

มิติใหม่ในการใช้เทคนิคการถ่ายภาพ ทางการแพทย์ขั้นสูงในงานเอนโดดอนติกส์

Advanced medical imaging technique in endodontics: a literature review

พริยา บุญทวี¹, วรณกมล ปัญญารักษ์² และ ธนิตา ศรีสุวรรณ¹

¹ ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² ภาควิชาชีววิทยาช่องปากและวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

การตรวจทางภาพรังสี (radiographic examination) เป็นเครื่องมือสำคัญในงานรักษาลงรากฟัน มีส่วนช่วยตั้งแต่กระบวนการวินิจฉัย การวางแผนการรักษา ประเมินการทำงานในระหว่างและภายหลังการรักษา รวมถึงการติดตามผลจากการรักษา เทคนิคการถ่ายภาพรังสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ภาพรังสีในช่องปากชนิดรอบปลายราก (intraoral periapical radiograph) เนื่องจากภาพรังสีชนิดนี้สามารถให้ข้อมูลกายวิภาคของคลองรากฟันรอบปลายรากฟัน รวมไปถึงกายวิภาคที่สำคัญบริเวณใกล้เคียงได้ มีราคาถูก ใช้งานง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางในการแปลผลภาพรังสี แต่ภาพรังสีชนิดรอบปลายรากก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็น การบิบัติกายวิภาคสามมิติ การบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต ภาพรบกวนของกายวิภาคใกล้เคียง และมุมมองต่อการแปลผลภาพรังสี ทบทวนวรรณกรรมฉบับนี้จึงได้รวบรวมการใช้เทคนิคการถ่ายภาพทางการแพทย์ขั้นสูงได้แก่ อัลตราซาวด์ (ultrasound) ภาพรังสีส่วนตัดคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม (CBCT) และการตรวจด้วยภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (MRI) ที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในงานเอนโดดอนติกส์ เพื่อลดข้อจำกัดของภาพถ่ายรังสีสองมิติ อย่างไรก็ตามภาพรังสีในช่องปากชนิดรอบปลายรากก็ยังคงเป็นภาพที่เหมาะสมในการประเมินเบื้องต้น การจะเลือกใช้เทคนิคขั้นสูงอื่นๆนั้นควรคำนึงถึงความคุ้มค่า ความจำเป็นในการใช้งาน ปริมาณรังสี และความปลอดภัยของผู้ป่วยเป็นสำคัญ

คำสำคัญ: เอนโดดอนติกส์, อัลตราซาวด์, ภาพรังสีส่วนตัดคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม, และการตรวจด้วยภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

การอ้างอิง: พริยา บุญทวี, วรณกมล ปัญญารักษ์, ธนิตา ศรีสุวรรณ. มิติใหม่ในการใช้เทคนิคการถ่ายภาพทางการแพทย์ขั้นสูงในงานเอนโดดอนติกส์. วารสารเอนโดดอนติกส์ไทย 2565; 1: 17-32.

Abstract

Radiographic examination plays an important role in root canal treatment procedures. It is a useful tool for diagnosis, treatment planning, intra-operative control and outcome assessment. The most common radiographic examination in endodontic field is an intraoral periapical radiograph. The radiograph provides root canal anatomy, periapical area and crucial surrounding anatomical structures. Although it is practical and does not require specialist for interpretation, periapical image has limitations of usage such as compression of three-dimensional anatomy, geometric distortion, anatomical noise and temporal perspective. The assessment from only conventional radiograph might have been misleading or difficult in some cases. This review explains the limitations of periapical radiograph and recommends the others advance medical imaging technique which had been recently used in endodontic field to overcome some of limitations association with periapical radiograph. These include ultrasound, computed tomography and cone beam computed tomography (CBCT) and magnetic resonance imaging (MRI). However, the intraoral periapical radiograph is still a proper image for initial assessment. Worthiness, necessity and safety should be considered for application of others advance technique.

Keywords: endodontics, cone beam computed tomography, magnetic resonance imaging, ultrasound

Correspondence: ธนิตา ศรีสุวรรณ

ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โทรศัพท์: 061-3282953

Email address: tanida.srisuwan@cmu.ac.th

Received: 24 February 2022

Revised: 29 April 2022

Accepted: 26 May 2022

บทนำ

การตรวจทางภาพรังสี (radiographic examination) เป็นเครื่องมือสำคัญในงานรักษากล่องรากฟัน มีส่วนช่วยตั้งแต่กระบวนการวินิจฉัย การวางแผนการรักษา ประเมินการทำงานในระหว่างและภายหลังการรักษา รวมถึงการติดตามผลจากการรักษา(1) เทคนิคการถ่ายภาพรังสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ภาพรังสีในช่องปากชนิดรอบปลายราก (intraoral periapical radiograph) เนื่องจากภาพรังสีชนิดนี้สามารถให้ข้อมูลกายวิภาคของคลองรากฟัน (root canal anatomy) การมีอยู่และตำแหน่งของรอยโรครอบปลายรากฟัน รวมไปถึงกายวิภาคที่สำคัญบริเวณใกล้เคียงได้ มีราคาถูก ใช้งานง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางในการแปลผลภาพรังสี

แม้เทคนิคการถ่ายภาพรังสีในช่องปากชนิดรอบปลายรากจะเป็นที่นิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลาย แต่การถ่ายภาพรังสีชนิดนี้ก็ยังมีข้อจำกัดการใช้งาน ได้แก่

1. การบีบอัดกายวิภาคสามมิติ (compression of three-dimensional anatomy) คือ การบีบอัดกายวิภาคที่มีลักษณะเป็นวัตถุสามมิติให้แสดงผลออกมาเป็นภาพสองมิติ ภาพรังสีจะแสดงโครงสร้างส่วนตัวฟัน รากฟัน และเนื้อเยื่อรอบฟันให้เห็นในแนวระนาบใกล้กลางไกลกลาง (mesio-distal plane) เท่านั้น ส่วนโครงสร้างที่อยู่ในระนาบกระพุ้งแก้มลิ้น (bucco-lingual plane) มักจะไม่แสดงให้เห็นในภาพรังสี การประเมินตำแหน่ง รูปร่างโครงสร้างกายวิการอบรากฟัน ไม่ว่าจะเป็นรอยโรครอบปลายรากฟันที่มีความเกี่ยวข้องกับฟันขึ้นนั้น หรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟัน เช่น การละลายของรากฟัน (root resorption) นั้นทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานศัลยกรรมปลายรากฟัน (endodontic surgery) ที่จำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลในการวางแผนการรักษาอย่างละเอียด การใช้ภาพรังสีรอบปลายรากเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการวางแผนการทำงาน(2)

2. การบิดเบี้ยวทางเรขาคณิต (geometric distortion) ซึ่งเกิดจากการจัดตำแหน่งตัวรับภาพ (image receptor) ไม่ขนานกับแนวแกนฟัน (tooth axis) ทำให้ตัวฟันในภาพรังสีสั้นหรือยาวกว่าความเป็นจริง หรือ

แสดงขนาดของกายวิภาคเล็กหรือใหญ่กว่าความเป็นจริง รวมถึงอาจไม่ครอบคลุมรอยโรครอบปลายรากฟันได้ทั้งหมด แม้ว่าทันตแพทย์จะสามารถถ่ายภาพรังสีได้ขนานกับแนวแกนฟัน แต่ควรคาดเดาไว้ว่าวัตถุจริงจะมีขนาดเล็กกว่าที่ปรากฏในภาพรังสีประมาณร้อยละ 5(3) ซึ่งการขยายของภาพรังสีที่เกิดขึ้นเกิดจากฟันและตัวรับภาพมีระยะห่างกันเล็กน้อย รวมถึงลำรังสีที่ตกกระทบวัตถุและตัวรับภาพมีลักษณะผายออกเล็กน้อย

3. ภาพรบกวนของกายวิภาคใกล้เคียง (anatomical noise) อาจเกิดจากกายวิภาค โครงสร้าง หรือบริเวณพื้นของภาพที่เป็นเงาที่บังรังสีหรือเงาโปร่งรังสีอยู่บริเวณใกล้เคียงกับตัวฟันที่รบกวนตำแหน่งที่สนใจและต้องการมองเห็น ทำให้บางครั้งการแปลผลภาพรังสีเป็นไปได้ยาก(4) ซึ่ง Brynolf(5) เป็นผู้ตั้งข้อสังเกตปัญหาการรบกวนการแปลผลภาพรังสีเป็นครั้งแรก โดยพบว่าเงาของคลองเพดานปากหลังฟันตัด (incisive canal) ที่ทับอยู่บนปลายรากฟันของฟันหน้าบนทำให้การแปลผลทางภาพรังสีนั้นยากซับซ้อนมากขึ้น มีหลายการศึกษาในอดีตที่สรุปได้ว่า รอยโรครอบปลายรากฟันที่เกิดอยู่ในขอบเขตของกระดูกเนื้อโปร่ง (cancellous bone) นั้นมองเห็นได้ยากในภาพรังสี (6, 7) การศึกษาของ Lee และ Messer(8) พบว่าเมื่อรากฟันอยู่ในแผ่นกระดูกทึบที่บางจะทำให้มองเห็นรอยโรคปลายรากได้ง่ายกว่ารากฟันที่อยู่ในแผ่นกระดูกทึบที่หนากว่า

4. มุมมองต่อการแปลผลภาพรังสี (temporal perspective) ภาพถ่ายรังสีเป็นการแสดงภาพ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง การประเมินผลการรักษากล่องรากฟันนั้นจำเป็นต้องเปรียบเทียบผลการรักษาในเวลาที่แตกต่างกันทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการรักษา ซึ่งการจะเปรียบเทียบภาพถ่ายรังสีแต่ละช่วงเวลาให้ผลการประเมินแม่นยำและน่าเชื่อถือควรเป็นภาพรังสีที่ถ่ายจากมุมเดียวกัน มีความทึบ (density) และความเปรียบต่าง (contrast) ที่เท่ากัน ภาพรังสีที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่กล่าวมา อาจทำให้การประเมินผลการรักษาการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันหรือความล้มเหลวจากการรักษานั้นสูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริงได้

จากข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้ในบางครั้งจำเป็นต้องใช้เทคนิคการถ่ายภาพทางทันตแพทย์ชนิดอื่น

มาช่วยเสริมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ และมีประสิทธิภาพ ในการรักษาคอลงรากฟันมากขึ้น การทบทวนวรรณกรรมฉบับนี้ จะนำเสนอเทคนิคการถ่ายภาพทางการแพทย์ขั้นสูง (advanced medical imaging) ที่เข้ามามีบทบาทและมีส่วนช่วยในการทำงานรักษาคอลงรากฟันในปัจจุบัน

เทคนิคการถ่ายภาพขั้นสูงในงานเอ็นโดดอนติกส์ (advanced imaging in endodontics)

อัลตราซาวด์ (ultrasound)

หลักการทำงานของเครื่องอัลตราซาวด์ทางการแพทย์ จะเริ่มด้วยการผลิตและส่งคลื่นเสียงความถี่สูงออกจากหัวตรวจ ไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่อยู่โดยรอบ เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ ผ่านส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายจะเกิดคลื่นเสียงสะท้อนกลับ มายังหัวตรวจ (probe) ซึ่งอวัยวะที่แตกต่างกันจะส่งผ่าน ดูดกลืน และสะท้อนคลื่นเสียงที่มีลักษณะและเวลาต่างกัน สุดท้ายเครื่อง อัลตราซาวด์จะบันทึกลักษณะและระยะเวลาการเดินทางของ คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมายังหัวตรวจ และจะประมวลสัญญาณ เพื่อสร้างเป็นภาพดิจิทัลแบบสองมิติ สามมิติ หรือสี่มิติ ซึ่ง อัลตราซาวด์เป็นเทคนิคภาพวินิจฉัยที่ปลอดภัยต่อผู้ป่วย เนื่องจากผู้ป่วยไม่ได้รับรังสี(9) การถ่ายภาพอัลตราซาวด์อีก เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจในทางทันตกรรมคือ เทคนิคอัลตราซาวด์ ชนิดสี (color doppler ultrasound) ซึ่งคือการนำ คอมพิวเตอร์มาประมวลผลภาพรวมกับเครื่องอัลตราซาวด์ ชนิดคู่ (duplex ultrasound) ซึ่งประกอบด้วยส่วนอัลตราซาวด์ เรียลไทม์ (realtime ultrasound) และอัลตราซาวด์ดอปเปลอร์ (doppler technique) เครื่องมือนี้สามารถแสดงภาพของ อวัยวะส่วนที่กำลังตรวจ ภาพของหลอดเลือดรวมถึงทิศทาง การไหลและความเร็วของการไหลของเลือดในอวัยวะนั้นได้ พร้อมกันโดยไม่ต้องฉีดสารทึบแสง (contrast agent) เข้าไป ในหลอดเลือด ช่วยบอกสรีระวิทยาของอวัยวะนั้น ๆ โดย ดูจากทิศทางและลักษณะของการไหลเวียนเลือด(10) ในส่วน ของงานเอ็นโดดอนติกส์มีการนำอัลตราซาวด์มาใช้ในการตรวจหา ฟันต้นเหตุที่ทำให้เกิดรูเปิดทางหนองไหล (sinus tracing)(11) ใช้ในการวินิจฉัยแยกรอยโรครอบปลายราก(12,13) รวมถึง มีการนำเทคนิคอัลตราซาวด์ชนิดสีมาใช้ในการตรวจติดตาม

รอยโรครอบปลายรากภายหลังการรักษา และประเมิน การตอบสนองต่อการรักษาคอลงรากฟัน(14-16)

ข้อจำกัดของการตรวจด้วยอัลตราซาวด์ในงานรักษาคอลงรากฟัน คือ คลื่นอัลตราซาวด์จะถูกปิดกั้นโดยกระดูก ดังนั้น อัลตราซาวด์จะมีประโยชน์เฉพาะในกรณีที่รอยโรค รอบปลายรากฟันลุกลามทะลุกระดูกทึบหรือมีกระดูกทึบบาง ๆ ปกคลุมอยู่ และเหมาะกับการตรวจบริเวณฟันหน้า เนื่องจากการวางหัวตรวจบริเวณฟันหลังนั้นทำได้ยาก นอกจากนี้การแปลผลภาพอัลตราซาวด์นั้นทำได้โดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกฝนมาเท่านั้น

การตรวจด้วยภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (Magnetic Resonance Imaging : MRI)

การสร้างภาพด้วยภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก (MRI) อาศัยหลักการกำหนดของนิวเคลียสในสนามแม่เหล็กแรงสูง (magnetic resonance) ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กับนิวเคลียสของอะตอมซึ่งอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กแรงสูง (B_0) โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในปัจจุบัน มีค่าประมาณ 0.5-3 เทสลา (tesla) อะตอมของไฮโดรเจน หรือโปรตอน (hydrogen, H^+) ในร่างกายจะถูกกระตุ้น ด้วยคลื่นวิทยุ (radiofrequency pulse, RF pulse) ที่มีความถี่เท่ากับการหมุนของโปรตอนเป็นจังหวะสั้น ๆ ที่ทำให้โปรตอนออกจากสถานะสมดุลไปสู่สถานะกระตุ้น (excitation) จากนั้นหยุดการกระตุ้นซึ่งโปรตอนจะกลับคืนสู่สถานะสมดุล และปล่อยสัญญาณกำหนดออกมา เรียกว่า ค่าเวลาในการผ่อนคลาย (relaxation time) แล้วเครื่อง จะรับสัญญาณตามเวลาที่โปรตอนกลับเข้าสู่สถานะสมดุล อีกครั้ง แล้วส่งสัญญาณนั้นเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผล ออกมาเป็นภาพ โดยข้อมูลภาพ MRI ขึ้นกับความหนาแน่น ของโปรตอนในอวัยวะนั้นและคุณสมบัติทางเคมีของโมเลกุล รวมถึงสิ่งแวดล้อมโดยรอบเช่น น้ำ เนื้อเยื่อไขมัน กระดูก เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้และค่าเวลาการผ่อนคลาย ของแต่ละเนื้อเยื่อจะมีประโยชน์ในการสร้างภาพในลักษณะ ต่าง ๆ เช่น T1-weighted image (T1-WI), T2-weighted image (T2-WI), proton density (PD), diffusion weight image (DWI) เป็นต้น(17)

ในทางทันตกรรมมีการนำ MRI มาใช้ในการวินิจฉัย รอยโรคในเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue lesion) รอยโรค ในต่อมน้ำลาย ตรวจสอบความผิดปกติของข้อต่อขากรรไกร (temporomandibular joint) และเป็นส่วนช่วยในการประเมินการลุกลามของเนื้อร้าย (tumor staging)(18) ใช้ในการวางแผนการทำงานรากเทียม ช่วยในการวินิจฉัย โรคฟันผุ ส่วนในงานเอ็นโดดอนติกส์ MRI มีส่วนช่วย ในการตรวจวินิจฉัยฟันหลายรากโดยดูจากแขนงของ ระบบ หลอดเลือดและระบบประสาทขนาดเล็กที่เข้าสู่รูเปิดปลาย รากฟัน แสดงลักษณะรูปร่างเนื้อเยื่อใน (pulp morphology) (19, 20) สามารถบอกตำแหน่งและขนาดของรอยโรครอบ ปลายรากฟัน บ่งบอกลักษณะการละลายและการหนาตัว ของกระดูกทึบ(21) อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ ในการตรวจสอบความมีชีวิตของฟัน(22-24)

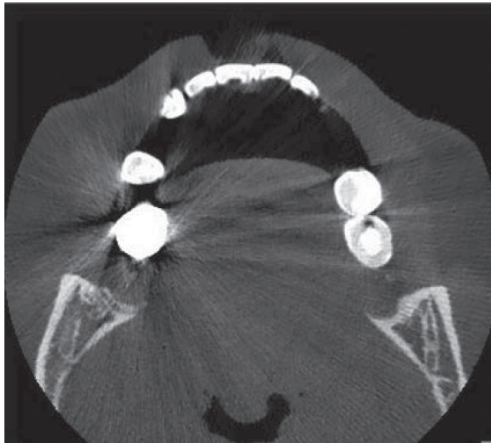
ภาพรังสีส่วนตัดคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม (Cone-Beam Computed Tomography : CBCT)

ภาพรังสีส่วนตัดคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม (Cone-Beam Computed Tomography) สามารถเรียกได้ ในอีกหลายชื่อ ได้แก่ ภาพรังสีระนาบปริมาตรทางทันตกรรม (Dental Volumetric Tomography) รังสีปริมาตรโคนบีม (Cone-Beam Volumetric Tomography) ภาพรังสี ส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ทางทันตกรรม (Dental Computed Tomography) และภาพถ่ายโคนบีม (cone-Beam imaging) แต่นิยมเรียกว่าภาพรังสีส่วนตัดอาศัย คอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีม เนื่องจากภาพที่ได้เป็นภาพรังสี ระนาบ (tomography) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง แบบดิจิทัลโดยรังสีรูปกรวยหรือปริมาตร แล้วถูกนำไปสร้าง ภาพด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์(25)

หลักการทำงานของเครื่อง CBCT อาศัยการปล่อยรังสี ออกจากแหล่งกำเนิดรังสีผ่านผู้ป่วยและมีตัวรับรังสีตรวจจับ โดยทั้งแหล่งกำเนิดรังสีและตัวรับรังสีจะติดบนแกนหมุน รอบตัวผู้ป่วย 360 องศาเพื่อให้ได้ปริมาตรของภาพเช่นเดียวกับการถ่ายภาพรังสีแพโนรามา จากนั้นบันทึกเป็นข้อมูลดิบ เพื่อนำไปสร้างเป็นภาพตัดขวางด้วยโปรแกรมคำสั่งใน เครื่องคอมพิวเตอร์

CBCT สร้างภาพจากปริมาตรหน่วยย่อยที่เรียกว่า voxel ที่มีลักษณะทรงลูกบาศก์ที่เท่ากันทั้งสามมิติ และมีขนาดเท่าขนาดหน่วยย่อย (pixel size) ของตัวรับรังสี โดยนำภาพดิจิทัลสองมิติที่ได้มาเรียงเป็นบริเวณที่รับภาพ สามารถสร้างเป็นรูปทรงปริมาตรได้ถูกต้องในทุกทิศทาง ซึ่งบริเวณที่สนใจจะได้รับรังสีพร้อมกันทั้งหมด สามารถสร้าง ภาพได้เร็ว ใช้ระยะเวลาการถ่ายภาพประมาณ 6-40 วินาที ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับน้อยกว่าภาพรังสีส่วนตัดอาศัย คอมพิวเตอร์ทางการแพทย์ (medical computed tomography) ในงานเอ็นโดดอนติกส์นิยมนำภาพถ่ายรังสี CBCT มาใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนข้อจำกัดของภาพถ่ายรังสี สองมิติ มีการนำมาใช้ในการตรวจหารอยโรครอบปลาย รากฟัน ตรวจหาและระบุคลองรากฟัน การตรวจหารอยแตก รากฟัน(26) ใช้เพื่อศึกษาลักษณะการละลายภายในและ ภายนอกรากฟัน และใช้สำหรับการวางแผนการรักษา การศัลยกรรมปลายรากฟัน(27)

ข้อจำกัดของการถ่ายภาพรังสี CBCT คือ ปริมาณ รังสีที่ผู้ป่วยได้รับสูงกว่าภาพรังสีในช่องปากและภาพรังสี แพโนรามา ใช้ระยะเวลาการถ่ายภาพที่นานกว่า และประมวล ผลภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ อีกทั้งรายละเอียด ของภาพ (spatial resolution) ประมาณ 0.4-0.076 หรือ เทียบกับ 1.25-6.5 line pairs/mm ซึ่งน้อยกว่าภาพรังสี ทัวไปที่ใช้ฟิล์ม (ประมาณ 20 line pairs/mm) หรือ การถ่ายภาพดิจิทัลภายในช่องปาก (8-20 line pairs/mm) หากทันตแพทย์ต้องการความละเอียดของปริมาตรหน่วยย่อย มากขึ้น ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับก็จะยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย อีกทั้ง วัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่มีส่วนประกอบของโลหะ หรือมีความหนาแน่นสูง เช่น ครอบฟัน เดือยฟันโลหะ หรือ วัสดุอุดคลองรากฟันกัตะตาเปอร์ชา ทำให้เกิดภาพหลอกลวง (artifact) เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ดูดกลืนรังสีต่างกัน ทำให้เกิด cupping artifact และ streaks and dark bands ที่เกิด ระหว่างวัตถุที่มีความหนาแน่นต่างกันมาก 2 ชนิด ภาพที่ได้ จะมีลักษณะเส้นทึบและโปร่งรังสีที่เกิดจากการดูดกลืนรังสี ที่ผิดไปจากภาพจริง ทำให้เกิดความผิดพลาดในการแปลผล ภาพรังสีได้ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงภาพ CBCT ระบายตามแกนของตัวฟันใน
ขากรรไกรล่างแสดงภาพหลอกลวง (artifact) จากครอบฟัน
โลหะ โดย 1. Cupping effect, 2. Streak artifacts และ
3. Dark band

การนำเทคนิคการถ่ายภาพขั้นสูงมาใช้ในการ เอ็นโดดอนติกส์

1. ก่อนการรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์

1.1 ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของคลองรากฟัน

การจะประสบความสำเร็จในงานรักษาคคลองรากฟันนั้น ขึ้นอยู่กับการระบุคลองรากฟันได้ครบทุกตำแหน่ง ซึ่งจะนำไปสู่ การเข้าถึงคลองรากฟัน การทำความสะอาดและการอุดคลอง รากฟันได้อย่างเหมาะสม(28) หลายการศึกษาตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบันรายงานความชุกของคลองรากฟันในลักษณะ- ใกล้แก้มคลองรากที่สอง (second mesiobuccal canal, MB2 canal) ในฟันกรามบนตั้งแต่ร้อยละ 37 ถึงร้อยละ 96 ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการศึกษา(29-32) Studebaker และ คณะ(33) ได้ทำการศึกษาความถี่ในการใช้ CBCT เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจหา MB2 canal ในการรักษาคคลองรากฟัน กรามบนและประเมินผลความสำเร็จจากการใช้งาน พบว่า ส่วนใหญ่จะเลือกใช้ CBCT ในการตรวจหา MB2 canal ในฟัน ที่ล้มเหลวจากการรักษาครั้งแรกและจำเป็นต้องได้รับการรักษาซ้ำ มากกว่าในฟันที่จำเป็นต้องรักษาคคลองรากฟันเป็นครั้งแรก และ พบว่า CBCT เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการช่วยระบุ ตำแหน่ง MB2 canal Blattner และคณะ(34) ได้ศึกษา เปรียบเทียบการใช้ CBCT ภาพรังสีแบบดั้งเดิม และการตัด

รากฟันเพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของ MB2 canal ในฟันกรามบน ซี่ที่หนึ่ง และซี่ที่สอง ผลการศึกษาพบว่าภาพจาก CBCT สามารถ แสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของ MB2 canal ได้ดีเมื่อเทียบกับ ผลการตรวจโดยการตัดรากฟันซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานทาง กายภาพที่ใช้ตรวจหา MB2 canal Baratto และคณะ(29) พบว่า CBCT เป็นเครื่องมือที่ดีในการประเมินโครงสร้างภายใน ของฟันกรามบนเมื่อใช้งานร่วมกับ dental operating microscope ส่วนการศึกษาการใช้งาน CBCT ของ Bauman และคณะ(35) ทำการศึกษาผลของการเพิ่ม voxel resolution ของ CBCT ต่อการตรวจพบ MB2 canal ในฟันกรามบนซี่ที่หนึ่ง ที่ถูกถอนออกมา พบว่าอัตราการตรวจพบ MB2 canal จากภาพ CBCT เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 60 เป็นร้อยละ 93.3 เมื่อทำการเพิ่ม resolution ดังนั้นจากผลการศึกษาครั้งนี้จึงแนะนำว่าเมื่อพิจารณา ใช้ CBCT ควรที่จะใช้ resolution ที่ 0.12 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า จึงจะเหมาะสม นอกจากนี้ภาพสามมิติจาก CBCT ยังมีประโยชน์ ในการพิจารณารัศมีความโค้งของคลองรากฟันเพื่อเลือก เครื่องมือและวิธีการในการรักษาได้อย่างเหมาะสม(36) ใช้ตรวจ ความซับซ้อนของระบบคลองรากฟัน เช่น ในฟันกรามน้อยล่าง ที่มีระบบคลองรากฟันที่ซับซ้อน ในฟันกรามล่างแท้ที่มีคลอง รากฟันรูปตัวซี (C-shaped canal) ภาพฟันในฟัน (dens invaginatus) ฟันหน้าบนที่มีโอกาสพบร่องเพดานปาก-เหงือก (palatogingival groove) ซึ่งอาจเป็นทางติดต่อระหว่างเนื้อเยื่อ ในฟันและเนื้อเยื่อปริทันต์ทำให้เกิดรอยโรคเอ็นโดดอนติกส์และ ปริทันต์ (endodontic-periodontic lesion) ได้(37)

1.2 การวินิจฉัยรากฟันแตกแนวตั้ง (vertical root fracture)

การแตกของรากฟันในแนวตั้ง หมายถึง รากฟันที่มีรอยแตก ขยายขอบเขตในแนวแกนฟัน ซึ่งถ้าเกิดลักษณะดังกล่าวแล้ว ไม่ได้รับการวินิจฉัยและรักษาอาจทำให้การทำลายเยื่อปริทันต์ และกระดูกเบ้าฟันรอบรากฟันต่อไปเรื่อย ๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การพยากรณ์โรคของฟันข้างเคียงและการบูรณะในอนาคต ในฟันบางซี่ที่มีรากฟันแตกในแนวตั้งอาจไม่แสดงอาการ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจวินิจฉัยให้ได้โดยเร็ว จากการศึกษา พบว่า 1 ใน 3 ของรากฟันแตกในแนวตั้งนั้นสามารถตรวจพบ ได้จากภาพรังสี เมื่อลำรังสีผ่านตั้งฉากกับรอยแตก หรือมี granulation tissue เจริญเข้ามาระหว่างรอยแตกนั้น(38)

วิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการวินิจฉัยการแตกของรากฟันในแนวตั้ง คือการผ่าตัดเปิดเหงือกร่วมกับการมองเห็นผ่านกล้องกำลังขยายสูงร่วมกับการย้อมสีเพื่อตรวจดูลักษณะรอยแตกบริเวณรากฟันโดยตรง Edlund และคณะ(39) ตรวจฟันจำนวน 32 ซี่ในผู้ป่วย 29 รายที่มีอาการที่สงสัยว่ามีการแตกของรากฟันในแนวตั้งด้วย CBCT ร่วมกับการผ่าตัดเปิดเหงือกเพื่อตรวจหารอยแตกในแนวตั้ง ผลการตรวจแสดงให้เห็นว่าการวินิจฉัยด้วย CBCT และการเปิดเหงือกเพื่อหารอยแตกโดยตรงนั้นมีความสัมพันธ์กันสูง เป็นการสนับสนุนและยืนยันผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ผ่านมาในการใช้ CBCT เป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยการแตกของรากฟันในแนวตั้ง โดย Fayad และคณะ(26) ได้นำเสนอรายงานผู้ป่วยที่ได้นำ CBCT มาใช้ในการวินิจฉัยรอยแตกในแนวตั้ง รวมถึงอธิบายลักษณะของฟันที่มีรอยแตกในแนวตั้ง (sign of vertical root fracture) ที่ตรวจพบได้ในภาพรังสี CBCT

1.3 การวินิจฉัยรอยโรครอบปลายรากฟัน (Diagnosis of periapical lesion)

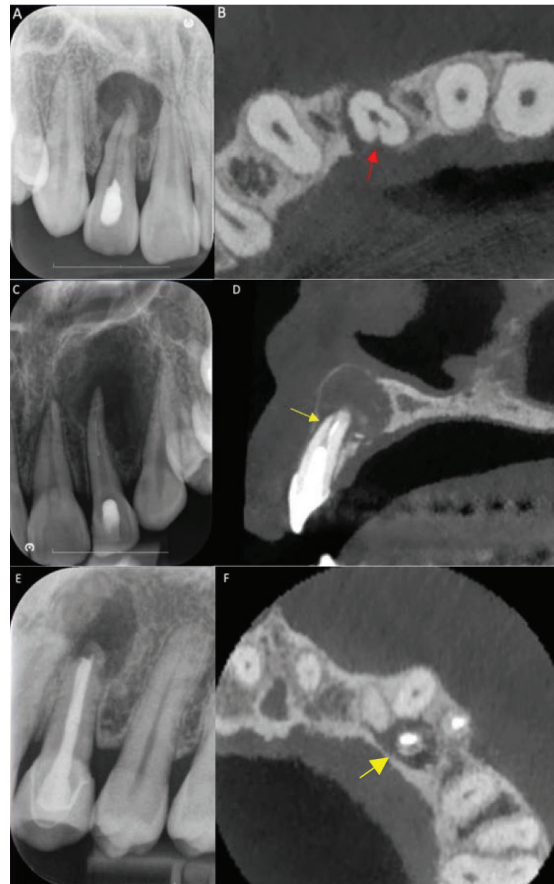
การวินิจฉัยแยกโรครอบปลายรากฟันระหว่างถุงน้ำที่แท้จริง (true cyst) และแกรนูโลมา (granuloma) อาจจะมีส่วนช่วยในการคาดการณ์ผลการรักษาได้ จึงมีการนำการตรวจอัลตราซาวด์เรียลไทม์มาประเมินรอยโรคของกระดูกที่มีสาเหตุจากเนื้อเยื่อในคลองรากฟัน โดยการศึกษาของ Cotti และคณะ(12) ที่ทำการศึกษาการวินิจฉัยแยกโรคของรอยโรครอบปลายรากฟันที่มีสาเหตุจากเนื้อเยื่อในคลองรากฟันด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ชนิดสีและให้การวินิจฉัยเบื้องต้น โดยดูจากหลักฐานการมีอยู่ของหลอดเลือดในรอยโรครอบปลายรากฟัน หลังจากนั้นทำการยืนยันผลการวินิจฉัยด้วยลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ (histology) พบว่าผลจากการให้การวินิจฉัยเบื้องต้นจากภาพอัลตราซาวด์ตรงกับผลการตรวจทางจุลกายวิภาคศาสตร์ในผู้ป่วยทุกราย ต่อมา Gundappa และคณะ(13) ได้ทำการศึกษาซ้ำในการวินิจฉัยแยกโรคของรอยโรครอบปลายรากฟันโดยใช้การตรวจสอบด้วยอัลตราซาวด์ ผลการศึกษาไปในทางเดียวกันคือ อัลตราซาวด์เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในการวินิจฉัยแยกโรครอบปลายรากฟัน อย่างไรก็ตามการตรวจสอบชิ้นเนื้อไม่ได้เป็นการศึกษารอยโรคทั้งก่อน ดังนั้นรอยโรครอบปลายรากฟันที่ถูกวินิจฉัยว่าเป็นถุงน้ำนั้น

ก็ยังไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นถุงน้ำที่แท้จริงหรือถุงน้ำพ็อกเก็ต (pocket cyst)

Simon และคณะ(40) ทำการศึกษาโดยใช้ CBCT ในการวินิจฉัยแยกโรคของรอยโรครอบปลายรากฟัน พบว่าผลการวินิจฉัยจากภาพรังสี CBCT นั้นสอดคล้องกับผลการวินิจฉัยทางจุลกายวิภาคศาสตร์จำนวน 13 รายจากทั้งหมด 17 ราย ในทางกลับกัน การศึกษาของ Rosenberg และคณะ(41) ที่ทำการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างฟันจำนวน 45 ซี่สรุปได้ว่าไม่สามารถให้การวินิจฉัยกรานูโลมาหรือถุงน้ำจากภาพ CBCT โดยสรุปแล้วการใช้ข้อมูลจากภาพรังสี CBCT นั้นไม่สามารถวินิจฉัยแยกโรคของรอยโรครอบปลายรากฟันได้ และวิธีมาตรฐาน (gold standard) ในการวินิจฉัยแยกโรค คือ การตรวจด้วยลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์

นอกจากนี้ ยังมีการนำ CBCT มาช่วยในการตรวจหารอยโรคปลายรากฟัน (ภาพที่ 2) ดังการศึกษาของ Estrela และคณะ(42) ที่ทำการศึกษาการตรวจพบรอยโรครอบปลายรากฟันเปรียบเทียบจากภาพรังสีเพโนรามา ภาพรังสีรอบปลายรากและภาพรังสี CBCT พบว่าความชุกในการตรวจพบรอยโรครอบปลายรากฟันด้วย CBCT นั้นสูงกว่าเทคนิคอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยรอยโรครอบปลายรากฟันจะสามารถตรวจพบได้จากภาพรังสีรอบปลายรากได้ ก็ต่อเมื่อมีการลุกลามของรอยโรคปลายรากฟันไปมากแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของการศึกษาของ Bender และ Seltzer(43) ที่กล่าวว่า รอยโรครอบปลายรากฟันนั้นจะไม่สามารถวินิจฉัยได้ด้วยภาพรังสีรอบปลายรากถ้ารอยโรคนั้นไม่มีการรุกรานมายังกระดูกทึบ จึงสรุปได้ว่า CBCT มีความแม่นยำในการระบุรอยโรครอบปลายรากฟันชนิด apical periodontitis

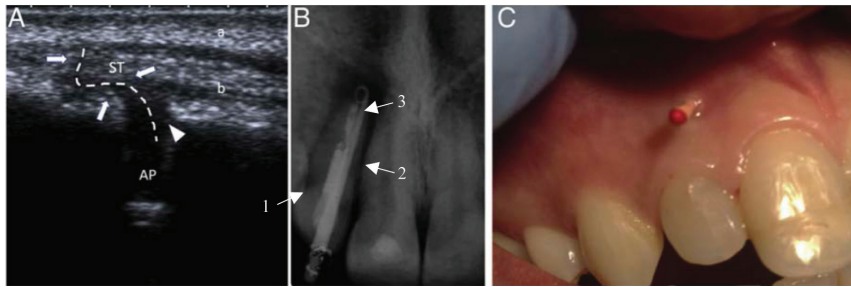
Lofthag และคณะ(44) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการตรวจพบรอยโรครอบปลายรากฟันจากภาพรังสีรอบปลายรากที่ถูกถ่ายด้วย 2 มุมที่แตกต่างกันและภาพรังสี CBCT พบว่าจากภาพรังสี CBCT สามารถตรวจพบรอยโรคปลายรากฟันได้มากกว่า โดยมีการศึกษาของ Low และคณะ (45) และ Cotton และคณะ(46) ที่ให้ผลที่คล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 2 แสดงการนำภาพ CBCT มาใช้ในงานเอ็นโดดอนต์ (A) ภาพรังสีรอบปลายรากของฟันตัดหน้าบนขาขึ้นที่แสดงรอยโรคโพรงรังสีรอบปลายรากฟันขอบเขตชัดเจน และ (B) ภาพ CBCT ระนาบตามแกน (axial plane) แสดงร่องเพดานปาก-เหงือก (ลูกศรสีแดง) ที่มีส่วนติดต่อกับคลองรากฟัน และจากระนาบนี้ยังแสดงให้เห็นรอยโรคที่อยู่ล้อมรอบรากฟันในแนวใกล้แก้ม-ใกล้เพดานปาก, (C) ภาพรังสีรอบปลายรากของฟันตัดหน้าบนขาขึ้นที่แสดงรอยโรคโพรงรังสีรอบปลายรากฟันขอบเขตชัดเจนขนาดใหญ่, (D) ภาพ CBCT ระนาบแบ่งซ้ายขวา (sagittal plane) แสดงการทำความสะอาดคลองรากฟันที่ผิดปกติ (ลูกศรสีเหลือง), (E) ภาพรังสีรอบปลายรากของฟันกรามน้อยบนขาขึ้นที่หนึ่งแสดงรอยโรคโพรงรังสีรอบปลายรากฟันขอบเขตชัดเจน จะเห็นว่าภาพรังสีรอบปลายรากไม่สามารถจำแนกได้ว่ารอยโรคปลายรากนั้นครอบคลุมทั้ง 2 รากหรืออยู่เฉพาะที่รากใดรากหนึ่งหรือไม่ แต่จาก (F) ภาพ CBCT ระนาบตามแกนเพื่อวางแผนการผ่าตัดปลายรากฟันแสดงขอบเขตรอยโรคปลายรากอยู่เฉพาะที่รากฟันด้านใกล้เพดานปาก (ลูกศรสีเหลือง)

ในฟันที่พบรูเปิดหนอง (sinus tract) โดยมีสาเหตุจากเนื้อเยื่อในคลองรากฟัน ในปัจจุบันนี้ นอกจากจะใช้เทคนิคการทำ sinus tracing ร่วมกับการถ่ายภาพรังสีรอบปลายรากเพื่อหาฟันที่เป็นสาเหตุแล้ว Cotti และคณะ(11) ได้นำเสนอการตรวจหาสาเหตุการเกิดรูเปิดหนอง ทั้งที่มีรูเปิดบริเวณเนื้อเยื่อช่องปาก (oral mucosa) และบริเวณผิวหนังบริเวณนอกช่องปากโดยใช้การตรวจด้วยอัลตราซาวด์ ผลการศึกษา

พบว่าภาพอัลตราซาวด์สามารถแสดงให้เห็นถึงสภาวะ apical periodontitis และเส้นทางจากต้นกำเนิดหนองไปยังรูเปิดหนองได้ (ภาพที่ 3) นอกจากนี้การใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ชนิดสีเข้ามาช่วยยังทำให้เห็นถึงรูปแบบการไหลเวียนเลือด (vascular pattern) ในบริเวณเนื้อเยื่อข้างเคียงรูเปิดหนอง ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงการตอบสนองต่อการอักเสบที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย



ภาพที่ 3 แสดงการตรวจหาพื้นต้นเหตุของรูเปิดทางหนองไหล (sinus tracing) โดยใช้อัลตราซาวด์ (A) ภาพจากอัลตราซาวด์ แสดง sinus tract (ST) ต่อเนื่องมาจากบริเวณ apical periodontitis (AP) ที่มีการทะลุ cortical bone plate (หัวลูกศร) (B) ภาพรังสีรอบปลายรากฟันซี่ 12 ด้วยเทคนิค gutta-percha tracing (C) ภาพถ่ายฟันซี่ 12 ด้านริมฝีปากที่ได้รับการทำ gutta-percha tracing (ดัดแปลงจาก Cotti E. และคณะ(11))

1.4 การวินิจฉัยและจัดการกับฟันที่ได้รับบาดเจ็บ

การวินิจฉัย root fracture ในทางคลินิกนั้นทำได้ยาก และมีโอกาสพบเพียงร้อยละ 2.5-8.7 ซึ่งน้อยกว่าการหักของตัวฟัน(47) การตรวจวินิจฉัยทางภาพรังสีตามหลักการของสมาคมวิทยาการบาดเจ็บของฟันนานาชาติ (International Association of Dental Traumatology: IADT) กล่าวว่า เมื่อมีการแตกหักของรากฟันต้องอาศัยภาพรังสีในหลายมุม ได้แก่ มุม 90 องศาในแนวระนาบ มุมด้านสบฟัน มุมเอียงด้านใกล้กลาง และมุมเอียงด้านไกลกลาง(48) ซึ่งสามารถตรวจพบรอยแตกหักได้เมื่อลำแสงรังสีผ่านโดยตรงกับรอยแตกหักเท่านั้น นอกจากนี้ภาพรังสีแบบดั้งเดิมที่เป็นภาพสองมิติจะมีการซ้อนทับของโครงสร้างต่าง ๆ ทำให้การวินิจฉัยรอยหักของรากฟันด้วยการถ่ายภาพรังสี CBCT มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการถ่ายภาพรังสีแบบดั้งเดิม โดย Bornstein และคณะ(49) พบว่าภาพรังสี CBCT มีประโยชน์และสำคัญมากในการวินิจฉัยและการจัดการกระดูกหักฟันและฟันที่ประสบอุบัติเหตุ โดยเฉพาะกรณีการเกิด root fracture สามารถแสดงถึงลักษณะการเกิด luxation injuries แต่ละรูปแบบ และแสดงการเกิด alveolar fracture ได้ดี โดยภาพถ่ายรังสี CBCT สามารถระบุตำแหน่ง และมุมของการเกิด root fracture ได้ดี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Kamburoglu และคณะ(50) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องมือวัดในการตรวจรากฟันแตกในแนวขวาง (horizontal root fracture) ที่พบว่าภาพรังสี CBCT จะมีความไวสูงกว่าภาพรังสีธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นการชี้ให้เห็นว่า CBCT เป็นตัวช่วยที่ดีที่สุดสำหรับการวินิจฉัย root fracture ในปัจจุบันมีการแนะนำให้ใช้ CBCT

ในกรณีที่ไม่สามารถสรุปการวินิจฉัยได้จากภาพถ่ายรังสีสองมิติ กรณีที่มีการเกิดการบาดเจ็บของฟันแบบซับซ้อน (complex traumatic dental injuries)(51) และในกรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถถ่ายภาพรังสีในช่องปากได้ เช่น ผู้ป่วยที่อ้าปากได้จำกัด มีอาการการบาดเจ็บซึ่งเป็นผลจากการประสบอุบัติเหตุ(52)

1.5 การทดสอบความมีชีวิตของฟัน (pulp sensibility test)

การทดสอบความมีชีวิตของฟันในทางคลินิกนั้นมักจะใช้การทดสอบอาการเสียวฟันที่ตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายและสามารถทำได้ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของเทคนิคนี้คืออยู่ระยะห่างระหว่างหัวขั้วเชื่อม (electrode) กับเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟันห่างกันน้อยเท่าไร ความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าก็จะยิ่งน้อยตามไปด้วย ทำให้ไวต่อการเสียวฟัน อีกทั้งความชื้นในเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟันอาจแสดงผลบวกлож (false positive) ได้ ผลที่ได้จากการตรวจจะอนุมานได้ว่าในโพรงประสาทฟันนั้นยังมีการไหลเวียนของหลอดเลือด ซึ่งฟันที่ไม่ตอบสนองต่อการกระตุ้นจะถูกวินิจฉัยว่าเป็นฟันที่ไม่มีชีวิต ในกรณีที่ผู้ป่วยมีความสับสน หรือผู้ป่วยเด็ก หรือในฟันที่มีลักษณะทางกายวิภาคที่ยากต่อการประเมิน เช่น ในฟันหลายราก ผลที่ได้จากการทดสอบความมีชีวิตของฟันด้วยเทคนิคดังกล่าวอาจผิดพลาดและไม่แม่นยำ

ในปัจจุบัน มีการศึกษาที่น่า MRI มาใช้เพื่อทดสอบความมีชีวิตของฟัน และประเมินกระบวนการเกิดพยาธิสภาพในเนื้อเยื่อในโพรงประสาทฟัน โดยเนื้อเยื่อที่มีความสมบูรณ์จะแสดงสัญญาณปานกลางถึงเข้ม (intermediate to high

signal) ในภาพ T2-WI โดยความเข้มของสัญญาณจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น เนื้อเยื่อในที่มีความสมบูรณ์และมีการสะสมของเนื้อฟันซ่อมเสริม (reparative dentin) จะแสดงรูปร่างและสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา ส่วนเนื้อเยื่อในที่มีการอักเสบจะส่งสัญญาณเข้ม (high signal) เนื่องจากมีส่วนประกอบของน้ำอยู่มาก ขณะที่เนื้อเยื่อตายจะส่งสัญญาณอ่อน (low signal) ฟันที่ได้รับอุบัติเหตุแบบทันที่ทันใดจะมีการกระจายของหลอดเลือดในโพรงประสาทฟันที่ลดน้อยลง ทำให้แสดงสัญญาณอ่อนออกมาในภาพ T2-WI โดย Assaf และคณะ(23) ได้ศึกษาผลของการใช้ภาพ MRI ในการประเมินการฟื้นฟูของหลอดเลือด (revascularization) ในฟันที่ได้รับการบาดเจ็บที่มีฟันหลุดออกจากกระดูกเข้าฟันและเกิดการขยับของฟันอย่างชัดเจน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการรักษาคลองรากฟัน และป้องกันไม่ให้เกิดการรักษาคลองรากฟันโดยไม่จำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการประเมินการฟื้นฟูของหลอดเลือดจากลักษณะทางคลินิกไม่น่าเชื่อถือ ผลการศึกษาสรุปได้ว่าภาพ MRI สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการฟื้นฟูของหลอดเลือดในฟันที่ได้รับบาดเจ็บได้ ซึ่งผลจากการศึกษาดังกล่าวสามารถหลีกเลี่ยงการรักษาคลองรากฟันที่ได้รับการบาดเจ็บในผู้ป่วยเด็กโดยไม่จำเป็นได้ถึง 11 ตัวอย่างจากทั้งหมด 12 ตัวอย่าง ผู้ทำการศึกษาจึงแนะนำให้การใช้ MRI ในการติดตามผลในฟันที่ได้รับอุบัติเหตุ เพื่อหลีกเลี่ยงการรักษาฟันโดยไม่จำเป็น

1.6 การตรวจหาเครื่องมือหักภายในคลองรากฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันมาแล้ว

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของภาพรังสีรอบปลายรากและภาพรังสี CBCT ในการตรวจหาเครื่องมือหักภายในคลองรากฟันที่ได้รับการอุดคลองรากฟันมาแล้ว เพื่อจำลองการประเมินฟันก่อนการรักษาคลองรากฟันซ้ำ พบว่าภาพรังสีชนิดรอบปลายรากสามารถตรวจพบได้ดีกว่าภาพรังสี CBCT(53-56) เนื่องจากวัสดุอุดคลองรากฟันทำให้เกิด artifacts ได้ในภาพรังสี CBCT ทำให้การระบุเครื่องมือที่หักภายในคลองรากฟันนั้นเป็นไปได้ยากสำหรับคลองรากฟันที่ยังไม่ได้รับการอุดนั้น พบว่าภาพรังสี CBCT ระบุการหักของเครื่องมือภายในคลองรากฟันได้แม่นยำกว่า แต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิคการถ่ายภาพรังสี CBCT และการใช้ภาพรังสีรอบปลายรากไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญ(54) ดังนั้นในกรณีที่คาดว่าเครื่องมือหักในคลองรากฟัน ควรใช้ภาพรังสีรอบปลายรากเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยเบื้องต้น

1.7 การวางแผนก่อนการศัลยกรรมปลายรากฟัน

การใช้ภาพรังสีในการระบุตำแหน่งปลายรากฟันเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างรากฟันและโครงสร้างกายวิภาครอบรอบรากฟัน เช่น โพรงอากาศข้างจมูก (maxillary sinus) หรือคลองขากรรไกรล่าง (inferior alveolar canal) ก่อนการวางแผนศัลยกรรมปลายรากฟัน เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่ง Velvart และคณะ(2) ได้ทำการศึกษาในผู้ป่วย 55 รายที่ถูกส่งตัวมาเพื่อรับการผ่าตัดปลายรากฟันเนื่องจากมีการติดเชื้อคงอยู่บริเวณรอบปลายรากฟัน โดยใช้ภาพรังสี CBCT และภาพรังสีรอบปลายรากในการระบุรอยโรค พบว่าภาพรังสี CBCT สามารถบอกปริมาณกระดูกทึบ และกระดูกโปร่ง รวมถึงขนาดของรอยโรคในลักษณะสามมิติได้ในทุกกรณีศึกษา

Rigolone และคณะ(57) ศึกษาการใช้ภาพรังสี CBCT เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการวางแผนการผ่าตัดปลายรากเพดานปาก (palatal root) ในฟันกรามบนซี่ที่หนึ่ง พบว่าจากการประเมินด้วยภาพรังสี CBCT ทำให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอที่จะทำการผ่าตัดปลายรากเพดานปากโดยใช้เทคนิคเปิดแผ่นเหงือกจากช่องปากส่วนนอก (vestibular access) แทนการเปิดจากด้านเพดานปาก (palatal access) ผลการศึกษาพบว่าภาพรังสี CBCT แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของปลายรากฟันหลังบนและพื้นโพรงอากาศข้างจมูก (floor of maxillary sinus) ความหนาของแผ่นเยื่อโพรงอากาศ (sinus membrane) รวมทั้งขอบเขตของรอยโรครอบปลายรากฟันที่ใกล้กับโพรงอากาศข้างจมูก (maxillary sinus) และช่วยในการประเมินภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการผ่าตัดปลายรากฟันที่ใกล้กับโพรงอากาศข้างจมูก เช่น รุทะลุช่องปาก-โพรงอากาศขากรรไกรบน (oroantral communication) ได้

1.8 การระบุการละลายของรากฟัน (root resorption)

การละลายของรากฟันสามารถวินิจฉัยเบื้องต้นได้จากภาพรังสี ซึ่งในภาพรังสีรอบปลายรากจะแสดงการละลายของรากฟันด้านใกล้กลางหรือด้านไกลกลางได้ชัดเจนกว่าด้านแก้มหรือด้านลิ้นซึ่งมีโอกาสเห็นได้น้อยหรือไม่สามารถเห็นได้เลย ในปัจจุบันมีการนำภาพรังสี CBCT มาใช้ในการวินิจฉัยและ

วางแผนการรักษา โดยแผนการรักษาและการจัดการนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของการละลาย ซึ่ง Gartner และคณะ(58) ได้อธิบายแนวทางการใช้ภาพรังสีสองมิติด้วยมุมขนาน (periapical paralleling radiograph) ในการแยกการละลายของรากฟันจากภายนอก (external root resorption) ออกจากการละลายของรากฟันจากภายใน (internal root resorption) ได้ข้อสรุปว่าภาพรังสีรอบปลายรากไม่สามารถแสดงขนาดและตำแหน่งของการละลายของรากฟัน อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อดีของภาพรังสี CBCT ที่สามารถแสดงภาพออกมาได้เป็นสามมิติ ทำให้ทันตแพทย์มองเห็นการละลายของรากฟันที่สัมพันธ์กับลักษณะกายวิภาคของรากฟันได้ และสามารถระบุตำแหน่งและขนาดของการเกิดการละลายได้อีกด้วย ดังที่ Cohenca และคณะ(59) สรุปว่าภาพรังสี CBCT เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากในการวินิจฉัยระดับของการละลายของรากฟันเป็นตัวช่วยในการยืนยันการมีอยู่ของการละลายของรากฟันจากภายใน และวินิจฉัยแยกโรคออกจากการละลายของรากฟันจากภายนอกได้ ซึ่งลักษณะเช่นนี้อาจจะตรวจพบไม่ได้ในภาพรังสีรอบปลายราก ซึ่งนำไปสู่การวางแผนการรักษาและการจัดการรอยโรคได้อย่างเหมาะสม

2. ระหว่างการรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์

ภาพรังสี CBCT สามารถใช้ตรวจหาภาวะแทรกซ้อนระหว่างการรักษารากฟันได้ดี เช่น การปักเดือยฟันที่ผิดตำแหน่ง การหักของเครื่องมือ เป็นต้น จากการศึกษาของ de Alencar และคณะ(60) ได้ประเมินความผิดพลาดในการเตรียมคลองรากฟัน ได้แก่ การหักของเครื่องมือ การเกิดรูทะลุบริเวณรากฟัน และวัสดุอุดคลองรากฟันผิดทิศทางบริเวณปลายราก โดยเปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากและภาพรังสี CBCT พบว่าทั้งสองวิธีสามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ภาพจาก CBCT จะให้แนวทางการวินิจฉัยที่ถูกต้องมากกว่า

ในกรณีฟันที่มีแคลเซียมพอกพูนในโพรงเนื้อเยื่อในฟันคลองรากฟัน (pulp canal calcification, PCC) ทำให้การเปิดทางเข้าสู่คลองรากฟัน (access opening) เป็นสิ่งที่ท้าทาย แม้ว่าในทางจุลกายวิภาคศาสตร์จะแสดงคลองรากฟันที่ตีบแคบและมีเนื้อเยื่อในบางส่วน แต่การหาตำแหน่งคลองรากฟันที่ตีบแคบในทางคลินิกนั้นทำได้ยาก การศึกษาที่ผ่านมามีการแนะนำให้ใช้

กล้องกำลังขยายสูงในการรักษารากฟันที่ตีบแคบ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวก็มีโอกาสที่จะทำให้สูญเสียเนื้อฟันไปมากหรือเกิดรอยทะลุ นำไปสู่การพยากรณ์โรคที่แย่ลงได้ ทั้งนี้ Krastl และคณะ(61) ศึกษาการนำภาพรังสี CBCT และข้อมูลจากภาพกวาดสัญญาณในช่องปาก (intraoral scan) นำเข้าสู่โปรแกรมเพื่อจัดทำเป็นแผ่นแบบชักนำคลองรากฟัน (guided endodontic template) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแนวเปิดเข้าสู่คลองรากฟันหน้าบนที่มีภาวะแคลเซียมพอกพูนในโพรงเนื้อเยื่อในฟันคลองรากฟัน พบว่าได้ผลที่แม่นยำและสามารถหาตำแหน่งของคลองรากฟันบริเวณหนึ่งส่วนสามของปลายรากฟันได้ เทคนิคนี้ช่วยลดเวลาในการรักษา และสามารถคาดเดาผลการรักษาได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษารูปแบบเดียวกันในฟันหน้าล่าง(62) ฟันกรามน้อยบนและฟันกรามบนและล่างซึ่งมีความแม่นยำและให้ผลลัพธ์ที่ดีสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า(63) นอกจากนี้ Leontiev และคณะ(64) ได้ทดลองนำภาพ MRI และข้อมูลจากภาพกวาดสัญญาณในช่องปากนำเข้าสู่โปรแกรมเพื่อจัดทำเป็นแผ่นแบบชักนำคลองรากฟัน โดยทดลองใช้งานกับฟันที่ถูกถอนออกมาพบว่าสามารถใช้ภาพ MRI ในการวางแผนทำแผ่นแบบชักนำคลองรากฟันได้ แต่อย่างไรก็ตามควรมีการทดลองและศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นนี้ให้มากขึ้นในอนาคต

3. ภายหลังการรักษาและการติดตามผลการรักษาทางเอ็นโดดอนติกส์

3.1 การประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันภายหลังการรักษารากฟัน

Rajendran และ Sundaresan(15) ได้ศึกษาภาพอัลตราซาวด์ชนิดสีเพื่อประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันโดยเปรียบเทียบคลื่นอัลตราซาวด์ก่อนและหลังการรักษา พบว่าเทคนิคนี้สามารถตรวจพบการหายของกระดูกภายหลังการรักษารากฟัน ในกรณีที่มีการหายของรอยโรคบางส่วนนั้น ภาพอัลตราซาวด์ชนิดสีสามารถแสดงการไหลเวียนเลือดและความเร็วของการไหลเวียนเลือดได้ และยังสามารถตรวจพบการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันอย่างสมบูรณ์ได้เช่นกัน แต่ในกรณีนี้ไม่สามารถตรวจพบการไหลเวียนของเลือดได้ เนื่องจากคลื่นเสียงถูกปิดกั้นด้วยกระดูกที่มีการซ่อมสร้างอย่างสมบูรณ์ ต่อมามีการศึกษาที่นำเทคนิค Color power

doppler (CPD) เข้ามาช่วยประเมินการตอบสนองของรอยโรคปลายรากฟันในระยะแรกต่อการรักษาลงรากฟันและการผ่าตัดปลายรากฟัน โดยเปรียบเทียบผลการตรวจกับภาพถ่ายรังสีรอบปลายราก พบว่าภาพ CPD นั้นจะให้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงและการตอบสนองของหลอดเลือดบริเวณปลายรากฟันที่ได้รับการรักษาลงรากฟันแล้ว สอดคล้องกับกระบวนการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันและการซ่อมแซมกระดูก จากการศึกษารูปได้ว่าการใช้ภาพ CPD มีประสิทธิภาพในการประเมินแนวโน้มการตอบสนองของรอยโรคปลายรากฟันต่อการรักษาลงรากฟันผ่านการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดรอบปลายรากฟันได้(14) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Maity และคณะ(65) ที่ได้ทำการศึกษาด้วยเทคนิควิธีที่คล้ายคลึงกัน

ในปีค.ศ.1986 Orstavik(66) ได้จัดทำ Periapical Index (PAI) เพื่อประเมินความรุนแรง (severity) ของรอยโรครอบปลายรากฟันจากภาพรังสีรอบปลายราก ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยทางระบาดวิทยาและทางคลินิกในการประเมินรอยโรครอบปลายรากฟันภายหลังการรักษาลงรากฟัน แต่ด้วยข้อจำกัดของภาพรังสีรอบปลายราก รวมถึงการมีเทคโนโลยีการถ่ายภาพสามมิติเข้ามาใช้ในงานทันตกรรมมากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ Estrela และคณะ(67) ได้จัดทำ Cone Beam Computed Tomography Periapical index (CBCTPAI) ขึ้นมา เพื่อประเมินรอยโรครอบปลายรากฟันโดยใช้ข้อมูลที่อ้างอิงจากภาพรังสี CBCT โดย CBCTPAI มีเกณฑ์การประเมินที่แตกต่างจาก PAI ระบบเดิม คือ มีการระบุขนาดของรอยโรครอบปลายรากฟันที่ชัดเจนมากขึ้นกว่าระบบเดิมที่ประเมินขนาดรอยโรคจากภาพรังสีสองมิติ มีการเพิ่มเกณฑ์การประเมินสำหรับกรณีที่รอยโรคปลายรากฟันลุกลามทะลุกระดูกทึบ ซึ่งลักษณะนี้ไม่สามารถเห็นได้จากภาพรังสีสองมิติ การประเมินด้วย CBCTPAI นี้มีข้อดีคือ สามารถทำซ้ำได้โดยใช้ข้อมูลภาพรังสีสามมิติที่ปรับมุมและการตั้งค่าภาพรังสีให้คงเดิม ทำให้การประเมินขนาดของรอยโรคมีความแม่นยำ ลดอคติในการแปลผลภาพรังสีและเพิ่มความน่าเชื่อถือในงานวิจัย ต่อมา Esposito และคณะ(68) ได้นำ CBCTPAI มาใช้ในการประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันภายหลังการรักษาลงรากฟันไปแล้ว 2 ปี โดยเปรียบเทียบกับการใช้ PAI ที่ประเมินจากภาพรังสีสองมิติ พบว่าการใช้ CBCTPAI นั้นแม่นยำกว่า แม้ว่าผลการประเมินคะแนนจาก PAI จากภาพสองมิติพบว่ารอยโรครอบปลาย

รากฟันลดขนาดลงเช่นเดียวกับภาพที่ได้จากภาพรังสี CBCT แต่สิ่งที่พบเพิ่มเติมจากภาพรังสี CBCT คือพบการสึกกร่อนของกระดูกที่ด้านแก้มที่แสดงถึงความล้มเหลวของการรักษาเนื่องจากมีการแตกของรากฟัน ซึ่งยืนยันผลด้วยการเทียบรอยแตกของรากฟันที่ถูกถอนออกมา จากการศึกษาที่สรุปได้ว่าข้อมูลการประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันโดยใช้ PAI ที่ได้จากภาพรังสีสองมิติและ CBCTPAI ที่ได้จากภาพรังสี CBCT นั้นแสดงผลที่แตกต่างกัน และจากตัวอย่างกรณีดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการประเมิน PAI จากภาพรังสีสองมิติอาจให้ผลลบลง (false negative) ได้

3.2 การประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันภายหลังการศัลยกรรมปลายรากฟัน

การประเมินการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันภายหลังการผ่าตัดปลายรากฟันสามารถประเมินได้จากการใช้ภาพอัลตราซาวด์และภาพอัลตราซาวด์ชนิดสี พบว่าทั้งสองเทคนิคนี้แสดงการหายของรอยโรครอบปลายรากฟันได้ดีกว่าแบบการใช้ภาพรังสีรอบปลายรากในการติดตามผลการรักษาในระยะสั้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการซ่อมสร้างของกระดูกจะเห็นการเปลี่ยนแปลงในภาพรังสีจะเกิดขึ้นต่อเมื่อมีการสะสมแร่ธาตุของเนื้อเยื่อหุ้มกระดูกโดยจะใช้ระยะเวลาประมาณ 18-40 สัปดาห์จากข้อจำกัดนี้ทำให้ภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการซ่อมสร้างกระดูกในระยะเริ่มต้น อีกทั้งยังไม่สามารถแสดงการตอบสนองของเนื้อเยื่ออ่อนที่อยู่รอบ ๆ กระดูกได้ ในขณะที่ภาพอัลตราซาวด์สามารถตรวจพบกระบวนการซ่อมสร้างกระดูกในระยะแรกได้ก่อนที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงในภาพรังสีรอบปลายราก ดังการศึกษาของ Tikku และคณะ(16) ที่แสดงให้เห็นว่าภาพอัลตราซาวด์และภาพอัลตราซาวด์ชนิดสีแสดงผลที่แตกต่างจากภาพรังสีรอบปลายรากอย่างมีนัยสำคัญในการติดตามผลการรักษาที่ระยะ 6 เดือน โดยภาพอัลตราซาวด์ชนิดสีนั้นสามารถให้ข้อมูลกระบวนการซ่อมสร้างกระดูกและบอกลักษณะหลอดเลือดบริเวณรอบปลายรากฟันได้

3.3 การทดสอบความมีชีวิตของฟัน

ในการติดตามผลการปลูกถ่ายฟัน (tooth transplantation) อาศัยการตรวจลักษณะอาการทางคลินิก ได้แก่ ตรวจความมีชีวิตของฟัน ระดับการโยกของฟัน และการวัดร่องลึกปริทันต์ เพื่อประเมินความสำเร็จ และประเมินความจำเป็นในการวางแผนการรักษาคลองรากฟันซึ่งยังเป็น

ประเด็นที่ถกเถียงกันว่าฟันที่ได้รับการปลุกถ่ายมานั้นจะมีหลอดเลือดมาเลี้ยงอย่างสมบูรณ์หรือไม่ หรืออาจไม่พบเส้นประสาทในโพรงเนื้อเยื่อในฟัน ทำให้การทดสอบความมีชีวิตของฟันด้วยความเย็นและกระแสไฟฟ้าในฟันที่ได้รับการปลุกถ่ายยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน จากการศึกษาของ Kress และคณะ(24) ได้แนะนำการทดสอบความมีชีวิตของฟันด้วย MRI ร่วมกับการใช้สารเปรียบต่างเนื้อเยื่อ (contrast media) และการศึกษาของ Ploder และคณะ(22) นำภาพ MRI ร่วมกับการใช้สารเปรียบต่างเนื้อเยื่อ เพื่อประเมินการไหลเวียนกลับเข้ามาของหลอดเลือดในฟันที่ได้รับการปลุกถ่ายในกลุ่มที่รากฟันเจริญไม่สมบูรณ์ และกลุ่มที่รากฟันเจริญสมบูรณ์ โดยเปรียบเทียบ MRI ก่อนและหลังการฉีดสารเปรียบต่างเนื้อเยื่อ ซึ่งฟันที่ไม่แสดงสัญญาณของสารเปรียบต่างเนื้อเยื่อเมื่อเปรียบเทียบกับภาพก่อนฉีดสารจะถูกวินิจฉัยสถานะเนื้อเยื่อในโพรงเนื้อเยื่อในตาย (pulp necrosis) นำไปสู่ขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันต่อไป สำหรับฟันที่มีแสดงสัญญาณของสารเปรียบต่างเนื้อเยื่อนั้นพบว่าหลายระดับซึ่งสะท้อนถึงการมีหลอดเลือดเข้ามาเลี้ยงในโพรงเนื้อเยื่อในฟัน (ภาพที่ 4) ในการศึกษาที่สรุปว่านอกจากผลการทดสอบความมีชีวิตของฟันด้วย MRI แล้ว การตรวจอาการทางคลินิกและภาพรังสีรอบปลายรากจะช่วยประกอบการตัดสินใจในการรักษาคอนกรากฟันในฟันที่ได้รับการปลุกถ่ายต่อไป

สรุป

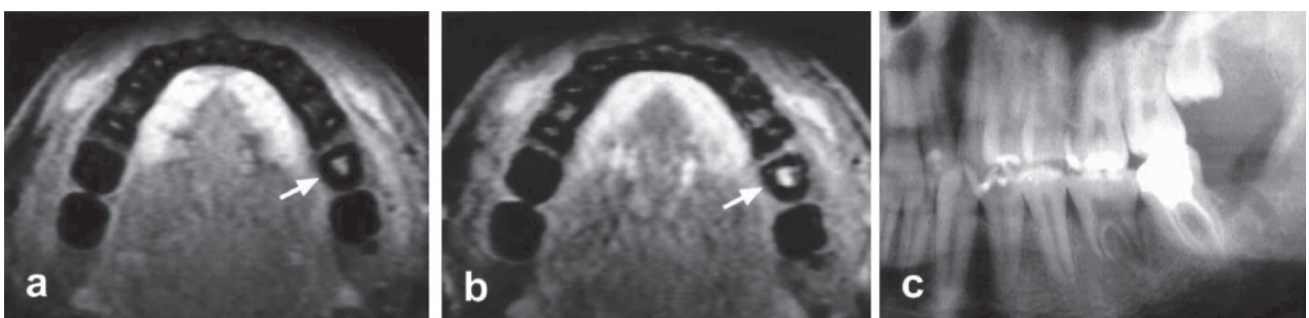
ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีใหม่และเทคนิคการถ่ายภาพทางการแพทย์ขั้นสูงมาใช้ในการวินิจฉัยโรคมากขึ้น อย่างไรก็ตาม จากคำแนะนำของ American Association of Endodontics and European Society of Endodontology ได้แนะนำว่าภาพรังสีรอบปลายรากในงานเอ็นโดดอนต์เป็นภาพที่เหมาะสมในการประเมินเบื้องต้น สำหรับภาพวินิจฉัยขั้นสูงอื่น ๆ จะมีส่วนช่วยให้ข้อมูลเพิ่มเติมในกรณีที่ลักษณะอาการทางคลินิกและภาพรังสีรอบปลายรากไม่สามารถให้ข้อมูลได้เพียงพอ หรือสามารถนำมาใช้เพื่อช่วยในการวินิจฉัยพยาธิสภาพโครงสร้างทางกายวิภาคของคลองรากฟันที่ซับซ้อน รวมถึงการตรวจวินิจฉัยการเกิดรอยร้าวหรือการแตกหักของฟัน ตรวจการละลายของรากฟัน และใช้ประกอบการวางแผนการผ่าตัดศัลยกรรมปลายรากฟัน โดยจะเลือกใช้เทคนิคใดนั้นควรคำนึงถึงความคุ้มค่า ความจำเป็นในการใช้งาน ปริมาณรังสีและความปลอดภัยของผู้ป่วยเป็นสำคัญ

กิตติกรรมประกาศ (acknowledgement)

ไม่มี

แหล่งทุนสนับสนุน (funding source)

ไม่มี



ภาพที่ 4 แสดงภาพ MRI ที่นำมาใช้ในการทดสอบความมีชีวิตของฟัน (a) ภาพ T1-weighted TSE MRI ก่อนฉีด contrast media ที่ตำแหน่งฟันซี่ 36 ซึ่งได้รับการปลุกถ่ายมาเป็นระยะเวลา 17 สัปดาห์ (ลูกศร) (b) ภาพ T1-weighted TSE MRI หลังจากได้รับการฉีด contrast media (ลูกศร) จากภาพ MRI แสดงสัญญาณ contrast media ในระดับ strong enhancement สะท้อนถึงการมีหลอดเลือดเข้ามาเลี้ยงในโพรงเนื้อเยื่อในฟัน (c) ภาพรังสีพาโนรามิกแสดงตำแหน่งฟันซี่ 36 ที่ 12 สัปดาห์หลังทำการปลุกถ่ายฟัน (ดัดแปลงจาก Ploder O. และคณะ(22))

ผลประโยชน์ขัดกัน (conflict of interest)

ไม่มี

เอกสารอ้างอิง

- Walton RE. Diagnostic imaging A. endodontic radiography. In: Ingle JI, Bakland LK, Baumgartner JC, editors. Ingles' Endodontics. 6th ed. Hamilton, Canada: BC Decker; 2008. p. 554.
- Velvart P, Hecker H, Tillinger G. Detection of the apical lesion and the mandibular canal in conventional radiography and computed tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2001;92(6):682-8.
- Vande Voorde HE, Bjorndahl AM. Estimating endodontic "working length" with paralleling radiographs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1969;27(1):106-10.
- Revesz G, Kundel HL, Graber MA. The influence of structured noise on the detection of radiologic abnormalities. Invest Radiol. 1974;9(6):479-86.
- Brynolf I. A histological and roentgenological study of the periapical region of human upper incisors: Almqvist & Wiksell; 1967.
- Bender I, Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. J Endod. 2003;29(11):702-6.
- Schwartz SF, Foster Jr JK. Roentgenographic interpretation of experimentally produced bony lesions. Part I. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1971;32(4):606-12.
- Lee SJ, Messer H. Radiographic appearance of artificially prepared periapical lesions confined to cancellous bone. Int Endod J. 1986;19(2):64-72.
- เกษร วัชรพงศ์. อัลตราซาวด์เพื่อการวินิจฉัย. จุฬาลงกรณ์เวชสาร. 2524;25(6):1157-63.
- เกษร วัชรพงศ์. การถ่ายภาพด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ชนิดสี. จุฬาลงกรณ์เวชสาร. 2534;35(10).
- Cotti E, Musu D, Goddi A, Dettori C, Campisi G, Shemesh H. Ultrasound examination to visualize and trace sinus tracts of endodontic origin. J Endod. 2019;45(10):1184-91.
- Cotti E, Campisi G, Ambu R, Dettori C. Ultrasound real-time imaging in the differential diagnosis of periapical lesions. Int Endod J. 2003;36(8):556-63.
- Gundappa M, Ng S, Whaites E. Comparison of ultrasound, digital and conventional radiography in differentiating periapical lesions. Dentomaxillofac Radiol. 2006;35(5):326-33.
- Cotti E, Esposito SA, Musu D, Campisi G, Shemesh H. Ultrasound examination with color power Doppler to assess the early response of apical periodontitis to the endodontic treatment. Clin Oral Investig. 2018;22(1):131-40.
- Rajendran N, Sundaresan B. Efficacy of ultrasound and color power Doppler as a monitoring tool in the healing of endodontic periapical lesions. J Endod. 2007;33(2):181-6.
- Tikku AP, Kumar S, Loomba K, Chandra A, Verma P, Aggarwal R. Use of ultrasound, color Doppler imaging and radiography to monitor periapical healing after endodontic surgery. J Oral Sci. 2010;52(3):411-6.
- Physic of MRI [Internet]. ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2560 [cited 24 สิงหาคม 2564]. Available from: https://meded.psu.ac.th/binlaApp/radio2/365-211/Physics_of_MRI/index.html.
- Goto TK, Nishida S, Nakamura Y, Tokumori K, Nakamura Y, Kobayashi K, et al. The accuracy of 3-dimensional magnetic resonance 3D vite images of the mandible: an in vitro comparison of magnetic resonance imaging and computed tomography. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology. 2007;103(4):550-9.

19. Idiyatullin D, Corum C, Moeller S, Prasad HS, Garwood M, Nixdorf DR. Dental magnetic resonance imaging: making the invisible visible. *J Endod*. 2011;37(6):745-52.
20. Drăgan OC, Fărcășanu A, Câmpian RS, Turcu RV. Human tooth and root canal morphology reconstruction using magnetic resonance imaging. *Clujul Med*. 2016;89(1):137-42.
21. Tutton L, Goddard P. MRI of the teeth. *The British journal of radiology*. 2002;75(894):552-62.
22. Ploder O, Partik B, Rand T, Fock N, Voracek M, Undt G, et al. Reperfusion of autotransplanted teeth--comparison of clinical measurements by means of dental magnetic resonance imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2001;92(3):335-40.
23. Assaf AT, Zrnc TA, Remus CC, Khokale A, Habermann CR, Schulze D, et al. Early detection of pulp necrosis and dental vitality after traumatic dental injuries in children and adolescents by 3-Tesla magnetic resonance imaging. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2015;43(7):1088-93.
24. Kress B, Buhl Y, Anders L, Stippich C, Palm F, Bähren W, et al. Quantitative analysis of MRI signal intensity as a tool for evaluating tooth pulp vitality. *Dentomaxillofac Radiol*. 2004;33(4):241-4.
25. เกลิงศักดิ์ สมัครสมาน, อุทัยวรรณ อารยตระกูลลิขิต, ภิกพ สุทธิประภาภรณ์, ธิติมา นามศิริ. ภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ชนิดโคนบีมในงานวิทยาเอ็นโดดอนต์. *วทันตขอนแก่น*. 2557;17(1):64-78.
26. Fayad MI, Ashkenaz PJ, Johnson BR. Different representations of vertical root fractures detected by cone-beam volumetric tomography: a case series report. *J Endod*. 2012;38(10):1435-42.
27. Tyndall DA, Rathore S. Cone-beam CT diagnostic applications: caries, periodontal bone assessment, and endodontic applications. *Dent Clin North Am*. 2008;52(4):825-41.
28. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984;58(5):589-99.
29. Baratto Filho F, Zaitter S, Haragushiku GA, de Campos EA, Abuabara A, Correr GM. Analysis of the internal anatomy of maxillary first molars by using different methods. *J Endod*. 2009;35(3):337-42.
30. Degerness RA, Bowles WR. Dimension, anatomy and morphology of the mesiobuccal root canal system in maxillary molars. *J Endod*. 2010;36(6):985-9.
31. Kulild JC, Peters DD. Incidence and configuration of canal systems in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars. *J Endod*. 1990;16(7):311-7.
32. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1969;28(3):419-25.
33. Studebaker B, Hollender L, Mancl L, Johnson JD, Paranjpe A. The Incidence of Second Mesiobuccal Canals Located in Maxillary Molars with the Aid of Cone-beam Computed Tomography. *J Endod*. 2018;44(4):565-70.
34. Blattner TC, George N, Lee CC, Kumar V, Yelton CD. Efficacy of cone-beam computed tomography as a modality to accurately identify the presence of second mesiobuccal canals in maxillary first and second molars: a pilot study. *J Endod*. 2010;36(5):867-70.
35. Bauman M. The effect of cone beam computed tomography voxel resolution on the detection of canals in the mesiobuccal roots of permanent maxillary first molars: MS thesis, University of Louisville School of Dentistry, Louisville, Ky, USA; 2009.
36. Estrela C, Bueno MR, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Method for determination of root curvature

- radius using cone-beam computed tomography images. *Braz Dent J*. 2008;19(2):114-8.
37. Rajput A, Talwar S, Chaudhary S, Khetarpal A. Successful management of pulpo-periodontal lesion in maxillary lateral incisor with palatogingival groove using CBCT scan. *Indian J Dent Res*. 2012;23(3):415.
 38. Hannig C, Dullin C, Hülsmann M, Heidrich G. Three-dimensional, non-destructive visualization of vertical root fractures using flat panel volume detector computer tomography: an ex vivo in vitro case report. *Int Endod J*. 2005;38(12):904-13.
 39. 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.
 40. Simon JH, Enciso R, Malfaz J-M, 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.
 41. Rosenberg PA, Frisbie J, Lee J, Lee K, Frommer H, Kottal S, et al. Evaluation of pathologists (histopathology) and radiologists (cone beam computed tomography) differentiating radicular cysts from granulomas. *J Endod*. 2010;36(3):423-8.
 42. 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.
 43. Bender IB, Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: II. 1961. *J Endod*. 2003;29(11):707-12.
 44. Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007;103(1):114-9.
 45. Low KM, Dula K, Bürgin W, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited cone-beam tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod*. 2008;34(5):557-62.
 46. Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod*. 2007;33(9):1121-32.
 47. Lauridsen E, Hermann NV, Gerds TA, Kreiborg S, Andreasen JO. Pattern of traumatic dental injuries in the permanent dentition among children, adolescents, and adults. *Dent Traumatol*. 2012; 28(5):358-63.
 48. Flores MT, Andersson L, Andreasen JO, Bakland LK, Malmgren B, Barnett F, et al. Guidelines for the management of traumatic dental injuries. I. Fractures and luxations of permanent teeth. *Dent Traumatol*. 2007;23(2):66-71.
 49. Bornstein MM, Wölner-Hanssen AB, Sendi P, Von Arx T. Comparison of intraoral radiography and limited cone beam computed tomography for the assessment of root-fractured permanent teeth. *Dent Traumatol*. 2009;25(6):571-7.
 50. Kamburoğlu K, Ilker Cebeci A, Gröndahl HG. Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture. *Dent Traumatol*. 2009;25(3):256-61.
 51. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2015;120(4):508-12.
 52. Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review of the literature. *Int Endod J*. 2019;52(8):1138-52.

53. Baratto-Filho F, de Freitas JV, Tomazinho FSF, Gabardo MCL, Mazzi-Chaves JF, Sousa-Neto MD. Cone-Beam Computed Tomography Detection of Separated Endodontic Instruments. *J Endod.* 2020;46(11):1776-81.
54. Brito ACR, Verner FS, Junqueira RB, Yamasaki MC, Queiroz PM, Freitas DQ, et al. Detection of fractured endodontic instruments in root canals: comparison between different digital radiography systems and cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2017;43(4):544-9.
55. Rosen E, Azizi H, Friedlander C, Taschieri S, Tsesis I. Radiographic identification of separated instruments retained in the apical third of root canal-filled teeth. *J Endod.* 2014;40(10):1549-52.
56. Rosen E, Venezia NB, Azizi H, Kamburoglu K, Meirowitz A, Ziv-Baran T, et al. A comparison of cone-beam computed tomography with periapical radiography in the detection of separated instruments retained in the apical third of root canal-filled teeth. *J Endod.* 2016;42(7):1035-9.
57. 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.
58. Gartner AH, Mack T, Somerlott RG, Walsh LC. Differential diagnosis of internal and external root resorption. *J Endod.* 1976;2(11):329-34.
59. Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23(2):95-104.
60. de Alencar AH, Dummer PM, Oliveira HC, Pécora JD, Estrela C. Procedural errors during root canal preparation using rotary NiTi instruments detected by periapical radiography and cone beam computed tomography. *Braz Dent J.* 2010;21(6):543-9.
61. Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Kühl S. Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol.* 2016;32(3):240-6.
62. Connert T, Zehnder MS, Amato M, Weiger R, Kühl S, Krastl G. Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. *Int Endod J.* 2018;51(2):247-55.
63. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided Endodontics Modified for Treating Molars by Using an Intracoronar Guide Technique. *J Endod.* 2019;45(6):818-23.
64. Leontiev W, Bieri O, Madörin P, Dagassan-Berndt D, Kühl S, Krastl G, et al. Suitability of Magnetic Resonance Imaging for Guided Endodontics: Proof of Principle. *J Endod.* 2021;47(6):954-60.
65. Maity I, Kumari A, Shukla AK, Usha H, Naveen D. Monitoring of healing by ultrasound with color power doppler after root canal treatment of maxillary anterior teeth with periapical lesions. *Journal of conservative dentistry: JCD.* 2011; 14(3):252.
66. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol.* 1986;2(1):20-34.
67. Estrela C, Bueno MR, Azevedo BC, Azevedo JR, Pécora JD. A new periapical index based on cone beam computed tomography. *J Endod.* 2008;34(11):1325-31.
68. Esposito S, Cardaropoli M, Cotti E. A suggested technique for the application of the cone beam computed tomography periapical index. *Dentomaxillofacial Radiology.* 2011;40(8): 506-12.