

วิธีการส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน

อุดมศักดิ์ ลิขิตมงคลสกุล* บัญชา สำรวบุญกุล**

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านทันตกรรมจัดฟันได้พัฒนาขึ้น เพื่อช่วยให้การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสามารถทำได้มีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากความไม่สบายของผู้ป่วยจากการที่ต้องมีเครื่องมือจัดฟันอยู่ในช่องปาก รวมถึงทำให้การดูแลรักษาความสะอาดทำได้ไม่สะดวกจนอาจก่อให้เกิดโรคในช่องปากอื่นๆ ตามมาได้ เช่น การเกิดฟันผุ การเกิดโรคเหงือกอักเสบและโรคปริทันต์ เป็นต้น การลดระยะเวลาในการรักษายังช่วยลดผลข้างเคียงจากการเคลื่อนฟัน เช่น ความเจ็บปวด การเกิดการละลายของรากฟัน โดยวัตถุประสงค์ของบทความปริทัศน์นี้ เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงวิธีการต่างๆ ดังกล่าวมากขึ้น อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการรักษาทางทันตกรรมได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาวิธีการให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: ทันตกรรมจัดฟัน, การส่งเสริมการเคลื่อนฟัน, คอर्टิโคโทมี

Methods to accelerate orthodontic tooth movement

Udomsak Likitmongkolsakul* Bancha Samruajbenjakun**

Abstract

New technologies are used in orthodontic treatment to accelerate rate of tooth movement. Rapid tooth movement is beneficial since it can reduce duration of discomfort produced by active orthodontic treatment and other oral diseases such as gingivitis and periodontal diseases in case of unable to maintain a good oral hygiene during orthodontic treatment. Since adverse effects such as pain and root resorption can occur during orthodontic treatment, shorter treatment time can reduce these risks. The purpose of this review article was to present various methods to accelerate the rate of orthodontic tooth movement for clinicians to use in their clinical practice and also to provide the basic knowledge for further studies.

Keywords: Orthodontic ; Accelerated tooth movement ; Corticotomy

* ฝ่ายทันตสาธารณสุข โรงพยาบาลชะอำ ถ.คลองเทียน ต.ชะอำ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์: ภาควิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Chaam hospital, Khlong Thian road, Chaam, Phetchaburi 76120

** DDS. MSc. Ph.D. Thai board in Orthodontics Assistant Professor: Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry Prince of Songkla University

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านทันตกรรมจัดฟันได้พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสามารถทำได้มีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีผู้ที่พยายามคิดค้นเทคนิคหรือวิธีการที่จะส่งเสริมให้การเคลื่อนฟันทำได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อลดผลกระทบจากความไม่สบายของผู้ป่วยที่มีเครื่องมือจัดฟันอยู่ในช่องปาก รวมถึงทำให้การดูแลรักษาความสะอาดทำได้ไม่สะดวกจนอาจก่อให้เกิดโรคในช่องปากอื่นๆ ตามมาได้ เช่น การเกิดฟันผุ การเกิดโรคเหงือกอักเสบ และโรคปริทันต์ เป็นต้น การลดระยะเวลาในการรักษา ยังช่วยลดผลข้างเคียงจากการเคลื่อนฟัน เช่น ความเจ็บปวดจากการเคลื่อนฟัน การเกิดการละลายของรากฟัน จึงได้มีการศึกษาต่างๆ พยายามที่จะศึกษาว่ากระบวนการเคลื่อนฟันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างไร มีขั้นตอนอย่างไรบ้าง ซึ่งการศึกษาในปัจจุบันส่วนหนึ่งได้ดูผลในระดับเซลล์ของอวัยวะปริทันต์ และสารสื่อกลางระหว่างเซลล์ อีกส่วนหนึ่งได้ศึกษาว่ามีวิธีการใดบ้างที่ช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันให้เกิดขึ้นได้รวดเร็วมากขึ้น ซึ่งแต่ละวิธีการอาจส่งผลต่อขั้นตอนของกระบวนการเคลื่อนฟันที่แตกต่างกัน

การส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน

วิธีการที่ช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. การใช้ยา (Drugs)
2. การผ่าตัดดัดลยกรรม (Surgically assisted methods)
3. เครื่องมือเชิงกล (Mechanical stimulation methods)

การส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันด้วยการใช้ยา

เนื่องจากกลไกการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันเกิดขึ้นได้ผ่านกระบวนการทางชีววิทยาของร่างกาย ดังนั้นการใช้ยาหรือสารชนิดต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องในกระบวนการนำจะส่งผลต่อการเคลื่อนของฟันได้ จากที่ผ่านมาได้มีการทดลองใช้ยา หรือสารชนิดต่างๆ มากมายทั้งในสัตว์ทดลองแล้วทำให้อัตราการเคลื่อนฟันเร็วมากขึ้น แต่การใช้ยาช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันพบว่า มีผลข้างเคียงร่วมด้วย เช่น ผู้ป่วยมีความเจ็บปวดจากการใช้ยาเพิ่มมากขึ้น มีการละลายรากฟันเพิ่มมากขึ้น โดยสารที่มีการศึกษาผลของการส่งเสริมการเคลื่อนฟันมีดังนี้

1. การใช้พรอสตาแกลนดิน (Prostaglandins)

พรอสตาแกลนดินเป็นสารสื่อกลางในกระบวนการอักเสบ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อเซลล์ใกล้เคียง เช่น ทำให้เกิดการละลายของกระดูก โดยไปกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มจำนวนของออสติโอคลาสต์ จากการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างแรงทางทันตกรรมจัดฟัน ปริมาณของพรอสตาแกลนดิน และอัตราการ

เคลื่อนของฟัน Yamasaki และคณะ^(1, 2) จึงได้ทดลองใช้พรอสตาแกลนดินในหนูและลิง ซึ่งการศึกษาอื่นพบว่าการฉีดพรอสตาแกลนดินอีทู (PGE₂; Prostaglandin E₂) ในบริเวณฟันของหนูอย่างต่อเนื่องช่วยให้อัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้น⁽³⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของพรอสตาแกลนดินที่ใช้มีผลต่อการเกิดการละลายของรากฟันที่เพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาในมนุษย์ได้ให้ผลในทางเดียวกัน คือฟันที่ได้รับพรอสตาแกลนดินพบว่ามีอัตราการเคลื่อนฟันที่มากกว่าการเคลื่อนฟันปกติประมาณร้อยละ 60⁽⁴⁾

2. การใช้วิตามินดี 3 (Vitamin D3)

วิตามินดี (Vitamin D) มีชื่อทางเคมี 1,25-dihydroxyvitamin D (1,25(OH)₂D หรือแคลซิไทรออล (Calcitriol) ที่มีความสัมพันธ์กับต่อมพาราไทรอยด์ในการสังเคราะห์ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในร่างกาย ส่วนวิตามินดี 3 หรือ โคลเลแคลซิเฟอรอล (Cholecalciferol) พบในเซลล์ของสัตว์และมนุษย์ที่ได้จากการเปลี่ยนของสาร 7 dehydrocholesterol ในผิวหนังหลังการสัมผัสแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นวิตามินในรูปแบบของฮอร์โมน โดยจะทำงานร่วมกับแคลซิโทนิน (Calcitonin) และพาราไทรอยด์ฮอร์โมน

การศึกษาที่ฉีดวิตามินดีเข้าไปเอ็นยึดปริทันต์ของแมวแล้วจึงทำการเคลื่อนฟัน ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับฟันปกติ และยังพบว่าบริเวณที่ได้รับแรงกดมีจำนวนของออสติโอคลาสต์ (Osteoclast) เพิ่มขึ้น⁽⁵⁾ นอกจากนี้มีการศึกษาที่เปรียบเทียบระหว่างการส่งเสริมการเคลื่อนฟันด้วยพรอสตาแกลนดินและวิตามินดีในหนู พบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกลุ่มที่ได้รับวิตามินดีจะมีจำนวนของออสติโอคลาสต์ในบริเวณที่ได้รับแรงกดที่มากกว่า⁽⁶⁾ บางการศึกษา ยังพบว่าวิตามินดียังช่วยเร่งอัตราการสะสมแร่ธาตุและจำนวนของออสติโอคลาสต์ในบริเวณที่ได้รับแรงดึงเช่นกัน⁽⁷⁾ จากที่กล่าวมาวิตามินดีส่งผลต่อทั้งออสติโอคลาสต์ ออสติโอเบลาสต์ ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดความสมดุลในการเปลี่ยนแปลงของกระดูก แต่ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

3. การใช้พาราไทรอยด์ฮอร์โมน (Parathyroid hormone ; PTH)

พาราไทรอยด์ฮอร์โมนหรือพาราไทรอยด์ (Parathormone) มีความสำคัญในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ซึ่งหลังจากต่อมพาราไทรอยด์ ทำหน้าที่เพิ่มระดับความเข้มข้นของแคลเซียมในกระแสเลือด โดยจะกระตุ้นกระบวนการสลายแคลเซียมออกจากกระดูก ยับยั้งกระบวนการสร้างกระดูก เพิ่มการดูดกลับของแคลเซียมที่ไต ช่วยเร่งอัตราการดูดซึมแคลเซียมจากอาหาร

ที่ลำไส้เล็กโดยการทำงานร่วมกับวิตามินดี อีกหน้าที่คือลดระดับของฟอสเฟตที่กระดูก ไต และลำไส้เล็ก โดยกระตุ้นการขับฟอสเฟตออกไปกับปัสสาวะ⁽⁸⁾

มีการศึกษาที่ใช้พาราไทรอยด์ฮอร์โมนช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันโดยการฝังยาพาราไทรอยด์ฮอร์โมนที่บริเวณกระดูกคอของหนู ก่อนทำการเคลื่อนฟัน โดยพบว่าอัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้น 2 - 3 เท่าตัว⁽⁹⁾ แต่เนื่องจากพาราไทรอยด์ฮอร์โมนมีหน้าที่ต่อระบบของร่างกาย การใช้พาราไทรอยด์ฮอร์โมนเพื่อส่งเสริมการเคลื่อนฟันจึงได้รับการแนะนำให้ใช้เฉพาะที่ แต่จากการทดลองฉีดพาราไทรอยด์ฮอร์โมนที่ใช้ตัวกลางเป็นน้ำเกลือพบว่าไม่สามารถส่งเสริมการเคลื่อนฟันได้ จึงได้มีการใช้พาราไทรอยด์ฮอร์โมนในตัวกลางประเภทเจล ผลพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้ประมาณร้อยละ 60⁽¹⁰⁾ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาด้วยการใช้พาราไทรอยด์ฮอร์โมนยังคงทำเฉพาะในสัตว์ทดลอง เนื่องจากการใช้แบบทางระบบจะส่งผลกระทบต่อระบบการควบคุมแคลเซียมในร่างกาย ส่วนการใช้เฉพาะที่จำเป็นต้องควบคุมให้ระดับพาราไทรอยด์ฮอร์โมนเพียงพออย่างต่อเนื่องจึงยังไม่สะดวกในการใช้ในมนุษย์

4. การใช้รีแลกซีน (Relaxin)

รีแลกซีนเป็นฮอร์โมนที่พบมากในระยะใกล้คลอดหน้าที่ของรีแลกซีน ได้แก่ ทำให้เกิดการขยายตัวของเอ็นยึดบริเวณเชิงกราน ลดการบีบตัวของมดลูก เพื่อเตรียมพร้อมในการคลอดบุตร นอกจากนี้ยังพบได้ในบริเวณรอยประสานของกะโหลกและเอ็นยึดปริทันต์ บทบาทส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับเนื้อเยื่ออ่อนมากกว่าบริเวณกระดูก แต่อาจมีความเกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนฟันเพราะในบริเวณที่เอ็นยึดปริทันต์ได้รับแรงดึงจะมีการเพิ่มขึ้นของเส้นใยคอลลาเจน ส่วนบริเวณที่ได้รับแรงกดจะมีการลดลงของเส้นใยคอลลาเจน⁽¹¹⁾ การศึกษาอื่นที่ใช้รีแลกซีนในหนู พบว่าช่วยให้การเคลื่อนฟันในระยะเริ่มแรกเร็วขึ้น⁽¹²⁾ แต่บางการศึกษาพบว่าการใช้รีแลกซีนในหนูไม่ได้ส่งเสริมการเคลื่อนฟัน แต่ส่งผลให้เอ็นยึดปริทันต์มีความแข็งแรงลดลงและทำให้ฟันโยกมากขึ้น⁽¹³⁾ การศึกษาในมนุษย์พบว่าการใช้รีแลกซีนไม่ได้ส่งเสริมการเคลื่อนฟันเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ทำการฉีดด้วยสารควบคุม⁽¹⁴⁾ จึงยังไม่สามารถอธิบายกลไกของรีแลกซีนต่อการส่งเสริมการเคลื่อนฟันได้

การส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันด้วยการผ่าตัด ศัลยกรรม

จากการศึกษาที่ผ่านมาได้พบว่าการเพิ่มขึ้นของสารในกระบวนการอักเสบ เช่น คีโมไคน์ (Chemokines) และไซโตไคน์ (Cytokines) ภายหลังจากมีการให้แรงทางทันตกรรมจัดฟัน โดยคีโมไคน์มีบทบาทสำคัญในการสร้างเซลล์ต้นกำเนิด

ออสทีโอคลาสต์ (Osteoclast precursor cell) ส่วนไซโตไคน์จะทำงานผ่านกระบวนการของพอร์อสตาแกลนดินอีทู และ แรงค์/แรงค์ไลแกนด (RANK/RANKL) ทำให้เซลล์ต้นกำเนิดออสทีโอคลาสต์เกิดการเปลี่ยนเป็นเซลล์ออสทีโอคลาสต์ (Osteoclast) ที่สมบูรณ์ ในทางเดียวกันภายหลังการผ่าตัดพบการเพิ่มขึ้นของสารเหล่านี้ ซึ่งน่าจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนฟันได้เร็วมากขึ้น⁽¹⁵⁾

ในปี ค.ศ. 1983 Frost⁽¹⁶⁾ ได้ค้นพบสภาวะอาร์เอพี (RAP ; regional acceleratory phenomenon) ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายมีการตอบสนองเฉพาะบริเวณต่อการกระตุ้นภัยอันตราย (Noxious stimuli) โดยเนื้อเยื่อบริเวณนั้นจะมีการซ่อมสร้างที่รวดเร็วกว่าสภาวะปกติ 2 - 10 เท่าตัว และในปี ค.ศ. 2001 Wilcko และคณะ⁽¹⁷⁾ ได้พบว่าภายหลังการทำคอร์ติโคโตมี (Corticotomy) จะเกิดกระบวนการทำลายและซ่อมสร้างกระดูกเพิ่มขึ้นระยะเวลาหนึ่ง ทำให้เกิดการเคลื่อนฟันได้ง่ายขึ้น โดยได้เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าสภาวะพีเอโอโอ (PAOO ; Peridontally Accerelated Osteogenic Orthodontic) ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะอาร์เอพี

ภายหลังการผ่าตัดบาดแผลที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการอักเสบ และเหนี่ยวนำให้เซลล์ออสทีโอคลาสต์ออกมาในบริเวณนั้น จากนั้นจึงเกิดการละลายตัวของกระดูกสอดคล้องกับการศึกษาของ Sebaoun และคณะ⁽¹⁸⁾ ที่พบว่ากระดูกเข้าฟันบริเวณที่ได้รับการผ่าตัดจะเหนี่ยวนำให้เกิดการซ่อมสร้างของกระดูกไปอย่างรวดเร็วมากขึ้น การผ่าตัดทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุในกระดูกเข้าฟันในระยะเวลาหนึ่งจนเกิดสภาวะกระดูกบาง (Osteopenia) ซึ่งในสภาวะนี้ฟันจะเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นเนื่องจากกระดูกที่รองรับฟันมีความหนาแน่นลดลง หากการเคลื่อนฟันดำเนินไปอย่างต่อเนื่องสภาวะนี้จะยาวนานมากขึ้น ภายหลังสิ้นสุดการเคลื่อนฟันจะเกิดการคืนกลับของแร่ธาตุในกระดูกเข้าฟันจนกลับเข้าสู่สภาวะปกติ สภาวะกระดูกบางจะหายไป และลักษณะทางภาพรังสีจะกลับมาเหมือนปกติเช่นกัน ซึ่งกระบวนการนี้เริ่มตั้งแต่ 2 - 3 วันภายหลังการผ่าตัด โดยให้ผลสูงสุดในช่วง 1 - 2 เดือนแรกจนถึง 4 เดือนภายหลังการผ่าตัด จากนั้นผลจะค่อยๆ ลดลงซึ่งอาจกินเวลา 6 - 24 เดือนภายหลังการผ่าตัด⁽¹⁹⁾

จึงมีผู้คิดค้นเทคนิคการรักษาต่างๆ ที่ช่วยให้สามารถเคลื่อนฟันได้เร็วมากขึ้น โดยใช้หลักการตามที่กล่าวมาหลายวิธี ดังนี้

1. คอร์ติโคโตมี (Corticotomy)

เป็นการผ่าตัดส่วนกระดูกที่บอกรให้เหลือส่วนกระดูกไปร่ด้านใน⁽¹⁷⁾ การผ่าตัดจะเริ่มจากการผ่าตัดเหงือกแบบเนื้อเยื่อ

แผ่นพับแบบสมบูรณ์ (Full thickness mucoperiosteal flaps) จากนั้นจึงทำการผ่าตัดกระดูกที่บอบด้วยเครื่องมือผ่าตัดทั้งแบบด้ามกรอมอเตอร์ไฟฟ้า (Micromotor) หรือแบบเพียโซ (Piezo) นอกจากนี้ยังสามารถปลูกกระดูกเพิ่มได้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มปริมาณกระดูก แล้วจึงเย็บปิดแผล ซึ่งวิธีการนี้มีข้อดีคือ สามารถมองเห็นกระดูกบริเวณที่จะทำได้ชัดเจน และสามารถปลูกกระดูกร่วมด้วยได้ แต่มีข้อเสียคือ หลังผ่าตัดผู้ป่วยจะมีอาการปวด บวมค่อนข้างมาก อาจทำให้ผู้ป่วยบางส่วนไม่ยอมรับการรักษา⁽²⁰⁾ การศึกษาของ Suryavanshi และคณะได้ทำการศึกษากการเคลื่อนฟันเขี้ยวบนในผู้ป่วย 10 ราย โดยข้างหนึ่งเป็นการเคลื่อนฟันปกติ ส่วนอีกข้างหนึ่งมีการทำคอร์ติโคโตมีร่วมด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนฟันพบว่าข้างที่มีการทำคอร์ติโคโตมีร่วมด้วยมีอัตราการเคลื่อนฟันมากกว่าร้อยละ 25 โดยเฉลี่ย⁽²¹⁾ และจากการศึกษาของ Jahanbakhshi และคณะได้ทำการศึกษากการเคลื่อนฟันเขี้ยวบนในลักษณะคล้ายกัน พบว่าข้างที่มีการทำคอร์ติโคโตมีร่วมด้วยมีอัตราการเคลื่อนฟันมากถึงร้อยละ 63⁽²²⁾ แต่เครื่องมือจัดฟัน และวิธีการให้แรงของทั้งสองการศึกษาทำในวิธีที่ต่างกันจึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง แต่ผลการศึกษาทำให้ผลว่าการทำคอร์ติโคโตมีสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้

2. คอร์ติซิชั่น (Corticision)

ในปี ค.ศ. 2009 Kim และคณะ⁽²³⁾ จึงได้นำเสนอเทคนิคการรักษาแบบคอร์ติซิชั่น เพื่อลดอันตรายจากการผ่าตัดด้วยการผ่าตัดโดยที่ไม่ต้องผ่าตัดเปิดชั้นเหงือกก่อน การผ่าตัดจะใช้เครื่องมือที่คล้ายส่วกับค้อนเจาะทะลุผ่านชั้นเหงือกและกระดูกที่บ ซึ่งวิธีการนี้ยังคงช่วยให้เกิดสภาวะอาร์เอฟได้แต่ผลข้างเคียงจากการผ่าตัดจะลดน้อยลงและไม่สามารถปลูกกระดูกร่วมด้วยได้ จากการศึกษาของ Vaziri ที่ได้ทำการทดลองเคลื่อนฟันในหนูร่วมกับการทำคอร์ติซิชั่นพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้ร้อยละ 106 เมื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนฟันปกติ⁽²⁴⁾ ส่วนการศึกษาในมนุษย์พบว่าการทำคอร์ติซิชั่นสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้ร้อยละ 60 แต่มีผลเฉพาะในช่วง 4 - 5 สัปดาห์แรกเท่านั้นจึงอาจไม่ได้ส่งผลให้ระยะเวลาในการรักษาทั้งหมดเปลี่ยนแปลงมากนัก และผู้ป่วยไม่รู้สึกมีความเจ็บปวดมากขึ้นเมื่อเทียบกับการจัดฟันโดยปกติ⁽²⁵⁾

3. เพียโซซิชั่น (Piezocision)

ในปี ค.ศ. 2009 Dibart และคณะ⁽²⁶⁾ ได้นำเสนอเทคนิคการรักษาที่ไม่ต้องผ่าตัดเปิดชั้นเหงือกก่อนและใช้เครื่องมือผ่าตัดแบบเพียโซ โดยการผ่าตัดจะทำหลังจากติดเครื่องมือจัดฟันไปแล้วประมาณ 1 สัปดาห์ การผ่าตัดจะทำภายใต้ยาชาเฉพาะที่ เริ่มต้นด้วยการกรีดเหงือกในแนวตั้งขนานกับรากฟันและห่างจาก

เหงือกสามเหลี่ยมระหว่างฟัน (Interdental papilla) โดยการกรีดเหงือกจะต้องทะลุผ่านชั้นเยื่อหุ้มกระดูก จากนั้นใช้เพียโซโตม (Piezotome) ตัดให้ลึกประมาณ 3 มิลลิเมตร ตามแนวที่กรีดเหงือกเอาไว้ และสามารถปลูกกระดูกร่วมด้วยได้ โดยการยกแผ่นเหงือกระหว่างร่องที่กรีดเหงือกบริเวณที่ต้องการข้อดีของวิธีการนี้คือผลข้างเคียงจากการผ่าตัดจะลดน้อยลงและยังสามารถปลูกกระดูกร่วมด้วยได้ แต่ข้อเสียคือไม่สามารถมองเห็นกระดูกบริเวณที่ทำได้ ซึ่งอาจมีความเสี่ยงที่อาจจะโดนรากฟันใกล้เคียง Jorge และคณะ⁽²⁷⁾ จึงได้ใช้ลวดวางให้ตั้งฉากกับลวดหลักในการจัดฟันก่อนการถ่ายภาพรังสี เพื่อประเมินว่าบริเวณที่จะทำการผ่าตัดใกล้เคียงกับรากฟันหรือไม่ หลังจากนั้นก็วางของลวดได้ตามที่ต้องการแล้วจึงผ่าตัดโดยการกรีดเหงือกตามแนวของลวดที่ได้วางไว้เพื่อลดความเสี่ยงจากการผ่าตัดโดนรากฟัน จากการศึกษาของ Aksakalli และคณะ⁽²⁸⁾ ได้ทำการศึกษากการเคลื่อนฟันเขี้ยวบนร่วมกับการทำเพียโซซิชั่นพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้ร้อยละ 44 เมื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนฟันปกติ นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสูญเสียหลักยึด (Anchorage loss) ที่น้อยกว่าอีกด้วย

4. ไมโครออสทีโอเพอเพอเรชัน (Micro-osteoperforations)

เป็นวิธีการที่ลดอันตรายจากการผ่าตัดกระดูกโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าโพรเพล (Propel) ที่มีลักษณะคล้ายเข็มใช้ในการเจาะกระดูกแทนการกรีดตัดเหมือนวิธีอื่นๆ โดยเครื่องมือเป็นแบบสำเร็จรูปโดยหัวเข็มเป็นแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งเพื่อป้องกันการติดเชื้อ เครื่องมือสามารถปรับความลึกได้หลายระดับตั้งแต่ 0 ถึง 7 มม. สามารถทำภายใต้ยาชาเฉพาะที่ได้ การใช้งานเครื่องมือจะมีเครื่องหมายแสดงบริเวณที่เข็มจะแทงออกมาให้วางเครื่องมือบนเหงือกแล้วกดให้เข็มแทงทะลุเหงือกจนถึงกระดูกได้ตามความลึกที่ตั้งไว้ โดยไม่ต้องมีการผ่าตัดเปิดเหงือกใดๆ จากการศึกษาในมนุษย์ พบว่าการเคลื่อนฟันเขี้ยวด้วยแรงพันตรกรรมจัดฟันร่วมกับการทำไมโครออสทีโอเพอเพอเรชันช่วยให้อัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้นร้อยละ 130⁽²⁹⁾ วิธีการรักษานี้ยังคงมีการศึกษาน้อยจึงควรรอผลการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อประเมินประสิทธิภาพที่แท้จริงทั้งในระยะสั้นและผลในระยะยาวต่อไป

การส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางพันตรกรรมจัดฟันด้วยเครื่องมือเชิงกล

ถึงแม้การผ่าตัดจะมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าได้ผลในการช่วยให้อัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ได้รับการยอมรับจากผู้ป่วยมากนักเนื่องจากผู้ป่วยส่วนใหญ่กลัวการผ่าตัด จึงได้มีผู้คิดค้นวิธีการอื่นๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดอาการเจ็บปวด ดังนี้

1. เลเซอร์ (Laser)

เลเซอร์ที่ใช้ในทางพันตรกรรมจัดฟันเป็นชนิดเลเซอร์

ความเข้มต่ำ (Low intensity laser therapy ; LILT) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 600 - 1000 นาโนเมตร และกำลังอยู่ในช่วง 5 - 500 มิลลิวัตต์ โดยมีการใช้อย่างแพร่หลายในทาง การแพทย์ ส่วนในทางทันตกรรมจัดฟันได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ ในหลายๆ ด้าน เช่น ลดอาการเจ็บปวดหลังจากการปรับเครื่องมือ จัดฟัน⁽³⁰⁾ ในระยะหลังได้เริ่มมีการศึกษาการใช้เลเซอร์มาช่วย ส่งเสริมการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน เนื่องจากการศึกษา ของ Saito และ Shimizu⁽³¹⁾ พบว่าการใช้เลเซอร์ความเข้มต่ำ ช่วยเร่งการสร้างกระดูกในบริเวณรอยประสานกระดูก กลางเพดาน (Midpalatal suture) ในขณะที่มีการขยาย ขากรรไกรบน และยังช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์คอลลาเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบโปรตีนสำคัญในกระดูก ซึ่งในระยะหลัง การศึกษาจะพยายามศึกษาผลของการใช้เลเซอร์ว่ามีผลต่อกลไก ทางชีวเคมีของร่างกายในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน อย่างไร ซึ่งพบว่ามี การเพิ่มปฏิกิริยาของเซลล์สร้างและทำลาย กระดูกหลังจากถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ความเข้มต่ำทั้งการศึกษา ในเซลล์และสัตว์ทดลอง ซึ่งกลไกที่อาจมีความเกี่ยวข้องคือ เลเซอร์ความเข้มต่ำจะไปกระตุ้นไซโตโครม ซี (Cytochrome C) ให้ผลิตเอทีพี (ATP) มากขึ้น

จากการศึกษาของ Cruz และคณะ⁽³²⁾ ที่ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการเคลื่อนฟันเขี้ยวตามปกติกับการเคลื่อนฟัน ร่วมกับการใช้เลเซอร์ เลเซอร์ที่ใช้เป็นเลเซอร์ไดโอดที่ทำจาก สารกึ่งตัวนำจากสารประกอบแกเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide (GaAlAs) semiconductor diode laser) ที่ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตรกำลัง 20 มิลลิวัตต์ และพลังงาน 5 จูลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยฉายครั้งละ 10 วินาที ทั้งหมด 10 ครั้งบริเวณรอบฟันเขี้ยว จากการศึกษาเป็น ระยะเวลา 2 เดือนพบว่าการใช้เลเซอร์ช่วยให้ฟันเคลื่อนได้ เร็วขึ้นประมาณ 0.5 มิลลิเมตรต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 34 จาก การศึกษาของ da Silva Sousa และคณะ⁽³³⁾ ซึ่งใช้เลเซอร์ ชนิดเดียวกันพบว่าการใช้เลเซอร์ช่วยให้ฟันเคลื่อนได้เร็วขึ้น และ ไม่ทำให้การละลายของสันกระดูกเบ้าฟันและรากฟันเพิ่มขึ้นจาก การจัดฟันตามปกติ

2. การสั่น (Vibration)

วิธีการนี้มีสมมุติฐานว่า การให้แรงสั่นที่มีความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของเนื้อเยื่อ ได้แก่ ฟันและอวัยวะปริทันต์จะ กระตุ้นให้กระบวนการของเซลล์เพิ่มมากขึ้น ในปี ค.ศ. 2008 Nishimura และคณะ⁽³⁴⁾ ได้ใส่เครื่องมือจัดฟันในหนูร่วมกับการ สั่นที่ 60 เฮิรตซ์ (Hz) 1 เมตร/วินาที² (m/s²) แล้วพบว่าฟันมี อัตราการเคลื่อนฟันเพิ่มขึ้น โดยพบว่ามีแรงเค้นแกนดเพิ่มขึ้น ในเซลล์ไฟโบรบลาสต์ (Fibroblasts) และเซลล์ออสติโอคลาสต์

บริเวณเอ็นยึดปริทันต์ของฟันที่ได้รับการสั่น โดยอาจเกิดจาก การที่เลือดไหลเวียนได้ดีขึ้น เซลล์เม็ดเลือดจะเข้ามา จากนั้น เซลล์นี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ออสติโอคลาสต์ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการกระตุ้นจากการสั่นยังคงต้องได้รับ การพิสูจน์ให้ชัดเจนต่อไป แต่จากการศึกษาของ Pavlin และ คณะ⁽³⁵⁾ ได้เปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนฟันเขี้ยวบนในผู้ป่วยโดย มีการใช้เครื่องมือให้แรงสั่นร่วมด้วยพบว่าเมื่ออัตราการเคลื่อนฟัน ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 46 เมื่อเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนฟันปกติ

การสั่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic vibration) เป็นรูปแบบการสั่นชนิดหนึ่งแต่มีความถี่ที่สูง ซึ่งได้มีรายงาน ในการใช้ช่วยรักษากระดูกที่หัก ใช้กระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใน เนื้อเยื่ออ่อน⁽³⁶⁾ แต่มีผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้น เช่น เกิดความร้อน ดังนั้นการนำมาใช้ในฟันอาจส่งผลต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟัน ได้⁽³⁷⁾ การใช้การสั่นที่มีความถี่ธรรมชาติซึ่งมีความถี่น้อยกว่า แต่ยังสามารถกระตุ้นการเคลื่อนฟันได้ และลดผลข้างเคียงที่ จะเกิดขึ้น⁽³⁴⁾ นอกจากนี้บางการศึกษาพบว่า การสั่นนี้ช่วยให้ ผู้ป่วยมีความรู้สึกเจ็บปวดจากการจัดฟันลดลงด้วย แต่การใช้ งานต้องมีการใช้เครื่องมือสั่นก่อนที่จะเริ่มมีความเจ็บปวด โดยทาง ผู้ศึกษาพบว่าถ้าหากผู้ป่วยมีความรู้สึกเจ็บปวดขึ้นแล้วผู้ป่วย อาจไม่สามารถทนต่อความเจ็บปวดที่เพิ่มขึ้นขณะที่ใช้งาน เครื่องสั่นได้⁽³⁸⁾ และจากที่การสั่นส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของ เซลล์ออสติโอคลาสต์ได้ จึงอาจจะมีผลต่อปริมาณการละลาย ของรากฟันขณะจัดฟัน จึงมีการศึกษาที่ทดลองแบ่งกลุ่มผู้ป่วย ออกเป็นสามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เครื่องมือจัดฟันเพียงอย่าง เดียว กลุ่มที่ใช้เครื่องมือจัดฟันร่วมกับเครื่องมือสั่น โดยให้ผู้ป่วย ใช้เป็นระยะเวลา 20 นาทีต่อวัน ตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์ และกลุ่มที่ใช้เครื่องมือจัดฟันร่วมกับเครื่องมือสั่นแต่ไม่ได้สัมผัสจริง พบว่าปริมาณการละลายของรากฟันไม่ได้มีความแตกต่างกัน⁽³⁹⁾

3. การใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic field)

ได้มีการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการปล่อยคลื่นแบบ เป็นจังหวะ (Pulsed electromagnetic fields) มาใช้ในทางการ แพทย์ในการช่วยรักษากระดูกหัก โดยสมมุติฐานในการใช้ สนามแม่เหล็กเชื่อตามทฤษฎีเพียโซอิเล็กทริกที่ว่า การบิดงอ ของกระดูกจากการจัดฟันทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้น และเป็นตัว ส่งสัญญาณให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ดังนั้นการให้ สนามแม่เหล็กนี้จะไปส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า เช่นเดียวกับการให้แรงต่อกระดูกเช่นกัน⁽⁴⁰⁾ บางการศึกษาได้ พบว่าสนามแม่เหล็กส่งผลกระตุ้นกระบวนการภายในเซลล์ใน ลักษณะเดียวกับการมีแรงมาเคลื่อนฟัน⁽⁴¹⁾ จากการศึกษาของ Showkatbakhsh และคณะ⁽⁴²⁾ ได้ทำการศึกษาโดยการให้ ผู้ป่วยจัดฟันใส่เครื่องมือชนิดถอดได้ร่วมด้วย ซึ่งภายในเครื่องมือ

มีแผงเครื่องมือที่ปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเป็นจังหวะ ผู้ป่วยใส่เครื่องมือถอดได้วันละ 8 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาประมาณ 5 เดือน ผลการศึกษาพบว่า การให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเป็นจังหวะร่วมกับการเคลื่อนฟันช่วยให้ฟันเคลื่อนได้เร็วขึ้น 0.3 มิลลิเมตรต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 42

4. การใช้พลังงานแสง (Photobiomodulation)

ได้มีการใช้พลังงานแสงมาใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากพบว่าเมื่อเซลล์ได้รับพลังงานจากแสงจะส่งผลให้การผลิตเอทีพีในไมโทคอนเดรียเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาต่างๆ ของเซลล์เกิดได้มากขึ้น⁽⁴³⁾ การศึกษาในหนูพบว่า การใช้พลังงานแสงที่มีความยาวของคลื่นแสง 618 นาโนเมตร กำลัง 20 มิลลิวัตต์ ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นระยะเวลา 20 นาทีต่อวัน สามารถช่วยเพิ่มอัตราการเคลื่อนฟันได้ร้อยละ 46 และยังช่วยลดการเกิดการละลายของรากฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽⁴⁴⁾ จากการศึกษาของ Kau และคณะ⁽⁴⁵⁾ ได้มีการใช้พลังงานแสงมาใช้ในงานทันตกรรมจัดฟันโดยเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเป็นเครื่องกำเนิดแสงนอกช่องปากที่ให้ความยาวของคลื่นแสง 850 นาโนเมตร และมีกำลัง 60 มิลลิวัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผู้ป่วยใช้งานเครื่องมือ 60 นาทีต่อสัปดาห์ แบ่งเป็นครั้งละ 20 - 30 นาที ซึ่งเครื่องมือได้ถูกใช้ในการรักษาขั้นตอนของการปรับเรียงตัวของฟันพบว่า การใช้พลังงานแสงร่วมกับการจัดฟันช่วยให้ฟันเรียงตัวได้เร็วมากขึ้น จากการประเมินโดยใช้ดัชนีของ Little (Little's Index of Irregularity) พบว่ามีค่าที่ลดลง 0.63 มิลลิเมตรต่อสัปดาห์เมื่อเทียบกับการจัดฟันปกติ แต่บางการศึกษา ก็ให้ผลที่แตกต่างไป เช่น การศึกษาของ Chung และคณะ⁽⁴⁶⁾ ได้ทำการเคลื่อนฟันเพื่อปิดช่องว่างหลังจากการเรียงฟันแล้ว ข้างหนึ่งจะเคลื่อนฟันโดยมีการใช้เครื่องมือให้กำเนิดแสงนอกช่องปาก ส่วนอีกข้างในผู้ป่วยรายเดียวกันไม่มีการเปิดใช้เครื่องมือให้กำเนิดแสง ผลพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการใช้พลังงานแสงร่วมกับการจัดฟัน เมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดฟันปกติ จึงจำเป็นจะต้องมีการศึกษาถึงผลของการใช้พลังงานแสงและวิธีการใช้งานที่เหมาะสมต่อไป

5. การใช้กระแสไฟฟ้า (Electrical current)

ได้มีการศึกษาที่ทดลองให้กระแสไฟฟ้าในแนวระนาบที่ให้แรงเคลื่อนฟัน โดยกระแสไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์ 7 โวลต์ โดยวางตำแหน่งขั้วลบบริเวณที่รับแรงกดและขั้วบวกบริเวณที่รับแรงดึง พบว่าด้านขั้วลบมีการละลายของกระดูกที่สูงขึ้น⁽⁴⁷⁾ แต่เครื่องมือที่ใช้มีขนาดใหญ่จึงยังไม่สะดวกในการใช้ในทางคลินิก จึงมีการทดลองใช้เซลล์พลังงานไฟฟ้าจากสารชีวภาพ เช่น กลูโคส เพื่อให้มีแหล่งพลังงานและเครื่องมือทั้งหมด

อยู่ในช่องปากได้ แต่เซลล์พลังงานไฟฟ้าจากสารชีวภาพยังไม่สามารถจ่ายไฟได้สม่ำเสมอยาวนานเพียงพอกับการใช้งาน⁽⁴⁸⁾ รวมถึงยังไม่มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้กระแสไฟฟ้ามาช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันเพิ่มเติม

จากการศึกษาต่างๆ พบว่าการส่งเสริมการเคลื่อนฟันสามารถทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งมีทั้งการศึกษาในมนุษย์และสัตว์ทดลอง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธียังไม่มี การศึกษาที่ครอบคลุม อีกทั้งแต่ละการศึกษาที่ใช้วิธีการเดียวกัน แต่เกณฑ์วิธีในการใช้งานแตกต่างกัน รวมถึงยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการเคลื่อนฟัน เช่น ปริมาณแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟัน ชนิดและระยะเวลาที่ให้แรง ชนิดเครื่องมือที่ใช้ เป็นต้น จึงยังไม่สามารถระบุได้ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ส่วนใหญ่จะสามารถช่วยให้ฟันเคลื่อนได้เร็วขึ้นในช่วงร้อยละ 40 ถึง 60 จึงมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

การเลือกวิธีการส่งเสริมการเคลื่อนฟันนอกจากพิจารณา ด้านประสิทธิภาพแล้ว การพิจารณาข้อดีข้อเสียรวมถึงข้อจำกัด ในการใช้งานให้เหมาะสมกับผู้ป่วยก็เป็นสิ่งสำคัญ โดยการใช้ยา มีการศึกษาในสัตว์ทดลองว่าสามารถช่วยส่งเสริมการเคลื่อนฟันได้ แต่ยังมีการศึกษาในมนุษย์ไม่มาก เพราะการใช้ยามีผลข้างเคียงหลายอย่าง รวมถึงปริมาณยาที่เหมาะสมที่สามารถส่งเสริมการเคลื่อนฟันแต่ไม่ส่งผลข้างเคียงยังไม่มีการศึกษาที่รองรับเพียงพอ ส่วนการผ่าตัดช่วยมีการใช้ในผู้ป่วยอย่างแพร่หลาย และเหมาะสมในผู้ป่วยที่มีความจำเป็นต้องปลูกกระดูก เพราะสามารถทำร่วมกันได้และให้ผลค่อนข้างดี แต่ผู้ป่วยบางส่วนจะปฏิเสธเนื่องจากไม่ต้องการผ่าตัดและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ส่วนการใช้เครื่องมือผู้ป่วยจะยอมรับได้ง่าย แต่ต้องมีการใช้เครื่องมือเป็นประจำ ผลการรักษาจึงขึ้นกับความร่วมมือของผู้ป่วย และเครื่องมือบางชนิดต้องใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ผู้ป่วยต้องมารับการรักษาถี่ขึ้นจึงอาจจะไม่สะดวกในการใช้งาน

การศึกษาในระยะหลังยังมีการใช้วิธีการส่งเสริมการเคลื่อนฟันหลายๆ วิธีร่วมกันในคราวเดียว แต่อย่างไรก็ตาม ผลข้างเคียงจากการใช้งานยังคงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณา ร่วมด้วย เพราะการส่งเสริมการเคลื่อนฟันที่มากเกินไปอาจส่งผลให้มีการทำลายทั้งกระดูกและรากฟันมากกว่าการซ่อมสร้างของร่างกาย รวมถึงการปรับตัวของเนื้อเยื่ออ่อนและการทำงานของระบบบดเคี้ยว ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อการรักษาได้ และควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

บทสรุป

การใช้ยา การผ่าตัดช่วย และการใช้เครื่องมือ มีแนวโน้มที่จะสามารถส่งเสริมการเคลื่อนฟันได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่การใช้ยามีผลข้างเคียงหลายอย่างจึงไม่เป็นที่นิยม วิธีการที่มีการศึกษาในผู้ป่วยและมีแนวโน้มได้ผลที่ดี ได้แก่ การผ่าตัดช่วย ซึ่งนอกจากจะสามารถส่งเสริมการเคลื่อนฟันได้แล้ว ยังมีข้อดีที่สามารถทำร่วมกับการปลูกกระดูกในรายที่จำเป็นได้ด้วย แต่ผู้ป่วยบางส่วนอาจจะปฏิเสธเนื่องจากไม่ต้องการผ่าตัด ส่วนการใช้เครื่องมือจะมีจุดเด่นที่ผู้ป่วยจะยอมรับได้ง่ายที่สุด เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดความเจ็บปวด แต่การใช้งานจะได้ผลขึ้นกับความร่วมมือของผู้ป่วยจึงควรใช้ในผู้ป่วยที่มีความร่วมมือที่ดี

References

1. Yamasaki K, Miura F, Suda T. Prostaglandin as a mediator of bone resorption induced by experimental tooth movement in rats. *J Dent Res.* 1980;59:10.
2. Yamasaki K, Shibata Y, Fukuhara T. The effect of prostaglandins on experimental tooth movement in monkeys (*Macaca fuscata*). *J Dent Res.* 1982;61:1444-6.
3. Leiker BJ, Nanda RS, Currier GF, Howes RI, Sinha PK. The effects of exogenous prostaglandins on orthodontic tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;108:380-8.
4. Yamasaki K, Shibata Y, Imai S, Tani Y, Shibasaki Y, Fukuhara T. Clinical application of prostaglandin E 1 (PGE 1) upon orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1984;85:508-18.
5. Collins MK, Sinclair PM. The local use of vitamin D to increase the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988;94:278-84.
6. Kale S, Kocadereli IL, Atilla P, Aşan E. Comparison of the effects of 1, 25 dihydroxycholecalciferol and prostaglandin E 2 on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125:607-14.
7. Takano-Yamamoto T, Kawakami M, Kobayashi Y, Yamashiro T, Sakuda M. The effect of local application of 1, 25-dihydroxycholecalciferol on osteoclast numbers in orthodontically treated rats. *J Dent Res.* 1992;71:53-9.
8. Farndale RW, Sandy JR, Atkinson S, Pennington S, Meghji S, Meikle M. Parathyroid hormone and prostaglandin E2 stimulate both inositol phosphates and cyclic AMP accumulation in mouse osteoblast cultures. *Biochem J.* 1988;252:263-8.
9. Soma S, Iwamoto M, Higuchi Y, Kurisu K. Effects of continuous infusion of PTH on experimental tooth movement in rats. *J Bone Miner Res.* 1999;14:546-54.
10. Soma S, Matsumoto S, Higuchi Y, Takano-Yamamoto T, Yamashita K, Kurisu K, et al. Local and chronic application of PTH accelerates tooth movement in rats. *J Dent Res.* 2000;79:1717-24.
11. Bumann A, Carvalho R, Schwarzer C, Yen E. Collagen synthesis from human PDL cells following orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod.* 1997;19:29-37.
12. Liu ZJ, King GJ, Gu GM, Shin JY, Stewart DR. Does human relaxin accelerate orthodontic tooth movement in rats? *Ann N Y Acad Sci.* 2005;1041:388-94.
13. Madan MS, Liu ZJ, Gu GM, King GJ. Effects of human relaxin on orthodontic tooth movement and periodontal ligaments in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131:8.
14. McGorray SP, Dolce C, Kramer S, Stewart D, Wheeler TT. A randomized, placebo-controlled clinical trial on the effects of recombinant human relaxin on tooth movement and short-term stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141:196-203.
15. Garlet TP, Coelho U, Silva JS, Garlet GP. Cytokine expression pattern in compression and tension sides of the periodontal ligament during orthodontic tooth movement in humans. *Eur J Oral Sci.* 2007;115:355-62.
16. Frost H. The regional acceleratory phenomenon: a review. *Henry Ford Hosp Med J.* 1983;31:3.
17. Wilcko WM, Wilcko MT, Bouquot J, Ferguson DJ. Rapid orthodontics with alveolar reshaping: two case reports of decrowding. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001;21:9-20.
18. Sebaoun J-D, Kantarci A, Turner JW, Carvalho RS, Van Dyke TE, Ferguson DJ. Modeling of trabecular bone and lamina dura following selective alveolar decortication in rats. *J Periodontol.* 2008;79:1679-88.
19. AlGhamdi AST. Corticotomy facilitated orthodontics: Review of a technique. *Saudi Dent J.* 2010;22:1-5.
20. Shenava S, Nayak UK, Bhaskar V, Nayak A. Accelerated Orthodontics—A Review. *Inter J Sci.* 2014;1:35-9.
21. Suryavanshi HN, Das VR, Deshmukh A, Rai R, Vora M. Comparison of rate of maxillary canine movement with or without modified corticotomy facilitated orthodontic treatment: A prospective clinical trial. *APOS Trends in Orthod.* 2015;5:138.

22. Jahanbakhshi MR, Motamedi AMK, Feizbakhsh M, Mogharehabed A. The effect of buccal corticotomy on accelerating orthodontic tooth movement of maxillary canine. *Dent Res J*. 2016;13:303.
23. Kim S-J, Park Y-G, Kang S-G. Effects of corticision on paradental remodeling in orthodontic tooth movement. *Angle Orthod*. 2009;79:284-91.
24. Vaziri H. The Effect of Corticision on The Rate of Orthodontic Tooth Movement in Rats [thesis]. Farmington, Conn: University of Connecticut; 2012.
25. Mehr R. Efficiency of piezotome-corticision assisted orthodontics in alleviating mandibular anterior crowding-A randomized controlled clinical trial [thesis]. Farmington, Conn: University of Connecticut; 2013.
26. Dibart S, Sebaoun J, Surmenian J. Piezocision: a minimally invasive, periodontally accelerated orthodontic tooth movement procedure. *Compend Contin Educ Dent*. 2009;30:342.
27. Jofre J, Montenegro J, Arroyo R. Rapid orthodontics with flapless piezoelectric corticotomies: first clinical experiences. *Int j odontostomatol*. 2013;7:79-85.
28. Aksakalli S, Calik B, Kara B, Ezirganli S. Accelerated tooth movement with piezocision and its periodontal-transversal effects in patients with Class II malocclusion. *Angle Orthod*. 2015;86:59-65.
29. Alikhani M, Raptis M, Zoldan B, Sangsuwon C, Lee YB, Alyami B, et al. Effect of micro-osteoperforations on the rate of tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013;144:639-48.
30. Lim H-M, Lew KK, Tay DK. A clinical investigation of the efficacy of low level laser therapy in reducing orthodontic postadjustment pain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;108:614-22.
31. Saito S, Shimizu N, of Dentistry FNUUS. Stimulatory effects of low-power laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture during expansion in the rat. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1997;111:525-32.
32. Cruz DR, Kohara EK, Ribeiro MS, Wetter NU. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: A preliminary study. *Lasers Surg Med*. 2004;35:117-20.
33. Da Silva Sousa MV, Scanavini MA, Sannomiya EK, Velasco LG, Angelieri F. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg*. 2011;29:191-6.
34. Nishimura M, Chiba M, Ohashi T, Sato M, Shimizu Y, Igarashi K, et al. Periodontal tissue activation by vibration: intermittent stimulation by resonance vibration accelerates experimental tooth movement in rats. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;133:572-83.
35. Pavlin D, Anthony R, Raj V, Gakunga PT, editors. Cyclic loading (vibration) accelerates tooth movement in orthodontic patients: a double-blind, randomized controlled trial. *Sem Orthod*; 2014;21:187-94.
36. Young S, Dyson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol*. 1990;16:261-9.
37. Trenter S, Walmsley A. Ultrasonic dental scaler: associated hazards. *J Clin Periodontol*. 2003;30:95-101.
38. Marie S, Powers M, Sheridan J. Vibratory stimulation as a method of reducing pain after orthodontic appliance adjustment. *J Clin Orthod*. 2003;37:205-8.
39. DiBiase AT, Woodhouse NR, Papageorgiou SN, Johnson N, Slipper C, Grant J, et al. Effect of supplemental vibrational force on orthodontically induced inflammatory root resorption: A multicenter randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016;150:918-27.
40. Blechman AM, Steger ER. A possible mechanism of action of repelling, molar distalizing magnets. Part I. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;108:428-31.
41. Darendeliler MA, Darendeliler A, Sinclair PM. Effects of static magnetic and pulsed electromagnetic fields on bone healing. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg*. 1997;12:43-53.
42. Showkatbakhsh R, Jamilian A, Showkatbakhsh M. The effect of pulsed electromagnetic fields on the acceleration of tooth movement. *World J Orthod*. 2010;11:e52-e6.
43. Oron U, Ilıc S, De Taboada L, Streeter J. Ga-As (808 nm) laser irradiation enhances ATP production in human neuronal cells in culture. *Photomed Laser Surg*. 2007;25:180-2.
44. Ekizer A, Uysal T, Güray E, Akkuş D. Effect of LED-mediated-photobiomodulation therapy on orthodontic tooth movement and root resorption in rats. *Lasers Med Sci*. 2015;30:779-85.
45. Kau CH, Kantarci A, Shaughnessy T, Vachiramam A, Santiwong P, de la Fuente A, et al. Photobiomodulation accelerates orthodontic alignment in the early phase of treatment. *Prog Orthod*. 2013;14:1.
46. Chung SE, Tompson B, Gong S-G. The effect of light emitting diode phototherapy on rate of orthodontic tooth movement: a split mouth, controlled clinical trial. *J Orthod*. 2015;42(4):274-83.
47. Davidovitch Z, Finkelson MD, Steigman S, Shanfeld JL, Montgomery PC, Korostoff E. Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement: II. Increase in rate of tooth movement and periodontal cyclic nucleotide levels by combined force and electric current. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1980;77:33-47.
48. Kolahi J, Abrishami M, Davidovitch Z. Microfabricated biocatalytic fuel cells: a new approach to accelerating the orthodontic tooth movement. *Med Hypotheses*. 2009;73:340-1.