

บทที่ ๔

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นในแบบจำลองฟันซึ่งเกิดจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช โดยวิธีโฟโตอีลาสติก ผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

๑ การกดฟันหน้าด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งให้กำเนิดแรง ๔๐ กรัมทำให้เกิดความเค้นรอบปลายรากฟันหน้าทุกซี่ บริเวณด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่กลางด้านขวาและพื้นที่ระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างด้านซ้าย ความเค้นกระจายจากปลายรากฟันขึ้นไปสู่บริเวณคอฟันเป็นระยะทางประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน ส่วนพื้นที่ระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างด้านขวามีความเค้นสูงกว่าทางด้านซ้าย ทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้างความเค้นกระจายจากปลายรากฟันขึ้นไปสู่บริเวณคอฟันเป็นระยะทางประมาณ ๑/๓ ของความยาวรากฟัน

ในบริเวณฟันหลังลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน กล่าวคือ ทางด้านซ้ายความเค้นกระจายระหว่างปลายรากทั้งสองของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง และพื้นที่บริเวณคอฟันระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สองทางด้านขวา มีความเค้นกระจายบริเวณระหว่างปลายรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และระหว่างฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง

๒ การกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ซึ่งให้กำเนิดแรง ๓๔ กรัม ทำให้เกิดการกระจายของความเค้นมากที่สุดบริเวณด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้างขวา ส่วนในบริเวณอื่น ๆ ปรากฏความเค้นระหว่างปลายรากฟันตัดซี่กลางทั้งสอง ระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างซ้าย บริเวณคอฟันประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟันเมื่อวัดจากระดับคอฟันมาทางด้านล่าง

ในบริเวณฟันหลังมีการกระจายของความเค้นรอบรากฟันทั้งสองของฟันกรามซี่ที่หนึ่งด้านซ้ายและขวาค้ำยคลึงกัน แต่การกระจายของความเค้นในบริเวณระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สองทางด้านซ้ายและขวาแตกต่างกัน กล่าวคือ ทางด้านซ้าย

ความเค้นกระจายบริเวณคอฟันและทางด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งแล้วกระจายเข้าหาด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ทางด้านขวาความเค้นซึ่งกระจายอยู่บริเวณด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางมีน้อยกว่า แต่พบการกระจายของความเค้นเพิ่มขึ้นรอบรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง และในพื้นที่ระหว่างคอฟันของฟันกรามน้อยซี่ที่สองซี่

๓ การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากลวดคอฟันหน้าล่างทั้งสองเทคนิคแตกต่างกัน ทั้งในบริเวณฟันหน้าและฟันหลังแม้ในขนาดแรงเท่ากัน กล่าวคือ

บริเวณฟันหน้า เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งให้กำเนิดแรงตามที่แนะนำโดย Hurstone ทำให้เกิดความเค้นรอบรากประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากกรงันและกระจายขึ้นสู่บริเวณคอฟัน เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น จะเกิดความเค้นสองบริเวณ คือ บริเวณรอบปลายรากฟันและบริเวณคอฟัน ความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันหน้าแต่ละซี่คล้ายคลึงกัน

ในขณะที่ ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชซึ่งให้กำเนิดแรงตามที่แนะนำโดย Ricketts ทำให้เกิดความเค้นบริเวณปลายรากฟันและบริเวณคอฟัน การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดขึ้นกับฟันหน้าแต่ละซี่แตกต่างกัน เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น รูปแบบความเค้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

การกระจายของความเค้นบริเวณฟันหลังจากสองเทคนิคแตกต่างกัน กล่าวคือ

เมื่อมีแรงกดฟันหน้าด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชจะทำให้ฟันหลังทุกซี่ยื่นออกเหนือจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับผลกระทบไปด้วย กล่าวคือ ความเค้นที่เกิดจากแรงปฏิบัติการนั้นกระจายไปตามปลายรากฟันหลังทุกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ลักษณะและตำแหน่งของความเค้นกระจายอยู่บริเวณปลายรากของฟันแต่ละซี่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งมีการกระจายของความเค้นบริเวณคอฟันทางด้านใกล้กลางร่วมด้วย

ในขณะที่แรงปฏิบัติการที่เกิดจากริคเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช มีผลกระทบต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งแตกต่างกัน ฟันกรามซี่ที่หนึ่งมีการกระจายของความเค้นอยู่บริเวณรากใกล้กลางและบริเวณคอฟันด้านใกล้กลางมากกว่าบริเวณอื่น

อภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากยังไม่ปรากฏรายงานวิจัยใดที่นำวิธีโฟโตอีลาสติกมาใช้ศึกษาผลของแรงกดที่กระทำต่อฟันหลายซี่ในขากรรไกร งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการกดฟัน ได้แก่ การศึกษาของ Hayashi และคณะ (1983) เป็นการศึกษาเฉพาะแรงกดที่กระทำต่อฟันเพียงซี่เดียว ได้แก่ ฟันเขี้ยวหรือฟันกราม ซึ่งฝังตัวในสารไบรฟรินเจนท์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อให้แรงกดกระทำต่อฟันเขี้ยวในทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเข้าฟัน แต่ไม่ผ่านแนวแกนของฟัน จะเกิดความเค้นอัดบริเวณยอดกระดูกเข้าฟันด้านใกล้กลางและพบมากที่สุดบริเวณประมาณ ๑/๓ ของปลายรากฟัน โดยเฉพาะทางด้านใกล้กลาง แต่เมื่อให้แรงกดกระทำต่อฟันเขี้ยวตามแนวแกนของฟัน พบความเค้นอัดบริเวณปลายรากฟันสูง และมีการกระจายของความเค้นสมมาตรกันทั้งสองข้างของปลายรากฟัน การเปรียบเทียบผลการวิจัยครั้งนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีข้อจำกัด อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อฟันหน้าซี่ด้วยขนาดแรงเริ่มต้น ๔๐ กรัม ลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณรอบปลายรากของฟันซี่ที่อยู่ชิดกับจุดออกแรงมากที่สุด คือ ฟันตัดซี่กลางมีรูปแบบการกระจายของความเค้นสอดคล้องกับการทดลองของ Hayashi และคณะ (1983) แต่การศึกษาของ Hayashi และคณะ (1983) มิได้ทำการทดลองเพิ่มขนาดแรงเพื่อศึกษาทิศทางการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นต่อไป ดังเช่นในการวิจัยนี้ซึ่งพบว่า เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น การกระจายของความเค้นไม่เพียงแต่กระจายออกรอบปลายรากฟันเท่านั้น แต่กระจายออกด้านข้างทำให้ความเค้นกระจายมารวมกันบริเวณระหว่างรากฟันหน้าแต่ละซี่ กล่าวคือ มีการถ่ายทอดแรงไปตามฟันที่รอบรากฟันแต่ละซี่และไปรวมกันบริเวณ อินเตอร์เซปตัม (interseptum) ต่างจากการทดลองกดฟันซี่เดียว ซึ่งความเค้นสามารถถ่ายทอดต่อไปในเนื้อสารได้โดยปราศจากความเค้นจากฟันซี่อื่นมาเกี่ยวข้อง ซึ่งในสภาพความจริงในคลินิกลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นควรเป็นในลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นกับฟันหลายซี่ จากผลการวิจัยอนุมานได้ว่า การกระจายของความเค้นมีความสัมพันธ์กับทิศทางของแรงและลักษณะรูปร่างของรากฟัน ในขณะที่ปริมาณของความเค้นขึ้นกับขนาดของแรงและพื้นที่ผิวรากฟัน ความยาวของรากฟัน ตลอดจนกระดูกรองรับรากฟันซึ่งมีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดแรงกดฟัน

สำหรับการศึกษารูปแบบการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์ของแรงใน
 แนวระนาบอาจเปรียบเทียบได้กับการศึกษาของ Hayashi และคณะ (1983) ซึ่งทดลองดึงฟัน
 ที่เดียวไปทางด้านใกล้กลาง พบว่า เกิดลักษณะของความเค้นอัดบริเวณยอดกระดูกเข้าฟันด้าน
 ใกล้กลางและบริเวณปลายรากใกล้กลางซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบทึบปึงของตัวฟันไปทาง
 ด้านใกล้กลาง ทำนองเดียวกันในการทดลองให้แรงในแนวระนาบไปทางด้านใกล้ของฟันหน้า
 ทั้งสี่ซี่ หรือฟันกรามซี่ที่หนึ่งเพียงซี่เดียว หรือ ฟันหลังทั้งสามซี่ เมื่อขนาดแรงเริ่มต้น ๕๐ กรัม
 ลักษณะการกระจายของความเค้นเกิดที่บริเวณปลายรากฟันและระหว่างรากฟัน เมื่อขนาดแรง
 เพิ่มขึ้นความเค้นกระจายไปที่บริเวณคอฟันหรือบริเวณยอดกระดูกเข้าฟันมากขึ้น โดยทิศทาง
 การกระจายของความเค้นไปทางด้านปลายรากและไปทางด้านคอฟันในทิศทางข้ามกัน ลักษณะ
 ที่ปรากฏแสดงการเคลื่อนที่แบบทึบปึงของตัวฟันไปตามทิศทางของแรงเช่นกัน เพียงแต่เป็นการ
 วิเคราะห์ด้านมุมมอง (view)

สำหรับการให้แรงดึงขึ้นต่อฟันเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเอ็กซ์ทรูชันนั้นยังไม่ปรากฏ
 รายงานการวิจัยใดที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะดังกล่าว

เมื่อพิจารณาผลการวิจัยในบริเวณฟันหน้าล่าง พบว่า ลวดเบอร์สตีต อินทรูซิฟ อาร์ช
 แสดงการกระจายของความเค้นที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกับลักษณะของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจาก
 การให้แรงกดแนวตั้งกระทำ ณ จุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันหน้า กล่าวคือ มีการกระจายของ
 ความเค้นบริเวณรอบปลายรากฟันประมาณ ๒/๓ ของความยาวราก โดยเฉพาะบริเวณระหว่าง
 ฟันตัดซี่กลางซึ่งอยู่ชิดกับจุดออกแรงมีความเข้มของความเค้นมากกว่าบริเวณฟันตัดซี่ข้าง
 อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าแต่ละซี่มีความแตกต่างกันน้อย
 กล่าวคือ แรงกดฟันหน้าที่กระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดฟันหน้า มีการถ่ายทอดไปยังฟันหน้า
 แต่ละซี่ทั้งนี้ เป็นผลเนื่องจากลักษณะการใช้งานของลวดกดฟันประเภทนี้ ซึ่งมีจุดออกแรงเพียง
 จุดเดียวกระทำต่อฟันหน้าทั้งสี่ซี่ซึ่งรวมเป็นหน่วยเดียวกันทำให้แรงกดฟันกระทำใกล้จุดศูนย์กลาง
 ความต้านทานของฟันมากขึ้น ความเค้นที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะการกระจายคล้ายคลึงกับความเค้น
 มาตรฐาน ซึ่งเกิดจากการให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อฟันหน้า กล่าวคือ ความเค้นนั้นจะกระจาย
 รอบรากฟันบริเวณเดียวกัน

สำหรับกรณีของลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช การกระจายของความเค้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบมากกว่าลักษณะที่เกิดขึ้นจากแรงในแนวตั้ง กล่าวคือ ตำแหน่งของแถบมิดปรากฏทั้งบริเวณคอฟันและปลายรากฟัน การกระจายของแถบมิดมีทิศทางกระจายออกในแนวระนาบบริเวณพื้นที่ระหว่างรากฟัน และปริมาณของความเค้นในแต่ละบริเวณมีการกระจายแตกต่างกันมาก จะเห็นได้จากจำนวนของแถบมิดที่ปรากฏ โดยเฉพาะบริเวณระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้าง ในกรณีเช่นนี้อาจเป็นผลจากการใช้งานของลวดกดฟันประเภทนี้ ต้องยึดลวดกดฟันส่วนหน้าซึ่งเป็นลวดเหลี่ยมเข้าสู่ร่องของแบรคเก็ตของฟันแต่ละซี่ ทำให้ฟันหน้าทั้งสี่ซี่ได้รับผลทั้งจากแรงกดในแนวตั้งตามที่วัดขนาดของแรงไว้ก่อนนำลวดมาผูกในร่องของแบรคเก็ต และโมเมนต์ซึ่งเกิดจากการทอร์คลวดเหลี่ยม และรูปแบบของโมเมนต์ซึ่งแตกต่างกันมากในฟันแต่ละซี่ ควรเป็นผลจากมีระยะของลวดระหว่างแบรคเก็ตแตกต่างกัน กล่าวคือ ฟันตัดซี่ข้างเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดออกแรงมากกว่าฟันตัดซี่กลาง จึงเป็นตำแหน่งที่ได้รับผลของทอร์คจากการบิดตัวของลวดกดฟันมากกว่า ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการวิจัยของ White, Caputo และ Chaconas (1979) ซึ่งทำการวัดขนาดของแรงกดที่เกิดขึ้นจากลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช โดยใช้กระแสไฟฟ้า พบว่า ฟันตัดซี่ข้างได้รับแรงกดเป็นปริมาณมาก ขณะที่ฟันตัดซี่กลางถูกเคลื่อนที่ภายใต้แรงกดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ฟันตัดซี่ข้างจะถูกกดลงก่อน หลังจากนั้นฟันตัดซี่กลางจึงถูกกดตามมาจากผลของลวดบริเวณฟันตัดซี่ข้างที่เคลื่อนที่ไป นอกจากนี้การมีทอร์ครากฟันไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก จะยิ่งส่งเสริมให้ขนาดของแรงกดฟันเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มแนวโน้มที่ทำให้เกิดผลข้างเคียงต่อฟันหลังที่เป็นหลักยึดด้วย โดยอาจทำให้เกิดการสูญเสียของหลักยึดจากผลของแรงที่มีขนาดมากเกินไป ในทางตรงกันข้าม ถ้าลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นการทอร์ครากไปทางด้านใกล้ลิ้นจะส่งผลให้แรงกดฟันลดลงจากทิศทางของแรงซึ่งหักล้างกัน ทำให้ขนาดของแรงกดฟันไม่เหมาะสมอาจไม่เกิดการเคลื่อนที่ของฟันตามที่ต้องการ และถ้าการทอร์ครากไปทางด้านใกล้ลิ้นนั้นมีมากกว่าแรงกดฟันจะทำให้เกิดการงอขาของฟันหน้าแทน ดังนั้นจึงสนับสนุนหลักการที่ว่า การให้แรงกดฟันเป็นจุดสัมผัสทำให้สามารถทราบและคาดคะเนระบบของแรงที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าและยังลดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าว

เมื่อพิจารณาในบริเวณพื้นหลัง การใช้เบอร์สโตน อินทรซึฟ อาร์ช จำเป็นต้องมีการเตรียมหลักยึด โดยรวมพื้นหลังจำนวนหกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งทั้งสองข้างของขากรรไกรเข้าเป็นหน่วยเดียวกัน ด้วยลวดยึดพื้นหลังและลึงกวล อาร์ช ผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีแรงกดพื้นหน้าด้วยเบอร์สโตน อินทรซึฟ อาร์ช การรวมพื้นหลังทุกซี่ให้เข้าเป็นหน่วยเดียวกัน ช่วยกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาไปตามปลายรากฟันหลังทุกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ลักษณะและตำแหน่งของความเค้นที่กระจายอยู่บริเวณปลายรากของฟันแต่ละซี่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งมีการกระจายของความเค้นบริเวณคอฟันทางด้านใกล้กลางร่วมด้วย ลักษณะของที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับความเค้นมาตรฐาน อนุมานได้ว่า เป็นผลร่วมกันจากแรงกดในแนวตั้งและโมเมนต์ในแนวระนาบ กล่าวคือ ความเค้นที่เกิดจากผลของลวดกดฟันที่บริเวณพื้นหลัง มีการถ่ายทอดจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งเป็นจุดกำเนิดแรงไปยังฟันหลังซี่อื่น ๆ ทางลวดยึดพื้นหลัง ซึ่งรวมพื้นหลังทุกซี่รวมไว้เป็นหน่วยเดียวกันทำให้มีการกระจายแรงและโมเมนต์ไปที่ฟันหลังทุกซี่ อนึ่งตามทฤษฎี แรงปฏิกิริยาของลวดกดฟันที่บริเวณฟันกรามด้านซ้ายและขวาควรเท่ากัน แต่ในการวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาจากรูปแบบการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นพบว่า การกระจายของความเค้นด้านซ้ายและด้านขวาไม่เท่ากัน ซึ่งผลที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากตำแหน่งการเรียงตัวของฟันในขากรรไกร และการผูกมัดฟัน ซึ่งไม่สามารถควบคุมให้เท่ากันได้ทั้งสองข้าง ดังนั้นจึงควรระมัดระวังเมื่อนำไปใช้งานในคลินิก

สำหรับการใช้ริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช ซึ่งมุ่งที่จะใช้ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเป็นหลักยึดแต่เพียงอย่างเดียว โดยการัดลวดกดฟันให้มีขั้วคอลล รุก ทอร์ค ลึงกวล โรเตชัน และทึบแบคเบนด ผลการวิจัยพบว่า แรงปฏิกิริยาที่เกิดจากลวดกดฟันหน้ามีผลกระทบต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งแตกต่างกัน โดยแถบมิตปรากฏที่รากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและบริเวณคอฟันด้านใกล้กลางมากกว่าบริเวณอื่น ในขณะที่บริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบสว่างบริเวณปลายรากฟันและแถบมิตปรากฏเฉพาะบริเวณคอฟันเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอบริเวณพื้นหลัง ลักษณะของความเค้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งเท่านั้นที่มีความคล้ายคลึงกับความเค้นมาตรฐานที่ระดับแรง ๒๕๐ กรัม ซึ่งเกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ

ดังนั้นการรวมฟันหลังทุกซี่ไว้ด้วยกันดังเทคนิคของ Burstone เป็นการเพิ่มหลักยึดที่ต้านทานต่อแรงกดฟัน จึงให้ผลดีในแง่การลดขนาดของแรงปฏิกิริยาจากแรงกดฟันหน้าที่กระทำต่อฟันหลังแต่ละซี่จากการเพิ่มพื้นที่ผิวรากฟัน และฟันหลังแต่ละซี่ที่ได้รับแรงนั้นมีการกระจายของความเค้นไปอย่างทั่วถึง ต่างจากเทคนิคของ Ricketts ซึ่งฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งเป็นหลักยึดได้รับแรงมากจะเห็นได้จากการกระจายของความเค้นปริมาณมาก บริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ดังนั้นในการนำเทคนิคนี้ไปใช้งานในคลินิก หากใช้ขนาดแรงกดฟันหน้ามากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียของหลักยึด ทำให้เกิดการงอขยายของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ซึ่งเป็นผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Wood (1983) ซึ่งสรุปว่า การปรับระดับฟันโดยใช้วิธีกดฟันหน้าให้ได้ผลโดยไม่เกิดการงอขยายของฟันหลัง ควรรวมฟันหลังทั้งหมดให้เป็นหน่วยเดียวกัน ด้วยหลักการของเช็กเมนต์เด็ด อาร์ช และแรงกดฟันควรมีขนาดพอเหมาะ อย่างไรก็ตามแม้ได้ยึดฟันหลังซ้อนไว้ในหลักยึด ฟันหลังบริเวณข้างเคียงก็ได้รับผลกระทบจากแรงกดฟันหน้าเช่นเดียวกัน ดังลักษณะความเค้นที่ปรากฏบริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งรวมทั้งฟันกรามซี่ที่สอง อาจสรุปได้ว่า เมื่อให้แรงกระทำต่อฟันซี่ใดในขากรรไกร ฟันซี่อื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียงสามารถได้รับแรงกระทำด้วยโดยการถ่ายทอดแรงผ่านเนื้อเยื่อปริทันต์

จากการทดสอบลวดกดฟันแต่ละชนิด พบว่า องค์ประกอบซึ่งมีผลต่อขนาดของแรงกดฟัน ได้แก่ การคดทาบแบบ เบนด์ เมื่อค้ำมทาบแบบ เบนด์เปลี่ยนแปลงไป พบว่าเซอร์สโตน อินทรูซีน อาร์ช มีความไว (sensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของทาบแบบ เบนด์ มากกว่าริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช กล่าวคือ เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค้ำมทาบแบบ เบนด์ ลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการกระจายของความเค้นไปยังบริเวณคอฟันมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแถบมิตอ้างอิง สรุปได้ว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นควรเป็นผลของโมเมนต์ร่วมด้วย นั่นคือเมื่อแรงมีขนาดมากจะมีการเคลื่อนที่แบบทาบปึงเกิดขึ้นบริเวณฟันหน้า สอดคล้องกับข้อสรุปของ Burstone ที่ว่า การควบคุมขนาดแรงและความคงที่ของแรงและโมเมนต์ ทำให้เกิดลักษณะการกดฟันหน้าอย่างแท้จริง สำหรับบริเวณฟันหลังนั้นเมื่อให้แรงขนาดมากขึ้น ความเค้นกระจายไปยังบริเวณคอฟันมากขึ้นซึ่งเริ่มแสดงลักษณะของการเคลื่อนที่แบบทาบปึง มีการสูญเสียของหลักยึดจากขนาดของโมเมนต์ปริมาณมากตามขนาดของแรง การสูญเสียหลักยึดที่เกิดขึ้นต่างจากที่พบในกรณีของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช กล่าวคือ ไม่เพียงแต่ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง

เท่านั้นที่ได้รับผลดังกล่าว ฟันกรามน้อยทั้งสองซึ่งที่รวมเป็นหลักยึดเดียวกัน ได้รับผลไปด้วยทั้ง เช็กเมนต์ โดยที่การสูญเสียหลักยึดของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชนั้น ฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับผลก่อน เมื่อความเค้นมีปริมาณมากจึงส่งผลต่อไปยังฟันข้างเคียง

ลวดกดฟันทั้งสองประเภทมีข้อดีและข้อด้อยต่างกัน กล่าวคือ สำหรับริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ความมุกที่ปแบค เบนด์ ที่เปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกระจายของความเค้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการตัดที่ปแบค เบนด์ จึงมีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของฟันน้อยกว่าเบอร์สโตน อินทรูซิฟ อาร์ช ในขณะที่ระบบแรงที่เกิดจากเบอร์สโตน อินทรูซิฟ อาร์ช แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อความมุกที่ปแบค เบนด์ เปลี่ยนแปลงไปแต่ยังคงมีข้อดีก็คือ หากควบคุมให้ขนาดของแรงเป็นไปตามที่กำหนดไว้ด้วยวิธีการวัดแรง ณ จุดออกแรง การยึดลวดกดฟันในลักษณะของจุดสัมผัสสามารถหลีกเลี่ยงผลของทอร์กที่ไม่สามารถประเมินได้ในลวด ดังเช่นการยึดลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ดังนั้นขนาดของแรงที่วัดได้จึงเป็นแรงกดที่กระทำต่อฟันหน้าอย่างแท้จริง ลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากแรงกดฟันไปยังฟันแต่ละซี่มีลักษณะสม่ำเสมอ ในขณะที่ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช มีข้อด้อยที่การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากขนาดแรงตามที่แนะนำให้ให้มีรูปแบบไม่แน่นอน การนำไปใช้งานในคลินิก ต้องอาศัยประสบการณ์และความสามารถของทันตแพทย์ในการควบคุมขนาดของแรง โดยเฉพาะฟันเขี้ยวซึ่งอยู่ข้างเคียง ดังนั้นในการกดฟันหน้าล่างซึ่งฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างมีระดับต่างกันมาก เพื่อป้องกันไม่ให้ฟันตัดซี่ข้างได้รับแรงมากเกินไป ควรพิจารณา กดเฉพาะฟันตัดซี่กลางก่อนเพื่อให้มีระดับของระนาบขบเคี้ยวใกล้เคียงกับฟันตัดซี่ข้าง จากนั้นจึงกดฟันหน้าทั้งสี่ซี่พร้อมกัน

เมื่อพิจารณาถึงการนำผลการวิจัยนี้ไปเสริมการปฏิบัติงานในคลินิกทันตกรรมจัดฟัน จะเห็นได้ว่า การกดฟันด้วยลวดเบอร์สโตน อินทรูซิฟ อาร์ช ตามขนาดแรงที่แนะนำโดย Burstone ให้ผลลัพธ์ที่สามารถคาดคะเนได้ กล่าวคือ ฟันทุกซี่จะได้รับแรงกดในขนาดใกล้เคียงกัน และแรงดังกล่าวถ่ายทอดไปยังบริเวณปลายรากซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับกลไกในการกดฟัน เพื่อให้ฟันซี่นั้น ๆ เคลื่อนที่ต่ำลงโดยมีแนวแกนคงเดิม การเตรียมหลักยึดบริเวณฟันหลังโดยการรวมฟันหลังหกซี่ไว้เป็นหน่วยเดียวกัน ให้ผลดีในการกระจายความเค้นจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งไปยังฟันซี่อื่น ๆ การเตรียมหลักยึดโดยการที่ปแบคฟันกรามซี่ที่หนึ่งไปทาง

ด้านหลังและการหมุนและทอร์ครากฟันกรามเข้าไปชนกับผิวกระดูกที่ด้านใกล้แก้มของ
 ขากรรไกรล่าง ด้วยการตัดลวดกดฟันส่วนที่สอดอยู่ในหลอดโลหะใกล้แก้มให้มีลักษณะดังกล่าว
 เช่นที่พบในริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ทำให้ฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับแรงมากกว่าฟันหลังซี่อื่น สำหรับ
 การกดฟันด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชตามขนาดแรงที่ Ricketts แนะนำนั้น นอกจากจะมีผล
 จากแรงกดฟันแล้ว ยังมีผลของโมเมนต์ร่วมด้วย ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่แบบทึปิง โดย
 ที่ฟันตัดซี่ข้างได้รับผลของแรงกดและโมเมนต์มากกว่าฟันตัดซี่กลาง ลักษณะที่แสดงการเคลื่อนที่
 แบบทึปิงนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยทางคลินิกของ Greig (1983) และ Mc Fadden และ
 คณะ (1989) ซึ่งใช้ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชในการกดฟันหน้าของผู้ป่วย พบว่า มีการเอียงของ
 ตัวฟันหน้าไปทางด้านใกล้ริมฝีปากเกิดขึ้นในขณะที่ฟันหน้าถูกกด นอกจากนี้ลักษณะของแรง
 ปฏิกริยาที่กระทำต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งใช้เป็นหลักยึดในการกดฟันด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช
 อันเป็นผลจากการตัดลวดบริเวณฟันกรามให้มีลักษณะของทึปแบค เบนต์ ลิงกวล โรเตชันและ
 บัคคอลล รุก ทอร์คนั้นส่งผลให้เกิดทั้งแรงดึงขึ้นและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบหลายทิศทาง
 กระทำต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งมากกว่าฟันหลังซี่อื่น ๆ ดังจะเห็นได้จากผลการวิจัยนี้ กล่าวคือ
 การที่จะมุ่งให้ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเพียงซี่เดียวในแต่ละข้างของขากรรไกร เป็นหลักยึดในการกด
 ฟันหน้า อาจส่งผลให้เกิดการงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ
 Greig (1983); Mc fadden และคณะ (1989); Otto และคณะ (1989) และ Wood
 (1988) ซึ่งพบว่า การกดฟันด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช นั้น มีการงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง
 ทำให้ความยาวของไบหน้าส่วนล่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการวิจัยดังกล่าวไม่สามารถจำแนก
 ได้ว่า การงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่งนั้นเป็นผลมาจากการเจริญเติบโต หรือเป็นผลของ
 ลวดกดฟัน ในการวิจัยทางไฟโตฮิสตอลจิกนี้ได้กำจัดตัวแปรในเรื่องของผู้ป่วยซึ่งไม่มีผลของ
 การเจริญเติบโตมาเกี่ยวข้องจึงอาจอนุมานได้ว่า ผลจากแรงกดและโมเมนต์ที่กระทำต่อ
 ฟันกรามซี่ที่หนึ่งทำให้เกิดการงอกยาวของฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้ ดังนั้นการนำลวดแต่ละประเภท
 ไปใช้กับการบำบัดรักษาจึงขึ้นกับวัตถุประสงค์ของแผนการรักษา ในกรณีที่ผู้ป่วยฟันสลับยังคงมี
 การเจริญเติบโตของไบหน้า มีความยาวของไบหน้าส่วนล่างสั้น และมีแนวโน้มของการเจริญ
 ในแนวระนาบ การแก้ไขฟันสลับควรเลือกให้การกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ซึ่ง
 นอกจากให้ผลในการกดฟันหน้าแล้วยังมีผลในการทำให้ฟันหลังงอกยาวขึ้น ส่งผลให้ขากรรไกรล่าง

หมุนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งการแก้ไขดังกล่าวเป็นผลดีสำหรับผู้ป่วยประเภทนี้ โดยช่วยให้ลักษณะรูปหน้าภายนอกดีขึ้นและมีการชดเชยจากการเจริญเติบโตบริเวณหัวคอตายส์ หลักการดังกล่าวไม่สามารถนำมาปฏิบัติในผู้ป่วยซึ่งปราศจากการเจริญเติบโต หรือผู้ป่วยซึ่งใบหน้ามีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตในแนวตั้ง เพราะจะทำให้รูปหน้าเลวลงและฟันสบลิ้นขึ้นคืนกลับ ดังนั้นในกรณีเหล่านี้การใช้กลไกการกดฟันหน้าด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช น่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะสามารถทำให้เกิดการกดฟันหน้าอย่างแท้จริง และไม่เกิดการงอกยาวของฟันหลักยึดโดยการควบคุมขนาดของแรงกดฟันให้เหมาะสม และการเตรียมหลักยึดที่ดี

นอกจากนี้ในกรณีของผู้ป่วยที่มีภาวะของการสูญเสียเนื้อเยื่อปริทันต์และกระดูกยึดรากฟันจากการลุกลามของโรคปริทันต์ ซึ่งทำให้เกิดการงอกยาวของฟันหน้า ในกรณีดังกล่าวนี้ การควบคุมขนาดของแรงให้ถูกต้อง เหมาะสมกับปริมาณของอวัยวะปริทันต์ที่เหลืออยู่ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการใช้กลไกการกดฟันด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช น่าจะมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากสามารถกำหนดและคาดคะเนขนาดของแรงที่ใช้ในการกดฟันและระบบของแรงที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

๑ จากผลการศึกษาว่าขนาดของแรงกดฟันเปลี่ยนแปลงตามขนาดของมุมทึบแบค เบนด์ และลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากแรงกดฟันขนาดต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรศึกษาเพิ่มเติมต่อไปถึง ขนาดของแรงกดฟันที่ลดลงของลวดกดฟันแต่ละชนิดเมื่อนำไปใช้งานในคลินิก ในกรณีที่ขนาดของแรงกดฟันมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาของการใช้งาน ความผิดพลาดซึ่งเกิดจากค่ามุมทึบแบค เบนด์ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากขนาดของแรงกดฟันที่มากนั้นจะไม่ลดลงตามเวลาของการใช้ลวดกดฟัน

๒ ในการวิจัยนี้ได้ทดสอบเฉพาะผลของค่ามุมทึบแบค เบนด์ ต่อขนาดของแรงกดฟันเท่านั้น มิได้ศึกษาถึงองค์ประกอบอื่นในการตัดลวดทริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช ได้แก่ ลิงกวล โรเตชัน บัคคอลล รุท ทอร์คบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งและทอร์คในบริเวณอื่น ซึ่งอาจมีผลต่อขนาดของแรงกดฟันที่เกิดขึ้นต่อฟันหน้าและฟันหลักยึด จึงควรศึกษาเพิ่มเติมต่อไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์เกี่ยวกับผล

ของการตัดลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช เนื่องจากลักษณะของลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชตามที่ Ricketts แนะนำนั้น มีขนาดมุมที่ปแบค เบนต์ ลิงกวล โรเตชัน และทอร์คซึ่งกำหนดไว้แตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ล้วนแต่มีผลต่อระบบแรงที่เกิดขึ้นในลวดกดพื้นทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยในลักษณะดังกล่าวด้วยวิธีโฟโตออสลาสติกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัด เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ศึกษาเป็นแบบจำลองสามมิติ จึงมีอาจวิเคราะห์ได้ในมุมมองอื่นซึ่งมีการซ้อนทับของแบบจำลอง ดังนั้นควรใช้วิธีการศึกษาในลักษณะอื่นซึ่งเหมาะสมและสอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบสามมิติ ซึ่งไม่ถูกจำกัดจากระนาบของแบบจำลองที่ไม่อาจวิเคราะห์ได้ในมุมมองอื่น

๓ กรณีที่พื้นตัดซี่กลางและพื้นตัดซี่ข้างต่างระดับกันมาก ดังเช่น ผู้ป่วยที่มีการสับฟันผิดปกติประเภทที่ ๒ ดิวชัน ๒ อาจนำหลักการนี้ไปใช้ศึกษาลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการกดพื้นตัดซี่กลางเพียงสองซี่เปรียบเทียบกับกรกดพื้นทั้งสี่ซี่พร้อมกัน เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นต่อฟันหน้าและฟันหลังที่เป็นหลักยึด

๔ ผลการวิจัยนี้ สรุปได้ว่าการกระจายของความเค้นที่เกิดจากลวดกดพื้นทั้งสองเทคนิคแตกต่างกันทั้งบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้เป็นเพียงการวิจัยพื้นฐานที่อาศัยหลักการของโฟโตออสลาสติกมาใช้ในการวิจัยทางทันตกรรมจัดฟัน แนวทางการศึกษาดังกล่าวอาจกระทำได้โดยนำไปใช้ศึกษาระบบของแรงที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือจัดฟันชนิดอื่น ๆ เช่น เครื่องมือเสริมแรงนอกช่องปาก ได้แก่ เฮดเกียร์หรือเครื่องมือบังคับคาง การใช้ยางดึงฟันระหว่างขากรรไกรบนและล่าง แล้วศึกษาลักษณะการกระจายของความเค้นจากเครื่องมือไปยังส่วนต่าง ๆ ของใบหน้า และกะโหลกศีรษะ

๕ โฟโตออสลาสติก เทคนิค เป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวิจัยทางทันตแพทย์ได้ ทั้งนี้เพราะการบำบัดทางทันตกรรมเกี่ยวข้องกับฟันและกระดูกรองรับฟันซึ่งเปรียบเทียบกับแบบจำลอง โดยมีแรงจัดฟันมากกระทำในลักษณะต่าง ๆ การวิเคราะห์ในลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นบนตัวฟันและถ่ายทอดไปยังอวัยวะรองรับฟันโดยวิธีโฟโตออสลาสติก เป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้ทันตแพทย์เข้าใจถึงผลเบื้องต้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อตัวฟัน และการเปลี่ยนแปลงที่ตามมา อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์โดยโฟโตออสลาสติก เทคนิค นั้น ควรเป็นงานที่ต้องการคำตอบเฉพาะความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น เมื่อมีแรงกระทำใน

ทิศทางที่แตกต่างกันออกไป โดยขนาดของแรงที่สามารถนำมาประยุกต์ในการบำบัดผู้ป่วยมิใช่ องค์ประกอบหลักที่ต้องการศึกษา การแปลผลจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นกับการจำลอง ลักษณะของโครงสร้างที่ต้องการศึกษาให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุด และวัสดุที่นำมาใช้หล่อ แบบจำลองนั้นสามารถตอบสนองต่อแรงได้ดีแม้ได้รับแรงเพียงเล็กน้อย