาพรังสีซีซีที คือต้องพบเส้นโปร่งรังสี (radiolucent line) พาดผ่านรากฟันทั้งแบบสมบูรณ์ หรือบางส่วน ปรากฏบนภาพตัดสไลด์อย่างน้อยสองสไลด์ติดต่อกัน (26, 54) โดยฟันที่จัดว่าเป็นฟันรากแตกนั้นจะต้องตรวจพบว่ามี รอยแตกของรากฟันหนึ่งในสามของสไลด์

การให้คะแนน

ผู้แปลภาพรังสีจะให้ลำดับคะแนนโดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้คือ

- 1= ไม่มีรอยแตกอย่างแน่นอน (fracture definitely absent)
- 2= อาจจะไม่มียรอยแตกปรากฏ (fracture probably absent)
- 3= ไม่แน่ใจว่ามีหรือไม่มีรอยแตก (unsure if present or absent)
- 4= อาจจะมีรอยแตกปรากฏ (fracture probably present)
- 5= พบรอยแตกอย่างชัดเจน (fracture definitely present)

1.3 เมื่อผู้แปลภาพรังสีสามารถแปลภาพรังสีในข้อ 1.2 ได้อย่างถูกต้องมากกว่าร้อยละ 70 จึงจะให้ผู้แปลภาพรังสีเริ่มแปลภาพรังสีที่ใช้ในการทดลอง

1.4. หากผู้แปลภาพรังสีคนใดไม่สามารถแปลภาพรังสีได้ผ่านตามเกณฑ์ในข้อ 1.3 ผู้แปลภาพรังสีคนดังกล่าวจะได้รับการสอบเทียบใหม่ โดยให้ผู้แปลภาพรังสีทำตั้งแต่ข้อ 1.1 จนถึง 1.3 ใหม่ อีกครั้งจนกว่าจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

## 2 การแปลภาพรังสีซีซีทีในการทดลอง

2.1 การแปลภาพรังสีซีซีทีในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรังสี (กลุ่มควบคุม)

2.1.1 ผู้แปลภาพรังสีที่ผ่านการสอบเทียบตามเกณฑ์ที่กำหนดจะได้รับการมอบหมายให้แปลภาพรังสีซีซีทีในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรังสีจำนวน 60 ภาพ อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยลำดับการอ่านภาพรังสีของผู้แปลภาพรังสีแต่ละคนจะได้รับการสุ่มให้แปลภาพรังสีแบบคละกัน โดยมีหลักเกณฑ์การแปลภาพรังสีเช่นเดียวกับข้อ 1.2

2.1.2 ผู้แปลภาพรังสีจะแปลภาพรังสีไม่เกิน 20 ภาพต่อวันเพื่อป้องกันการล้าของสายตา

2.1.3 ทำการสุ่มเลือกภาพถ่ายรังสีซีซีทีในข้อ 2.1.1 จำนวน 20 ภาพ มาให้ผู้แปลภาพรังสีทำการแปลอีกครั้งหลังจากผ่านการแปลภาพรังสีครั้งแรกไปเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อทวนสอบความเชื่อถือได้ของการแปลภาพรังสีภายในตัวผู้ถ่ายภาพรังสีเอง

2.2 การแปลภาพรังสีซีซีทีในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรังสี (กลุ่มทดลอง)

2.2.1 ผู้แปลภาพรังสีจะได้รับการสุ่มให้มีลำดับการแปลภาพถ่ายรังสีซีซีทีในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรังสีชนิดต่างๆ ทั้งในคลองรากฟันที่มีรอยแตก และในคลองรากฟันที่ไม่มีรอยแตก จำนวน 60 ภาพต่อวัสดุที่บรังสีแต่ละชนิด ตามลำดับ ดังนี้คือ

ผู้แปลภาพรังสี	แปลลำดับที่ 1	แปลลำดับที่ 2	แปลลำดับที่ 3
Endodontist 1	Cast gold post	Fiber post	Gutta-percha
Endodontist 2	Fiber post	Gutta-percha	Cast gold post
Radiologist 1	Fiber post	Cast gold post	Gutta-percha
Radiologist 2	Gutta-percha	Fiber post	Cast gold post

กำหนดให้ทันตแพทย์เฉพาะทางด้านคลองรากฟัน 1,2 เป็นผู้แปลภาพรังสีคนที่ 1 และคนที่ 2 และกำหนดให้รังสีทันตแพทย์ 1,3 เป็นผู้แปลภาพรังสีคนที่ 3 และคนที่ 4

โดยหลักเกณฑ์ในการแปลภาพรังสีใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับข้อ 1.2

2.2.2 ผู้แปลภาพรังสีจะแปลภาพรังสีไม่เกิน 20 ภาพต่อวันเพื่อป้องกันการล้าสายตา

2.2.3 ทำการสุ่มเลือกภาพถ่ายรังสีซีซีทีที่มีวัสดุที่บรังสีในคลองรากฟันชนิดต่างๆ จำนวน 20 ภาพต่อชนิด มาให้ผู้แปลภาพรังสีทำการแปลอีกครั้งหลังจากผ่านการแปลภาพรังสีครั้งแรก

ไปเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อทวนสอบความเชื่อถือได้ของการแปลภาพรังสีภายในตัวผู้ถ่ายภาพรังสีเอง

seq.no.	date	B	Li	M	D	seq.no.	date	B	Li	M	D	seq.no.	date	B	Li	M	D	seq.no.	date	B	Li	M	D	
1						21						41						61						
2						22						42						62						
3						23						43						63						
4						24						44						64						
5						25						45						65						
6						26						46						66						
7						27						47						67						
8						28						48						68						
9						29						49						69						
10						30						50						70						
11						31						51						71						
12						32						52						72						
13						33						53						73						
14						34						54						74						
15						35						55						75						
16						36						56						76						
17						37						57						77						
18						38						58						78						
19						39						59						79						
20						40						60						80						

รูปที่ 14 แสดงใบบันทึกการแปลผลภาพถ่ายรังสี CBCT

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากการแปลภาพรังสีโดยการจัดลำดับคะแนน 1-5 ในลงแต่ละด้านของใบบันทึกผลการอ่านภาพรังสี โดยคะแนนทั้งหมดจะถูกจัดการให้เหลือเป็นข้อมูลแบบไดโคโตมัส (Dichotomus) คือมีรอยแตกหรือไม่มีรอยแตกดังนี้

ลำดับคะแนน 1 และ 2 จัดว่าฟันไม่มีรอยแตก

ลำดับคะแนน 3 4 และ 5 จัดว่าฟันมีรอยแตก

คำนวณหาค่าความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) Positive Predictive Value (PPV) และ Negative Predictive Value (NPV) สำหรับการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟันที่ไม่มีและมีวัสดุที่บร้งสีชนิดต่างๆ สำหรับการวัดความเที่ยงตรง (Accuracy) ของการตรวจหารอยแตกของภาพรังสีที่สองชนิดจะวัดจาก Receiver Operating Characteristic (ROC) curve โดยพื้นที่ใต้กราฟของ ROC curve จะแสดงถึงความเที่ยงตรง ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของความเที่ยงตรงจากการตรวจหารอยแตกในฟันที่มีวัสดุที่บร้งสีชนิดต่างๆ ในคลองรากฟัน โดยใช้สถิติ Wilcoxon signed-ranks test โดยใช้โปรแกรม SPSS version 22.0 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่  $p < 0.05$

## ผลการทดลอง

### 1. ผู้แปลผลภาพรังสีมีผลการสอบเทียบดังนี้ (Calibration session)

ผู้แปลภาพรังสี	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4
ผลการสอบเทียบ (ร้อยละ)	85	90	80	85

จากผลการสอบเทียบพบว่าผู้แปลภาพรังสีทุกคนมีคะแนนการสอบเทียบมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในครั้งแรกดังนั้นผู้แปลภาพรังสีทุกคนจึงสามารถเริ่มการทดลองได้โดยไม่ต้องมีการทวนสอบการแปลภาพรังสีซ้ำ

### 2. ผลการแปลภาพรังสีในการทดลอง

#### 2.1 การตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสี

Parameters	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Accuracy (%)	CI
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 1	75.0	95.0	96.3	57.6	80.0	0.687-0.913
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 2	90.0	80.0	90.0	80.0	85.0	0.734-0.966
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 3	70.0	90.0	93.3	60.0	80.0	0.683-0.917
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 4	75.0	90.0	93.8	64.3	82.5	0.713-0.937
Mean	77.5	88.75	93.35	65.46	81.86	
SD	8.86	6.29	2.59	10.07	2.39	
Median	75.0	90.0	93.55	62.15	81.25	

แยกระหว่างความเป็นเฉพาะทางของผู้แปลภาพรังสี

Endodontist	82.5	87.5	93.15	68.8	82.5
Radiologist	72.5	90.0	93.55	62.15	81.25
P-value <sup>#</sup>	0.410	0.795	0.920	0.659	0.705

<sup>#</sup>One-sample T-test

## 2.2 การตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีกัตาเพอร์ชาอยู่ในคลองรากฟัน

Parameters	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Accuracy (%)	CI
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 1	62.5	90.0	92.6	54.5	76.3	0.639-0.886
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 2	95.0	25.0	71.7	71.4	60.0	0.440-0.760
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 3	30.0	95.0	92.3	40.4	62.5	0.438-0.767
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 4	40.0	70.0	72.7	36.8	55.0	0.396-0.704
Mean	56.88	70.00	82.33	50.76	63.45	
SD	28.82	31.89	11.70	15.73	9.77	
Median	51.25	80.0	80.25	47.45	61.25	
P-value*	0.144	0.197	0.068	0.068	0.068	

\*Wilcoxon signed-rank test (compare to non-filled root canal group)

แยกระหว่างความเป็นเฉพาะทางของผู้แปลภาพรังสี

Endodontist	78.75	57.5	81.25	62.95	68.15	
Radiologist	35.0	82.5	82.5	38.6	58.75	
P-value <sup>#</sup>	0.226	0.583	0.979	0.213	0.455	

#One-sample T-test

## 2.3 การตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใยอยู่ในคลองรากฟัน

Parameters	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Accuracy (%)	CI
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 1	72.5	85.0	90.6	60.7	78.8	0.664-0.911
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 2	87.5	50.0	77.8	66.7	68.8	0.535-0.840
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 3	60.0	90.0	92.3	52.9	75.0	0.624-0.876
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 4	27.5	100.0	100.0	40.8	63.8	0.498-0.777
Mean	61.88	81.25	90.18	55.26	71.6	
SD	25.26	21.75	9.21	11.18	6.64	
Median	66.25	87.50	91.45	56.80	71.9	
P-value*	0.066	0.414	0.465	0.144	0.068	

\*Wilcoxon signed-rank test (compare to non-filled root canal group)



แยกระหว่างความเป็นเฉพาะทางของผู้แปลภาพรังสี

Endodontist	80.0	67.5	84.2	63.7	73.8
Radiologist	43.75	95.0	96.15	46.85	69.4
P-value <sup>#</sup>	0.130	0.361	0.313	0.112	0.541

#One-Sample T-test

2.4 การตรวจหารากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงอยู่ในคลองรากฟัน

Parameters	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Accuracy (%)	CI
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 1	80	30.0	69.6	42.9	55.0	0.392-0.708
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 2	95	5.0	66.7	33.3	50.0	0.344-0.656
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 3	37.5	50.0	60.0	28.6	43.8	0.282-0.593
ผู้แปลภาพรังสีคนที่ 4	47.5	75.0	79.2	41.7	61.3	0.464-0.761
Mean	65.00	40.00	68.86	36.63	52.53	
SD	27.00	29.72	7.97	6.85	7.43	
Median	63.75	40.00	68.15	37.50	52.50	
P-value	0.461	0.068	0.068	0.068	0.068	

\*Wilcoxon signed-rank test (compare to non-filled root canal group)

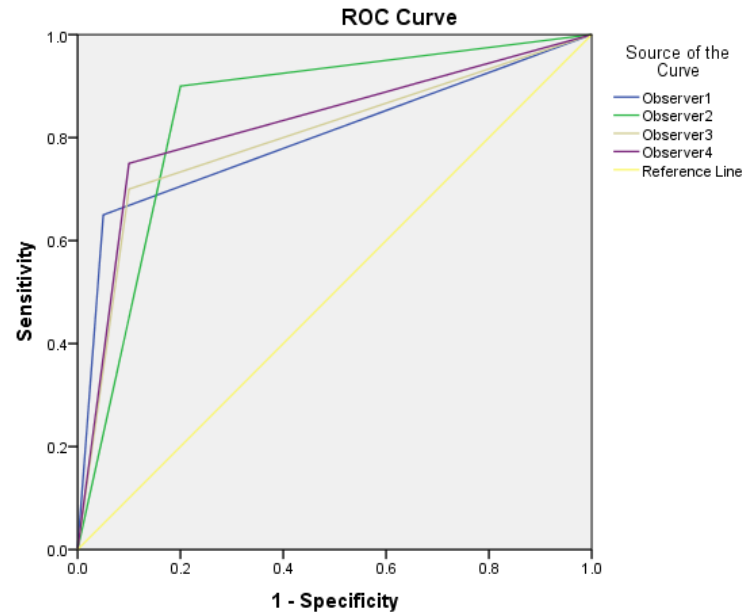
แยกความเป็นเฉพาะทางของผู้แปลภาพรังสี

Endodontist	87.5	17.5	68.15	38.1	52.5
Radiologist	42.5	62.5	69.6	35.15	52.55
P-value <sup>#</sup>	0.105	0.172	0.500	0.649	0.987

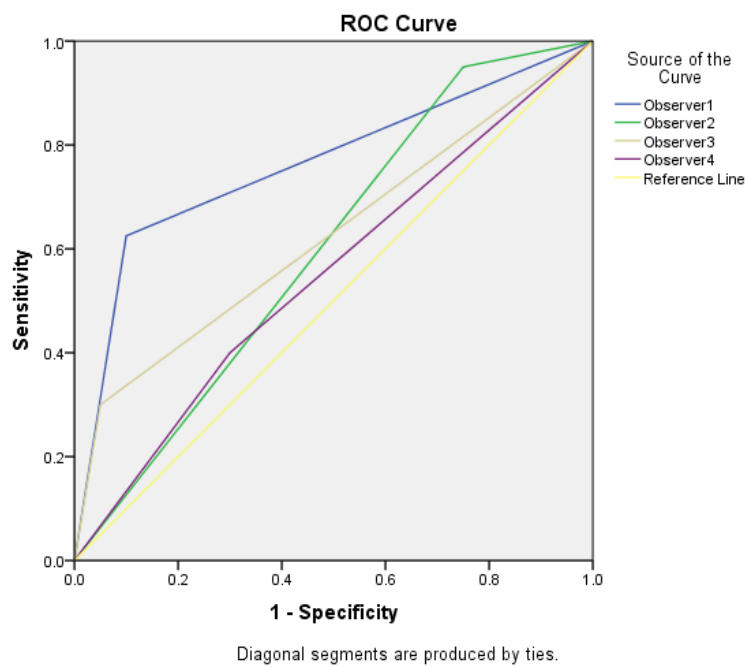
#One-sample T-test

### 3. แผนภูมิแสดง Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve

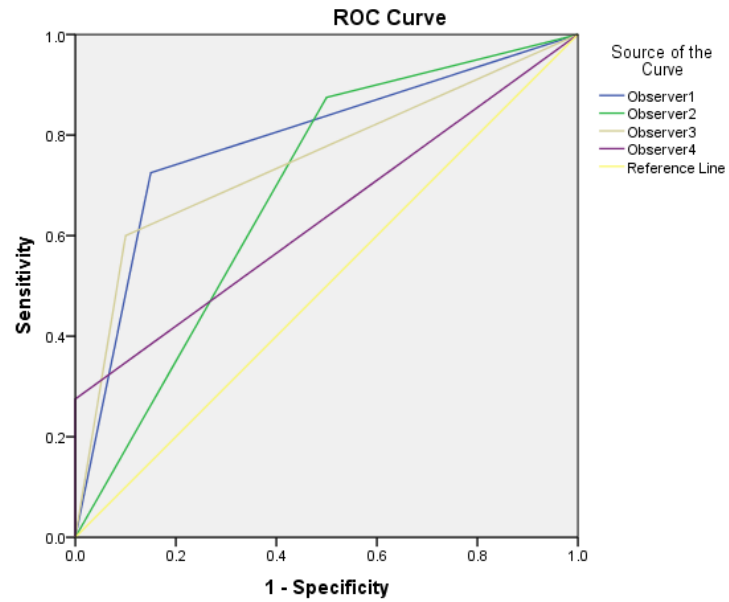
#### 3.1 ROC curve ในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บ่งสี



#### 3.2 ROC curve ในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ชาอยู่ภายใน



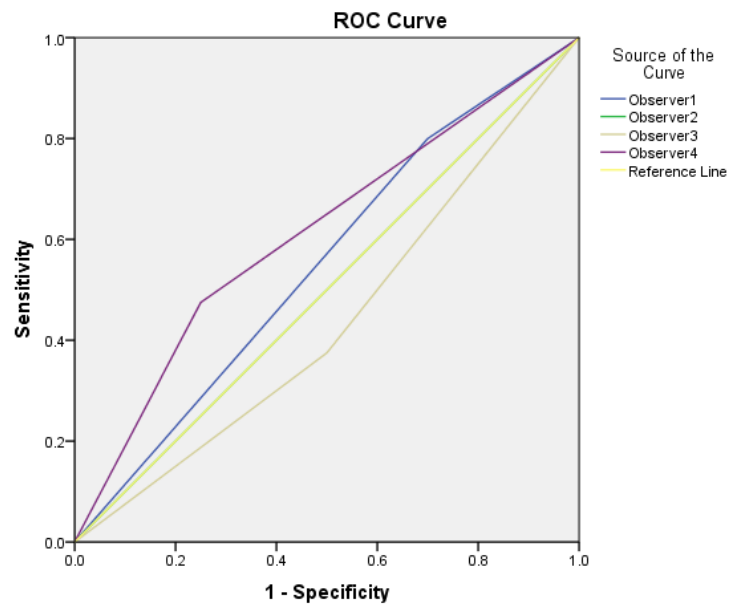
### 3.3 ROC curve ในคลอกรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใยอยู่ภายใน



Diagonal segments are produced by ties.



### 3.4 ROC curve ในคลอกรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวียงอยู่ภายใน



Diagonal segments are produced by ties.

#### 4. การทวนสอบความสอดคล้องในการแปลภาพรังสีโดยใช้สถิติแคปปา

Observer	Empty canal	Gutta-percha	Gold post	Fiber post
1	0.700	0.400	0.432	0.612
2	0.494	-0.071	-0.071	0.167
3	0.400	0.643	0.205	0.490
4	0.600	0.524	0.186	0.077
Mean(SD)	0.549(0.130)	0.410(0.250)	0.224(0.151)	0.337(0.225)
Inter-examiner kappa	0.485	0.146	0.198	0.258

เมื่อพิจารณาตามระดับความสอดคล้องของสถิติแคปปาตามแนวทางของ Fleiss, Levin and Paik ในปี ค.ศ. 2003 ซึ่งจำแนกระดับความสอดคล้องดังนี้

ค่าสถิติแคปปา	ระดับความสอดคล้อง
0.75-1.00	ความสอดคล้องดีมาก
0.40-0.74	ความสอดคล้องดี
0.00-0.39	ความสอดคล้องต่ำ

พบว่าความสอดคล้องระหว่างผู้แปลภาพรังสีอยู่ในระดับดี ในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรัสสี (0.485) และระดับความสอดคล้องต่ำในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ชา (0.146) เตื่อยฟันโลหะเหวี่ยง (0.198) และเตื่อยฟันเส้นใยเรซิน (0.258) ส่วนความสอดคล้องภายในตัวผู้แปลภาพรังสีเองพบว่ามี ความสอดคล้องในระดับดีในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรัสสี และคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ชา แต่ ความสอดคล้องจะอยู่ในระดับต่ำในคลองรากฟันที่มีเตื่อยฟันโลหะเหวี่ยงและเตื่อยฟันเส้นใยเรซิน

## อภิปรายผลการทดลอง

### การใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง

รากฟันแตกในแนวตั้งมักเกิดขึ้นในพื้นที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันมาแล้ว ซึ่งได้มีการตั้งสมมติฐานว่าอาจจะเกิดได้จากการทำการขยายคลองรากฟันที่มากเกินไปจนทำให้ผนังคลองรากฟันที่เหลืออยู่บางและอ่อนแอหรืออาจจะเกิดจากการมีเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน ซึ่งการเตรียมพื้นที่สำหรับใส่เดือยฟันนั้นเป็นการทำให้สูญเสียเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟันมากขึ้น และอาจเป็นปัจจัยร่วมที่ก่อให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง (4) การทดลองนี้จึงเลือกใช้ฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันมาแล้วและมีการใส่เดือยฟันชนิดต่างลงในคลองรากฟันแล้วนำมาตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง

สมาคมทันตแพทย์เฉพาะทางคลองรากฟันแห่งสหรัฐอเมริกาได้แนะนำให้มีการใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีในการกระบอกการวินิจฉัย และการวางแผนการรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์ ตลอดจนการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง (32) โดยมีการศึกษาพบว่าภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีที่มีความสามารถในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งได้ดีกว่าภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากแบบขนาน (45, 54-56) การทดลองนี้จึงเลือกใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งแทนการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากเทคนิคขนาน

### วิธีการจำลองให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้ง

รากฟันแตกในแนวตั้งนั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ฟันธรรมชาติต้องโดนถอนออกจากช่องปาก โดยรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นมีทั้งชนิดที่มีรอยแตกสมบูรณ์ (complete fracture) คือการที่รอยแตกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน และมีรอยแตกแบบไม่สมบูรณ์ (incomplete fracture) คือการแตกของรากฟันที่ไม่ได้แตกแยกออกจากกันอย่างชัดเจน โดยรอยแตกมีลักษณะคล้ายเส้นผม (hair line) (55) โดยส่วนมากร้อยละ 90 ของรากฟันแตกในแนวตั้งที่ตรวจพบได้นั้น เป็นรอยแตกชนิดสมบูรณ์ (2) การวินิจฉัยว่าเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งในฟันที่มีรอยแตกแบบไม่สมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยาก การทดลองนี้จึงสนใจการตรวจหารอยแตกในฟันที่เกิดรากฟันแตกแนวตั้งแบบไม่สมบูรณ์

การจำลองให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้งในนี้ได้หลายวิธี เช่นการใช้ค้อนและสิ่ว (57) การใช้สกรูไขลงไปในคลองรากฟัน (47) ซึ่งการจำลองการเกิดรากฟันแตกในแนวตั้งโดย 2 วิธีการที่กล่าวมานั้นทำให้เกิดรากฟันแตกแนวตั้งแบบสมบูรณ์ โดยเมื่อวัดขนาดความกว้างของรอยแตกที่เกิดขึ้นจะได้นานกว่า 200 ไมโครเมตร ซึ่งรอยแตกลักษณะนี้สามารถตรวจได้ง่ายโดยใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีที ในทางตรงกันข้ามการจำลองให้เกิดรากฟันแตกในแนวตั้งชนิดรอยแตกไม่สมบูรณ์นั้น มีวิธีการทำได้โดยคือการใช้หัวกรูปลั่มร่วมกับเครื่องยูนิเวอร์ซอล เทสต์ติ้ง แมชีน (55, 56) ซึ่งสามารถจำลองรากฟันแตกใน

แนวตั้งแบบรากไม่สมบูรณ์ได้ โดยมีขนาดของรอยแตกน้อยกว่า 200 ไมโครเมตร ซึ่งในการทดลองนี้ ได้ใช้วิธีการเดียวกัน และทำการวัดรอยแตกได้อยู่ในช่วง 30-210 ไมโครเมตร โดยแบบจำลองส่วนใหญ่มีขนาดรอยแตกน้อยกว่า 200 ไมโครเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น

### **การใช้ภาพถ่ายรังสีไมโครซีทีเป็นภาพอ้างอิงมาตรฐานในการพิสูจน์การเกิดรอยแตกแบบไม่สมบูรณ์**

แม้ว่าการจำลองการเกิดร้าวในแนวตั้งในการศึกษาครั้งนี้ได้ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Patel และคณะในปี ค.ศ. 2013 และ Brady และคณะในปี ค.ศ. 2014 ซึ่งได้จำลองการเกิดร้าวร้าวแบบไม่สมบูรณ์ โดยใช้เครื่อง Instron 8872 ร่วมกับหัวกดรูปสี่เหลี่ยม(55, 56)แต่ในการศึกษานี้มีการยืนยันรอยแตกที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีไมโครซีที และใช้โปรแกรม MicroDicom ในการวัดขนาดรอยแตก ซึ่งมีข้อดีกว่าการศึกษาอื่นๆ ที่ใช้การพิสูจน์ยืนยันรอยแตกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ในทางทันตกรรม หรือกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสงในการตรวจพิสูจน์ยืนยันรอยแตก คือภาพถ่ายรังสีไมโครซีทีเป็นรังสีที่มีความเที่ยงตรงสูงและไม่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างถูกทำลายไป (Non-invasive method) สามารถใช้ชิ้นงานที่ทำการทดสอบได้ในหลายขั้นตอนการทดลอง ในทางเอ็นโดดอนติกส์มีการใช้ภาพรังสีไมโครซีทีในงานทดลองอย่างแพร่หลาย เช่น การศึกษากายวิภาคของคลองรากฟัน (58) มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของไมโครซีที และซีบีซีทีในการตรวจลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟัน พบว่าไมโครซีทีให้ภาพที่ชัดเจนและมีรายละเอียดมากกว่าซีบีซีที (59) แต่อย่างไรก็ตามภาพถ่ายรังสีไมโครซีทีเป็นการถ่ายที่ต้องใช้ปริมาณรังสีสูงกว่าซีบีซีทีมาก และเท่าที่ผู้ทำการทดลองได้สืบค้นข้อมูลยังไม่พบการศึกษาที่ใช้ภาพรังสีไมโครซีทีในการตรวจพิสูจน์รอยแตกในคลองรากฟัน การทดลองนี้จึงใช้ภาพรังสีไมโครซีทีเป็นการพิสูจน์การเกิดรอยแตกในรากฟัน ซึ่งหลังจากพิสูจน์รอยแตกด้วยวิธีการนี้แล้วจะมั่นใจได้ว่าชิ้นงานตัวอย่างจะไม่ถูกทำลาย หรือขนาดของรอยแตกมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป และสามารถใช้ชิ้นงานในทดลองโดยใช้ภาพรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งได้โดยทันที

### **ขนาดว็อกเซลและบริเวณเห็นภาพที่เลือกใช้ในการถ่ายภาพรังสีซีบีซีที**

จากการศึกษานำร่อง ได้ทำการศึกษาค่าว็อกเซลที่ชัดเจนที่สุดในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งชนิดรอยแตกไม่สมบูรณ์ โดยใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีซีบีซีที 3D Accuitomo 170 พบว่าขนาดว็อกเซล 0.08 มิลลิเมตรและ 0.125 มิลลิเมตร มีค่าความเที่ยงตรงที่ใกล้เคียงกัน แต่ภาพรังสีที่ได้จากการเลือกใช้ว็อกเซลขนาด 0.08 มิลลิเมตรมีน้อยสปีปริมาณมากซึ่งทำให้คุณภาพของภาพรังสีลดลง และจากการศึกษาของ Ozer ในปี ค.ศ. 2011 พบว่าขนาดว็อกเซลที่สามารถตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งชัดเจนที่สุดคือ 0.125 มิลลิเมตร ซึ่งผลที่ได้ไม่แตกต่างจากการเลือกใช้ว็อกเซลขนาด

0.2 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญ แต่ตามหลักการ ALARA แล้ว Ozer จึงแนะนำให้ใช้ว็อกเซลขนาด 0.2 มิลลิเมตร(60)ส่วน Wenzel และคณะในปี ค.ศ. 2009 ได้แนะนำให้ใช้ว็อกเซลขนาด 0.125 มิลลิเมตร ในการตรวจหาคลองรากฟันแตกในแนวตั้ง (61) ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ว็อกเซลขนาด 0.125 มิลลิเมตรในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง

สำหรับการเลือกบริเวณเห็นภาพมีการศึกษาพบว่าขนาดของบริเวณเห็นภาพมีความสัมพันธ์กับขนาดว็อกเซลและมีผลต่อสเปเชียล รีโซลูชัน (Spatial resolution) กับความต่างระหว่างสีขาวและสีดำของภาพรังสี โดยการใช้นาฬิกาของบริเวณเห็นภาพที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ภาพรังสีที่ได้มีความละเอียดและความต่างระหว่างสีขาวและสีดำที่น้อยกว่าการเลือกใช้ขนาดบริเวณเห็นภาพขนาดเล็ก

(62) และการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งที่ผ่านมาล้วนแต่เลือกใช้บริเวณเห็นภาพขนาดเล็ก ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้บริเวณเห็นภาพขนาด 40x40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นบริเวณเห็นภาพที่มีขนาดเล็กเมื่อถ่ายภาพรังสีซีบีซีทีด้วยเครื่อง 3D Accuitomo 170

### การสอบเทียบผู้แปลภาพรังสี

การสอบเทียบมาตรฐานผู้แปลภาพรังสีนั้นเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนเริ่มทำการทดลองจริงเพื่อเป็นการปรับมาตรฐานของผู้แปลภาพรังสีให้มีความเข้าใจตรงกัน และมีมาตรฐานในการแปลภาพรังสีที่ใกล้เคียงเริ่มการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้การแปลภาพรังสีมีความน่าเชื่อถือ

จากการสอบเทียบ (Calibration session) ผลการสอบเทียบของผู้แปลภาพรังสีทุกคนสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้จึงแสดงให้เห็นว่าผู้แปลภาพรังสีนั้นได้ผ่านการฝึกฝนในการแปลภาพรังสีแยกระหว่างคลองรากฟันที่มีรอยแตกและคลองรากฟันที่ไม่มีรอยแตกมาเป็นอย่างดี ดังนั้นการแปลผลภาพรังสีโดยผู้แปลภาพรังสีทั้งสามคนในการทดลองนี้จึงมีความน่าเชื่อถือ

### การอภิปรายเกี่ยวกับผลการทดลอง

ค่าความไวโดยรวม (Overall sensitivity) และความจำเพาะโดยรวม (Overall specificity) ในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งในฟันที่คลองรากฟันปราศจากวัสดุที่รังสีในการทดลองนี้อยู่ที่ร้อยละ 77.50 และร้อยละ 88.75 ตามลำดับ และมีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ร้อยละ 81.86 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการตรวจหารากฟันแตกในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่รังสีอยู่ภายในคลองรากฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Brady และคณะในปี ค.ศ. 2014 ที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งโดยใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีกับภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากฟันเทคนิคขนาน พบว่าเครื่องถ่ายภาพรังสีซีบีซีที 3D Accuitomo มีค่าความเที่ยงตรงโดยรวมอยู่ที่ร้อยละ 78 (56) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษานี้ และมีค่าความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้ภาพถ่ายรังสีแบบขนานในการตรวจหารากฟันแตก

ในแนวตั้ง Patel และคณะ ในปี ค.ศ. 2013 ทำการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งชนิดรอยแตกไม่สมบูรณ์ (incomplete fracture) โดยใช้ภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากเทคนิคขนาน และภาพรังสีซีบีซีที่เปรียบเทียบกันพบว่าภาพรังสีซีบีซีที่มีความไวและความจำเพาะที่สูงกว่าภาพรังสีรอบปลายรากเทคนิคขนานแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (55) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจำลองรอยแตกแบบไม่สมบูรณ์และรอยแตกมีขนาดเล็กกว่า 200 ไมโครเมตรซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ แต่การศึกษาของ Melo และคณะในปี ค.ศ. 2010 และ Hassan และคณะในปี ค.ศ. 2009 และ 2010 ได้ทำการตรวจหารอยแตกในกลุ่มตัวอย่างที่มีการจำลองให้เกิดการแตกของคลองรากฟันแบบสมบูรณ์ โดยมีขนาดของรอยแตกมากกว่า 200 ไมโครเมตรพบว่าภาพถ่ายรังสีซีบีซีที่มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งได้ดีกว่าภาพรังสีรอบปลายรากเทคนิคขนานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (47, 57, 63) จึงแนะนำให้ใช้ภาพรังสีซีบีซีในการตรวจหารอยแตกภายในคลองรากฟัน

ในฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันแล้ว มักมีการสูญเสียเนื้อฟันไปในปริมาณมากและจำเป็นต้องได้รับการบูรณะหลังรักษารากฟันโดยการทำเดือยฟันและครอบฟัน ในปัจจุบันมีการใช้ทั้งเดือยฟันเส้นใย และเดือยฟันโลหะเหวี่ยง ดังนั้นวัสดุที่ใช้เป็นตัวแทนของวัสดุที่รังสีในคลองรากฟันในการทดลองนี้จึงใช้เป็นเดือยฟันเส้นใย เดือยฟันโลหะเหวี่ยง และกัตตาเพอร์ซา

จากการพิสูจน์การเกิดรอยแตกในรากฟันโดยใช้ภาพรังสีไมโครซีทีพบว่าทุกชิ้นตัวอย่างที่ถูกจำลองให้มีการเกิดรากฟันแตกแนวตั้งนั้น รอยแตกจะเกิดขึ้นที่บริเวณครึ่งรากฟันส่วนปลายของรากฟัน และเป็นรอยแตกแบบไม่สมบูรณ์ ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นอิทธิพลของวัสดุที่รังสีต่อรอยแตก ในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องใส่วัสดุที่รังสีชนิดต่างๆ ลงไปให้ถึงส่วนปลายของคลองรากฟัน

สำหรับค่าความไวและความจำเพาะของการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งด้วยภาพถ่ายรังสีซีบีซีที่มีวัสดุที่รังสีในคลองรากฟันนั้น จากผลการทดลองจะพบว่าภาพถ่ายรังสีซีบีซีที่ยังคงมีความไวที่สูง และกลับพบว่ามีความจำเพาะที่ต่ำลง และค่าความจำเพาะต่ำลงอย่างมากในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงซึ่งวัสดุที่มีความทึบรังสีสูง (ร้อยละ 40.00) เมื่อเปรียบเทียบกับคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่รังสี (ร้อยละ 88.75) และค่าความเที่ยงตรงก็ลดลงอย่างมากเช่นกัน (ร้อยละ 52.53) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Menezes และคณะในปี ค.ศ. 2016 ที่พบว่าเมื่อมีเดือยโลหะเหวี่ยงในคลองรากฟันจะลดความสามารถการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งของภาพรังสีซีบีซี โดยมีความไว (ร้อยละ 62.5-75) ที่ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่ไม่มีเดือยโลหะเหวี่ยงในคลองรากฟัน (ร้อยละ 87.5-100) แต่มีค่าความจำเพาะและความเที่ยงตรงลดลง (ร้อยละ 25-37.5 และร้อยละ 50-56.3) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีเดือยโลหะเหวี่ยง (ร้อยละ 75-87.5 และร้อยละ 81.2-93.8) (64) โดยการมีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงในคลองรากฟันนั้น มีผลทำให้เกิดสิ่งแปลกปนในภาพถ่ายรังสีซีบีซี โดยมักเกิดเป็นสิ่งแปลกปนที่มีลักษณะเป็นริ้ว ซึ่งบางครั้งอาจจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับรอยแตก ทำให้การแปลภาพรังสีว่ามีรอย



แตก จึงเกิดเป็นผลบวกหลง (False positive) และหากเกิดสิ่งแปลกปนที่มีลักษณะเป็นริ้วที่ไปซ้อนทับกับตำแหน่งของรอยแตกซึ่งลักษณะเช่นนี้ ทำให้ผู้แปลผลไม่สามารถแยกได้ระหว่างรอยแตกจริงกับสิ่งแปลกปนที่เกิดขึ้น จึงแปลภาพรังสีว่าไม่มีรอยแตก ทำให้เกิดการแปลภาพรังสีเป็นผลลบหลง (False negative) โดยทั้งผลลวงจากการแปลภาพรังสีล้วนแต่มีผลทำให้ค่าความจำเพาะ และความเที่ยงตรงของการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงในคลองรากฟันลดลง (65)

จากการทดลองนี้พบว่า การตรวจหารอยแตกในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใยอยู่ภายใน มีความไว ร้อยละ 61.88 มีความจำเพาะร้อยละ 81.25 และมีค่าความถูกต้องร้อยละ 71.60 โดยรวมแล้วเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีวัสดุที่บรัสสีในคลองรากฟันพบว่าค่าความไวและความเที่ยงตรงมีค่าแต่ค่าความจำเพาะนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งผลดังกล่าวไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Ferreira และคณะ ในปี ค.ศ. 2013 ทำการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรัสสีโดยใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีซีซีทีที่ห่อที่แตกต่างกัน เมื่อถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีซีซีทีที่ห่อต่างกัน ในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรัสสี กับคลองรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใยเรซินในคลองรากฟัน พบว่าเดือยฟันเส้นใยเรซินไม่มีผลต่อค่าความไว ความจำเพาะ และความเที่ยงตรงของการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟัน (49)

ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าความไวและความจำเพาะของผู้แปลภาพรังสีแต่ละคน มีความหลากหลายนั้น อาจจะเป็นเพราะประสบการณ์ในการทำงานของผู้แปลภาพรังสี เนื่องจากผู้แปลภาพรังสีคนที่แต่ละคนมีระยะเวลาในการทำงานทางด้าน การแปลภาพรังสีที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อเห็นภาพรังสีมีรอยดำพาดผ่านผนังคลองรากจึงแปลภาพว่าเป็น สิ่งแปลกปนมากกว่าเป็นรอยแตก ทำให้มีค่าความจำเพาะในการแปลภาพรังสีสูงกว่าผู้แปลภาพรังสีอีกสองคนที่มีประสบการณ์ในการทำงานน้อยกว่า โดยจากข้อมูลดิบพบว่าผู้แปลภาพรังสีรายที่ 2 จะให้ระดับคะแนน 3 คือไม่แน่ใจว่ามีรอยแตกหรือไม่เป็นส่วนใหญ่และเมื่อนำมาคำนวณทางสถิติจะให้ว่าแปลผลเป็นมีรอยแตก และผู้แปลภาพรังสีรายที่ 4 จะให้คะแนนระดับ 2 คืออาจจะไม่มีรอยแตกซึ่งแปลผลในการคำนวณทางสถิติ ว่าไม่มีรอยแตก จึงทำให้เมื่อนำผลการแปลภาพรังสีของผู้แปลภาพรังสีรายที่ 2 มาวิเคราะห์ข้อมูลแล้วมีค่าความจำเพาะที่ต่ำกว่าผู้แปลภาพรังสีรายอื่น (ร้อยละ 50) ในขณะที่ผู้แปลภาพรังสีรายที่ 4 มีค่าความจำเพาะสูงถึงร้อยละ 100

หากพิจารณาแยกระหว่างความเป็นเฉพาะทางของผู้แปลภาพรังสีแล้วความสามารถในการวินิจฉัยรากฟันแตกแนวตั้งในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรัสสีด้วยภาพรังสีซีซีทีที่ระหว่างทันตแพทย์เฉพาะทางคลองรากฟัน และทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยาช่องปากขากรรไกรและใบหน้าไม่แตกต่างกัน แต่หากมีวัสดุที่บรัสสีปรากฏในคลองรากฟันแล้ว ทันตแพทย์เฉพาะทางด้านคลองรากฟันสามารถวินิจฉัยรอยแตกในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บรัสสีได้ดีกว่าทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยาช่องปากขากรรไกรและใบหน้า (มีค่าความไวเฉลี่ยที่สูงกว่า) ในทางตรงกันข้ามทันตแพทย์เฉพาะ

ทางด้านรังสีวิทยาจะสามารถตรวจวินิจฉัยฟันที่ไม่มีรอยแตกได้ดีกว่าทันตแพทย์เฉพาะทางคลองรากฟัน (มีค่าความจำเพาะเฉลี่ยสูงกว่า) โดยที่ความถูกต้องในการแปลภาพรังสีนั้นมีความใกล้เคียงกันในคลองรากฟันทุกสภาวะ ซึ่งความแตกต่างระหว่างความเป็นเฉพาะทางนี้อาจจะเกิดเนื่องจากทันตแพทย์เฉพาะทางด้านคลองรากฟันอาจมีความคุ้นเคยกับลักษณะกรณีผู้ป่วยที่สงสัยว่ามีรอยแตกมากกว่าทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยาช่องปากขากรรไกรและใบหน้า

เมื่อเปรียบเทียบค่าความไวระหว่างการใช้ภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟัน ระหว่างคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยง และเดือยฟันเส้นใย พบว่ามีค่าความไวในการตรวจหารอยแตกที่ใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 65.00 และ ร้อยละ 61.88) แต่ค่าความจำเพาะนั้นกลับมีค่าที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 40.00 และร้อยละ 81.25) ทั้งนี้เนื่องมาจากเดือยฟันโลหะเหวี่ยงจะทำให้เกิด streak artefact ได้มากกว่าเดือยฟันเส้นใย โดยจากการศึกษาของ Ferreira และคณะในปี ค.ศ. 2013 พบว่าแม้ว่าจะใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีซีบีซีทีที่แตกต่างกัน แต่เดือยฟันเส้นใยนั้นแทบจะไม่มีผลต่อค่าความไว ความจำเพาะ และค่าความเที่ยงตรงในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งเลย ซึ่งต่างกับเดือยฟันโลหะเหวี่ยงที่มีอิทธิพลทำให้ค่าความจำเพาะและความถูกต้องลดลงเมื่อเทียบกับคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บร้งสีในคลองรากฟัน โดยที่อิทธิพลจากเดือยฟันโลหะเหวี่ยงนั้นก่อให้เกิดสิ่งแปลกปนที่มีลักษณะเป็นริ้วได้มากกว่าเดือยฟันชนิดเส้นใย (49)

สิ่งแปลกปนในภาพรังสีซีบีซีทีนั้นอาจเกิดขึ้นได้หลายปัจจัยทั้งปัจจัยจากตัวผู้ป่วยเอง และจากตัวเครื่องสแกนภาพรังสีซีบีซีที โดย สิ่งแปลกปนที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดจากธรรมชาติของรังสีเองที่มีลักษณะเป็นโพลีโครมาติก (Polychromatic) โดยลักษณะสิ่งแปลกปนที่เกิดขึ้นเรียกว่าบีมฮาร์เดนนิ่ง โดยบีมฮาร์เดนนิ่งนั้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของพลังงานของลำรังสีเอ็กซ์ (X-ray beam energy) เพราะว่อนุภาคโฟตอนที่มีพลังงานน้อยมักจะถูกดูดซับ (Adsorb) ได้มากกว่าอนุภาคโฟตอนที่มีพลังงานสูง ซึ่งบีมฮาร์เดนนิ่งทำให้เกิดสิ่งแปลกปนได้ 2 ชนิดคือคัปป์อิงอาร์ติแฟกต์ และ ริ้วหรือแถบเงาดำ การเกิดสิ่งแปลกปนในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงในคลองรากฟันนั้นมากกว่าคลองรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใยเนื่องจากวัตถุทั้งสองชนิดมีการดูดซับอนุภาคโฟตอนในปริมาณที่ต่างกัน โดยการดูดซับพลังงานจากอนุภาคโฟตอนโดยเดือยฟันเส้นใยมีลักษณะที่เป็นแบบแผน (Uniform) มากกว่าเดือยฟันโลหะเหวี่ยงจึงทำให้เกิดสิ่งแปลกปนได้น้อยกว่า การแปลผลให้เป็นผลลบลวงจึงเกิดได้น้อยกว่า ส่งผลทำให้มีค่าความจำเพาะในการแปลภาพรังสีสูงกว่าคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยง (66)

เหตุผลอีกประการที่ทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจหารอยแตกของภาพรังสีซีบีซีทีลดลง นั้นอาจจะเป็นเพราะปรากฏการณ์ที่เรียกว่าค่าเฉลี่ยปริมาตรบางส่วน (Partial volume averaging) คือ ถ้าหากวัตถุมีขนาดที่เล็กกว่าขนาดของว็อกเซลที่เลือกใช้ จะส่งผลทำให้แยกระหว่างวัตถุที่ต้องการตรวจกับวัตถุที่อยู่ใกล้เคียงได้ยากมากยิ่งขึ้น (62) โดยจากการศึกษาที่ใช้ภาพถ่ายรังสีไมโครซีทีร่วมกับ

ซอฟต์แวร์ในการวัดขนาดความกว้างรอยแตก พบว่าตัวอย่างบางชิ้นงานมีขนาดรอยแตกเล็กกว่า 0.125 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เล็กกว่าว็อกเซลที่เลือกในการทดลอง ทำให้การตรวจหารอยแตกทำได้ยากขึ้น

ในส่วนของ การตรวจหารอยแตกในพื้นที่มีกัตตาเพอร์ซาอยู่ในคลองรากฟันนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ไม่มีความตึงเครียดภายในคลองรากฟัน พบว่ามีค่าความไวที่ลดลง (ร้อยละ 77.50 และร้อยละ 55.88) และค่าความจำเพาะนั้นก็มีค่าที่ลดลง (ร้อยละ 82.75 และร้อยละ 70.00) การลดลงของค่าความไวและความจำเพาะนั้น อธิบายได้ด้วยหลักการกันเดียวกับการมีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงอยู่ในคลองรากฟัน ซึ่งตัวกัตตาเพอร์ซาเอง เป็นวัสดุที่มีความตึงเครียดจึงสามารถก่อให้เกิดสิ่งแปลกปนได้เช่นเดียวกัน และค่าความไวกับความจำเพาะที่ลดลงนั้น ส่งผลต่อความเที่ยงตรงในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งลดลงเช่นกัน (ร้อยละ 81.86 ในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บ่งชี้ และร้อยละ 61.45 ในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ซา) สำหรับค่าความเที่ยงตรงนั้นพบว่าในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ซามีค่าน้อยกว่าในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันเส้นใย (ร้อยละ 61.45 และร้อยละ 71.60) และมีค่าสูงกว่าคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงอยู่ภายใน (ร้อยละ 52.53)

จากการทดลองพบว่าค่าความจำเพาะในการตรวจหารอยแตกในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ซา และในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บ่งชี้ นั้น พบว่าค่าความจำเพาะโดยเฉลี่ยนั้นลดลงมาก ทั้งนี้เนื่องจากตัวกัตตาเพอร์ซาเองก็เป็นวัสดุที่มีความตึงเครียด และสามารถก่อให้เกิดสิ่งแปลกปนในภาพรังสีได้ดังที่ได้อธิบายไว้แล้ว ดังนั้นจึงส่งผลให้การแปลภาพรังสีเป็นผลบวกสูงชันทำให้ค่าความจำเพาะนั้นลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Menezes และคณะในปี ค.ศ. 2016 ที่พบว่าในคลองรากฟันที่มีกัตตาเพอร์ซา และในคลองรากฟันที่มีเดือยฟันโลหะเหวี่ยงนั้นจะส่งผลให้ค่าความจำเพาะในการตรวจหารอยแตกด้วยภาพรังสีซีบีซีที่ลดลง (64)

สำหรับค่าความสอดคล้องในการอ่านภาพรังสีนั้นพบว่าภายในตัวผู้แปลภาพรังสีเองมีค่าความน่าเชื่อถืออยู่ที่ในระดับที่หลากหลาย แต่ว่าโดยรวมถือว่าอยู่ในระดับที่มีความสอดคล้องต่ำถึงระดับดี โดยเฉพาะในคลองรากฟันที่ปราศจากวัสดุที่บ่งชี้มีค่าความสอดคล้องในการอ่านสูงที่สุด หากมีวัสดุที่บ่งชี้ในคลองรากฟันไม่ว่าจะเป็นกัตตาเพอร์ซา เดือยฟันโลหะเหวี่ยง และเดือยฟันเส้นใยเรซินล้วนแต่ส่งผลให้ค่าความสอดคล้องลดลง ส่วนค่าความสอดคล้องในการแปลภาพระหว่างตัวผู้แปลภาพรังสีนั้นมีค่าที่ความสอดคล้องดีในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บ่งชี้ และมีความสอดคล้องต่ำในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บ่งชี้ ซึ่งการที่ค่าความสอดคล้องระหว่างผู้แปลภาพรังสีที่ต่ำนี้ เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าภาพรังสีซีบีซีที่นั้นมีอาจจะมีความแม่นยำที่ไม่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของ การตรวจหารอยแตกภายในคลองรากฟันที่มีวัสดุที่บ่งชี้ที่อยู่ในคลองรากฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Patel และคณะในปี ค.ศ. 2013 (55)

### สรุปผลการทดลอง

ภายใต้ข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้พบว่าภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีที่มีขนาดว็อกเซล 0.125 มิลลิเมตร และบริเวณเห็นภาพขนาด 40x40 มิลลิเมตรมีความเที่ยงตรงสูงในการตรวจหารากฟันแตก แนวตั้งในคลองรากฟันที่ไม่มีวัสดุที่บรัสอยู่ภายใน และความเที่ยงตรงของภาพถ่ายรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้งจะลดลงเมื่อคลองรากฟันมีกัตาเพอร์ชา เดือยฟันเส้นใย และเดือยฟันโลหะเหวี่ยงอยู่ภายใน ดังนั้นเมื่อสงสัยว่าฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมาแล้วเกิดรากฟันแตกแนวตั้งจึงควรรื้อวัสดุที่บรัสออกจากคลองรากฟันก่อนส่งถ่ายภาพรังสีซีบีซีที

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาถัดไปควรนำโปรแกรมการลดสิ่งแปลกปนมาใช้เพื่อศึกษาความเที่ยงตรงของภาพรังสีซีบีซีทีในการตรวจหารากฟันแตกในแนวตั้ง

## บรรณานุกรม

1. Corbella S, Del Fabbro M, Tamse A, Rosen E, Tsesis I, Taschieri S. Cone beam computed tomography for the diagnosis of vertical root fractures: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2014;118(5):593-602.
2. Walton RE, Michelich RJ, Smith GN. The histopathogenesis of vertical root fractures. *J Endod.* 1984;10(2):48-56.
3. Cohen S, Blanco L, Berman L. Vertical root fractures: clinical and radiographic diagnosis. *J Am Dent Assoc.* 2003;134(4):434-41.
4. Sathorn C, Palamara JE, Palamara D, Messer HH. Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: a finite element analysis. *J Endod.* 2005;31(4):288-92.
5. Tamse A. Iatrogenic vertical root fractures in endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol.* 1988;4(5):190-6.
6. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod.* 1999;25(2):99-104.
7. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod.* 2003;29(8):523-8.
8. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Finite element analysis and strain-gauge studies of vertical root fracture. *J Endod.* 2003;29(8):529-34.
9. Chan CP, Lin CP, Tseng SC, Jeng JH. Vertical root fracture in endodontically versus nonendodontically treated teeth: a survey of 315 cases in Chinese patients. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;87(4):504-7.
10. Yeh CJ. Fatigue root fracture: a spontaneous root fracture in non-endodontically treated teeth. *Br Dent J.* 1997;182(7):261-6.
11. Meister F, Jr., Lommel TJ, Gerstein H. Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980;49(3):243-53.
12. Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: a clinical survey of 36 cases. *J Endod.* 1993;19(2):87-91.

13. Bergman B, Lundquist P, Sjogren U, Sundquist G. Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. *J Prosthet Dent.* 1989;61(1):10-5.
14. Torbjorner A, Karlsson S, Odman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent.* 1995;73(5):439-44.
15. Meeuwissen R, Eschen S. Twenty years of endodontic treatment. *J Endod.* 1983;9(9):390-3.
16. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod.* 1990;16(10):498-504.
17. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1990;69(5):631-5.
18. Cohen S, Berman LH, Blanco L, Bakland L, Kim JS. A demographic analysis of vertical root fractures. *J Endod.* 2006;32(12):1160-3.
19. Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J.* 1999;32(4):283-6.
20. Lustig JP, Tamse A, Fuss Z. Pattern of bone resorption in vertically fractured, endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000;90(2):224-7.
21. Pitts DL, Natkin E. Diagnosis and treatment of vertical root fractures. *J Endod.* 1983;9(8):338-46.
22. Lin LM, Langeland K. Vertical root fracture. *J Endod.* 1982;8(12):558-62.
23. Rud J, Omnell KA. Root fractures due to corrosion. Diagnostic aspects. *Scand J Dent Res.* 1970;78(5):397-403.
24. Kullendorff B, Nilsson M. Diagnostic accuracy of direct digital dental radiography for the detection of periapical bone lesions. II. Effects on diagnostic accuracy after application of image processing. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1996;82(5):585-9.
25. Yokota ET, Miles DA, Newton CW, Brown CE, Jr. Interpretation of periapical lesions using RadioVisioGraphy. *J Endod.* 1994;20(10):490-4.
26. Youssefzadeh S, Gahleitner A, Dorffner R, Bernhart T, Kainberger FM. Dental vertical root fractures: value of CT in detection. *Radiology.* 1999;210(2):545-9.

27. Ekestubbe A, Thilander-Klang A, Lith A, Grondahl HG. Effective and organ doses from scanography and zonography: a comparison with periapical radiography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2004;33(2):87-92.
28. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks SL, Howerton WB. Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CB Mercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35(4):219-26.
29. Hirsch E, Wolf U, Heinicke F, Silva MA. Dosimetry of the cone beam computed tomography Veraviewepocs 3D compared with the 3D Accuitomo in different fields of view. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(5):268-73.
30. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37(2-4):1-332.
31. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009;42(6):463-75.
32. American Association of E, American Acadamey of O, Maxillofacial R. AAE and AAOMR joint position statement. Use of cone-beam-computed tomography in endodontics. *Pa Dent J (Harrisb).* 2011;78(1):37-9.
33. Simon JH, Enciso R, Malfaz JM, Roges R, Bailey-Perry M, Patel A. Differential diagnosis of large periapical lesions using cone-beam computed tomography measurements and biopsy. *J Endod.* 2006;32(9):833-7.
34. Rigolone M, Pasqualini D, Bianchi L, Berutti E, Bianchi SD. Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: "low-dose cone-beam" CT analysis of the pathway and its anatomic variations. *J Endod.* 2003;29(11):773-5.
35. Nakajima A, Sameshima GT, Arai Y, Homme Y, Shimizu N, Dougherty H, Sr. Two- and three-dimensional orthodontic imaging using limited cone beam-computed tomography. *Angle Orthod.* 2005;75(6):895-903.
36. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007;40(10):818-30.
37. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007;33(9):1121-32.

38. Katsumata A, Hirukawa A, Noujeim M, Okumura S, Naitoh M, Fujishita M, et al. Image artifact in dental cone-beam CT. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101(5):652-7.
39. Lofthag-Hansen S, Huumonen S, Grondahl K, Grondahl HG. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114-9.
40. Sogur E, Baksi BG, Grondahl HG. Imaging of root canal fillings: a comparison of subjective image quality between limited cone-beam CT, storage phosphor and film radiography. *Int Endod J.* 2007;40(3):179-85.
41. Schulze R, Heil U, Gross D, Bruellmann DD, Dranischnikow E, Schwanecke U, et al. Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(5):265-73.
42. Mora MA, Mol A, Tyndall DA, Rivera EM. In vitro assessment of local computed tomography for the detection of longitudinal tooth fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(6):825-9.
43. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of cone beam computed tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod.* 2008;34(3):273-9.
44. Edlund M, Nair MK, Nair UP. Detection of vertical root fractures by using cone-beam computed tomography: a clinical study. *J Endod.* 2011;37(6):768-72.
45. Talwar S, Utneja S, Nawal RR, Kaushik A, Srivastava D, Oberoy SS. Role of Cone-beam Computed Tomography in Diagnosis of Vertical Root Fractures: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod.* 2016;42(1):12-24.
46. Junqueira RB, Verner FS, Campos CN, Devito KL, do Carmo AM. Detection of vertical root fractures in the presence of intracanal metallic post: a comparison between periapical radiography and cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2013;39(12):1620-4.
47. Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M, Jr., Correa LR, Correa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod.* 2010;36(11):1879-82.



48. da Silveira PF, Vizzotto MB, Liedke GS, da Silveira HL, Montagner F, da Silveira HE. Detection of vertical root fractures by conventional radiographic examination and cone beam computed tomography - an in vitro analysis. *Dent Traumatol.* 2013;29(1):41-6.
49. Ferreira RI, Bahrami G, Isidor F, Wenzel A, Haiter-Neto F, Groppo FC. Detection of vertical root fractures by cone-beam computerized tomography in endodontically treated teeth with fiber-resin and titanium posts: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013;115(1):e49-57.
50. de Rezende Barbosa GL, Sousa Melo SL, Alencar PN, Nascimento MC, Almeida SM. Performance of an artefact reduction algorithm in the diagnosis of in vitro vertical root fracture in four different root filling conditions on CBCT images. *Int Endod J.* 2016;49(5):500-8.
51. Metska ME, Aartman IH, Wesselink PR, Ozok AR. Detection of vertical root fractures in vivo in endodontically treated teeth by cone-beam computed tomography scans. *J Endod.* 2012;38(10):1344-7.
52. Makeeva IM, Byakova SF, Novozhilova NE, Adzhieva EK, Golubeva GI, Grachev VI, et al. Detection of artificially induced vertical root fractures of different widths by cone beam computed tomography in vitro and in vivo. *Int Endod J.* 2016;49(10):980-9.
53. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-5.
54. Kambungton J, Janhom A, Prapayatatok S, Pongsiriwet S. Assessment of vertical root fractures using three imaging modalities: cone beam CT, intraoral digital radiography and film. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012;41(2):91-5.
55. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J.* 2013;46(12):1140-52.
56. Brady E, Mannocci F, Brown J, Wilson R, Patel S. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. *Int Endod J.* 2014;47(8):735-46.
57. Hassan B, Metska ME, Ozok AR, van der Stelt P, Wesselink PR. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth by a cone beam computed tomography scan. *J Endod.* 2009;35(5):719-22.

58. Verma P, Love RM. A Micro CT study of the mesiobuccal root canal morphology of the maxillary first molar tooth. *Int Endod J.* 2011;44(3):210-7.
59. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Versiani MA, Moldauer BI, Topham G, Gutmann JL, et al. Comparative accuracy of the Clearing Technique, CBCT and Micro-CT methods in studying the mesial root canal configuration of mandibular first molars. *Int Endod J.* 2017;50(1):90-6.
60. Ozer SY. Detection of vertical root fractures by using cone beam computed tomography with variable voxel sizes in an in vitro model. *J Endod.* 2011;37(1):75-9.
61. Wenzel A, Haiter-Neto F, Frydenberg M, Kirkevang LL. Variable-resolution cone-beam computerized tomography with enhancement filtration compared with intraoral photostimulable phosphor radiography in detection of transverse root fractures in an in vitro model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;108(6):939-45.
62. Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):707-30, v.
63. Hassan B, Couto Souza P, Jacobs R, de Azambuja Berti S, van der Stelt P. Influence of scanning and reconstruction parameters on quality of three-dimensional surface models of the dental arches from cone beam computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2010;14(3):303-10.
64. Menezes RF, Araujo NC, Santa Rosa JM, Carneiro VS, Santos Neto AP, Costa V, et al. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth in the absence and in the presence of metal post by cone-beam computed tomography. *BMC Oral Health.* 2016;16:48.
65. Bechara B, Alex McMahan C, Moore WS, Noujeim M, Teixeira FB, Geha H. Cone beam CT scans with and without artefact reduction in root fracture detection of endodontically treated teeth. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013;42(5):20120245.
66. Scarfe WC, Levin MD, Gane D, Farman AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent.* 2009;2009:634567.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กิตติพงษ์ เกตุแป้น
วัน เดือน ปี เกิด	31 ตุลาคม 2530
สถานที่เกิด	จังหวัดอุตรดิตถ์
วุฒิการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลท่าอิฐ จ.อุตรดิตถ์ มัธยมศึกษา โรงเรียนอุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์ ปริญญาตรี คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY