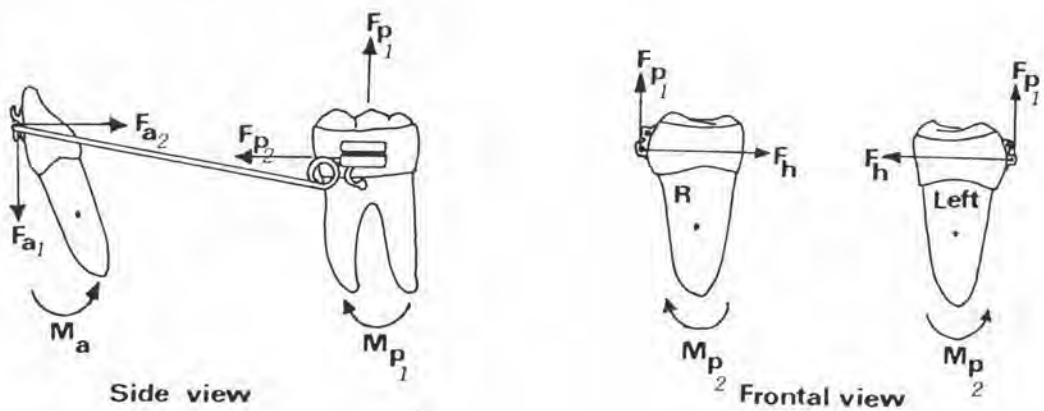


ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชและริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชโดยวิธีโฟโตออสติค ผู้วิจัยได้หล่อแบบจำลองฟันใน ขากรรไกรล่างเลียนแบบลักษณะการเรียงตัวของฟันที่มีเคิร์ฟ ออฟ สปี ซัน โดยประกอบด้วย ฟันตัด ๔ ซี่ ฟันเขี้ยว ๒ ซี่ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ๒ ซี่ ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ๒ ซี่ ฟันกราม ซี่ที่หนึ่ง ๒ ซี่ และฟันกรามซี่ที่สอง ๒ ซี่ ส่วนของขากรรไกรล่างหล่อด้วยสารประกอบยูรีเทน ชนิดโซลิตเทน ๑๑๓ เรซินที่แสดงคุณสมบัติของการเป็นสารไบรฟรินเจนท์ สปริงกดฟันหน้าล่างที่ ใช้ทดลองคือ เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งผ่านการตรวจสอบขนาดของแรงกดฟันแล้วเท่ากับ ๕๐ กรัม (ตามที่ Burstone กำหนด) และริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชซึ่งตรวจสอบขนาดแรงกดฟัน แล้วเท่ากับ ๓๕ กรัม (ตามที่ Ricketts กำหนด) เนื่องจากระบบของแรงซึ่งเกิดขึ้นจาก ลวดกดฟันทั้งสองประเภทมีลักษณะซับซ้อน กล่าวคือ ทำให้เกิดแรงกดในแนวตั้งและโมเมนต์ใน แนวระนาบกระทำต่อฟันหน้า และเกิดแรงดันขึ้นในแนวตั้งและโมเมนต์ในแนวระนาบกระทำต่อ ฟันหลัง ดังไดอะแกรมที่แสดง (รูปที่ ๕๐)



รูปที่ ๕๐ แสดงไดอะแกรมของระบบแรงที่เกิดจากลวดกดฟันกระทำต่อฟันหน้าและฟันหลัง

ดังนั้นก่อนการทดสอบสปริงกคพื้นหน้าล่างทั้งสองประเภทตามขนาดของแรงกดซึ่งกำหนดไว้ทั้งสองเทคนิคนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดขึ้นจากระบบของแรงแต่ละประเภทแยกเป็นอิสระต่อกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนศึกษาการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากลวดคคพื้นหน้า ลักษณะการกระจายของความเค้นศึกษาตามขั้นตอนต่อไปนี้

๑ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากระบบแรงแต่ละประเภทแยกเป็นอิสระต่อกัน และเปรียบเทียบแต่ละระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

๑.๑ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากการคคพื้นหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Burstone บริเวณพื้นหน้า

๑.๑.๑ ทดสอบโดยให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อฟันตัดทั้งสี่ซี่

๑.๑.๒ ทดสอบโดยให้แรงในแนวระนาบกระทำต่อฟันตัดทั้งสี่ซี่

๑.๑.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลของแรงในแนวตั้งและผลของโมเมนต์ซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบ

๑.๒ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากแรงปฏิกิริยาของลวดคคพื้นหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Burstone ที่กระทำต่อฟันหลัง

๑.๒.๑ ทดสอบโดยให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อฟันหลัง

๑.๒.๒ ทดสอบโดยให้แรงในแนวระนาบกระทำต่อฟันหลัง

๑.๒.๒.๑ ในทิศทางใกล้กลาง

๑.๒.๒.๒ ในทิศทางใกล้ลิ้น

๑.๒.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลของแรงในแนวตั้งและผลของโมเมนต์ซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบ

๑.๓ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากการคคพื้นหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Ricketts บริเวณพื้นหน้า

๑.๓.๑ ทดสอบโดยให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อฟันตัดทั้งสี่ซี่

๑.๓.๒ ทดสอบโดยให้แรงในแนวระนาบกระทำต่อฟันตัดทั้งสี่ซี่

๑.๓.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลของแรงในแนวตั้งและผลของโมเมนต์ซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบ

๑.๔ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากแรงปฏิกิริยาของลวดกดพื้นหน้า  
ในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Ricketts ที่กระทำต่อพื้นหลัง

๑.๔.๑ ทดสอบโดยให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อพื้นหลัง

๑.๔.๒ ทดสอบโดยให้แรงในแนวระนาบกระทำต่อพื้นหลัง

๑.๒.๒.๑ ในทิศทางใกล้กลาง

๑.๒.๒.๒ ในทิศทางใกล้ลิ้น

๑.๔.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลของแรงในแนวตั้งและผล  
ของโมเมนต์ซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบ

๑.๕ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากผลของแรงในแนวตั้ง  
บริเวณพื้นหน้าระหว่าง ๒ เทคนิค

๑.๖ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากผลของโมเมนต์ซึ่ง  
เกิดจากแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหน้าระหว่าง ๒ เทคนิค

๑.๗ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากผลของแรงในแนวตั้ง  
บริเวณพื้นหลังระหว่าง ๒ เทคนิค

๑.๘ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐาน จากผลของโมเมนต์ซึ่ง  
เกิดจากแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหลังระหว่าง ๒ เทคนิค

๑.๘.๑ ในทิศทางใกล้กลาง

๑.๘.๒ ในทิศทางใกล้ลิ้น

๒ ศึกษาการกระจายของความเค้น ที่เกิดขึ้นจากสปริงกดพื้นหน้าล่างแต่ละชนิด  
เมื่อใช้แรงตามที่กำหนด ดังนี้

๒.๑ เทคนิคของ Burstone

๒.๒ เทคนิคของ Ricketts

๓ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นที่เกิดจากสปริงกดพื้นหน้าล่างระหว่าง  
๒ เทคนิค

๓.๑ เมื่อขนาดแรง ๕๐ กรัม

๓.๒ เมื่อขนาดแรง ๗๕ กรัม

### ๓.๓ เมื่อค่ามุมทึบแบบ เบนด์เปลี่ยนแปลง

๑ การกระจายของความเค้นมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากระบบแรงแต่ละประเภท มีลักษณะดังนี้

๑.๑ เมื่อมีแรงกดพื้นหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Burstone โดยมีจุดออกแรงระหว่างพื้นตัดซีกกลาง (#๓๑, #๔๑) โดยเริ่มตั้งแต่ขนาดแรง ๕๐, ๗๕, ๑๐๐, ..., ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ

๑.๑.๑ การกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากการให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดพื้นหน้าล่างทั้งสี่ซี่ ลักษณะของความเค้นซึ่งปรากฏในเครื่องมือ เซอร์คิวลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัม และแต่ละครั้งที่เพิ่มแรงบันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง (รูปที่ ๕๑) ภาพถ่ายที่ได้ใช้เป็นหลักในการเปรียบเทียบกับการกระจายของความเค้น ซึ่งเกิดจากการกดพื้นด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ในลักษณะของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อพื้นหน้า พบว่า

มีการกระจายของความเค้นบริเวณรอบปลายรากของฟันซี่ที่อยู่ชิดกับจุดออกแรงมากที่สุดได้แก่ พื้นตัดซีกกลาง เมื่อขนาดของแรงเพิ่มขึ้นความเค้นจะกระจายไปตามพื้นที่รอบรากฟัน ประมาณ  $\frac{๒}{๓}$  ของความยาวรากฟัน ความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันแต่ละซี่มีลักษณะการกระจายคล้ายคลึงกันและกระจายมารวมกันที่พื้นที่ระหว่างรากฟัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อมีแรง ๕๐ กรัม ปรากฏลักษณะของแถบมืดบริเวณรอบ ๆ รากฟันตัดซีกกลางขาว ประมาณ  $\frac{๒}{๓}$  ของความยาวรากฟัน และที่บริเวณปลายของรากฟันหน้าทั้งสี่ซี่ โดยความเข้มของความเค้นบริเวณพื้นตัดซีกกลางมีมากกว่า แถบมืดดังกล่าวนับเป็นลำดับที่ ๑/๒ และบริเวณที่ติดกับผิวรากฟันตัดซีกกลางข้างขวาเริ่มปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๗๕ กรัม พบว่า แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ และแถบสว่างลำดับที่ ๑ รอบ ๆ รากฟันมีการกระจายออกทางด้านข้างของรากฟันทั้งสี่ซี่เล็กน้อย โดยเฉพาะระหว่างรากฟันตัดซีกกลางทั้งสอง แถบมืดกระจายเข้าหากันผสมผสานเป็นแถบมืดเดียวกัน ๗ ตำแหน่ง ประมาณ  $\frac{๑}{๓}$  -  $\frac{๑}{๒}$  ของความยาวรากฟัน

เมื่อให้แรงเพิ่มขึ้นเป็น ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐ และ ๑๗๕ กรัมตามลำดับ ลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งเคลื่อนเข้ามารวมกันระหว่างรากฟันแต่ละซี่ และกระจายสู่ด้านล่างของแบบจำลองมากขึ้นทำให้ความยาวในแนวตั้งของแถบมืดเพิ่มขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกันแถบสว่างลำดับที่ ๑ ซึ่งเกิดขึ้นแทนที่ตำแหน่งเดิมของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ และกระจายออกรอบรากฟันในทิศทางเดียวกันเป็นบริเวณกว้างขึ้นเมื่อแรงเพิ่มมากขึ้น ที่ระดับของแรง ๑๕๐ กรัมเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ขึ้นรอบ ๆ ปลายของรากฟันตัดซี่กลางด้านขวาและปรากฏชัดเจนขึ้นเมื่อแรงเพิ่มขึ้นโดยมีทิศทางกระจายในลักษณะเดียวกันกับแถบมืดและแถบสว่างลำดับแรก

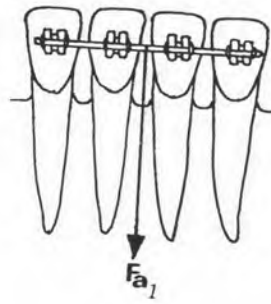
เมื่อแรงเพิ่มขึ้นเป็น ๒๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งรวมกันระหว่างรากฟันแต่ละซี่มีความกว้างของแถบลดลง แต่ความยาวในแนวตั้งเพิ่มขึ้น โดยแถบมืดนั้นวางตัวที่ระดับประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน แถบสว่างลำดับที่ ๑ ปรากฏชัดเจนระหว่างผิวรากฟันกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ส่วนแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายรากฟันตัดซี่กลางกระจายออกจากรากฟันมากขึ้นในทิศทางเดียวกัน

เมื่อเพิ่มแรงต่อไปเป็น ๒๒๕, ๒๕๐ และ ๒๗๕ กรัม ลักษณะการกระจายของแถบมืดและแถบสว่างยังคงเป็นทำนองเดียวกัน ที่ขนาดแรง ๒๗๕ กรัมเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่กลางข้างขวาและที่บริเวณปลายรากของฟันตัดซี่กลางซ้ายกระจายมาเชื่อมโยงกันที่ระดับต่ำจากปลายรากฟันทั้งสอง โดยมีแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ อยู่ที่ระหว่างรากฟันตัดซี่กลาง

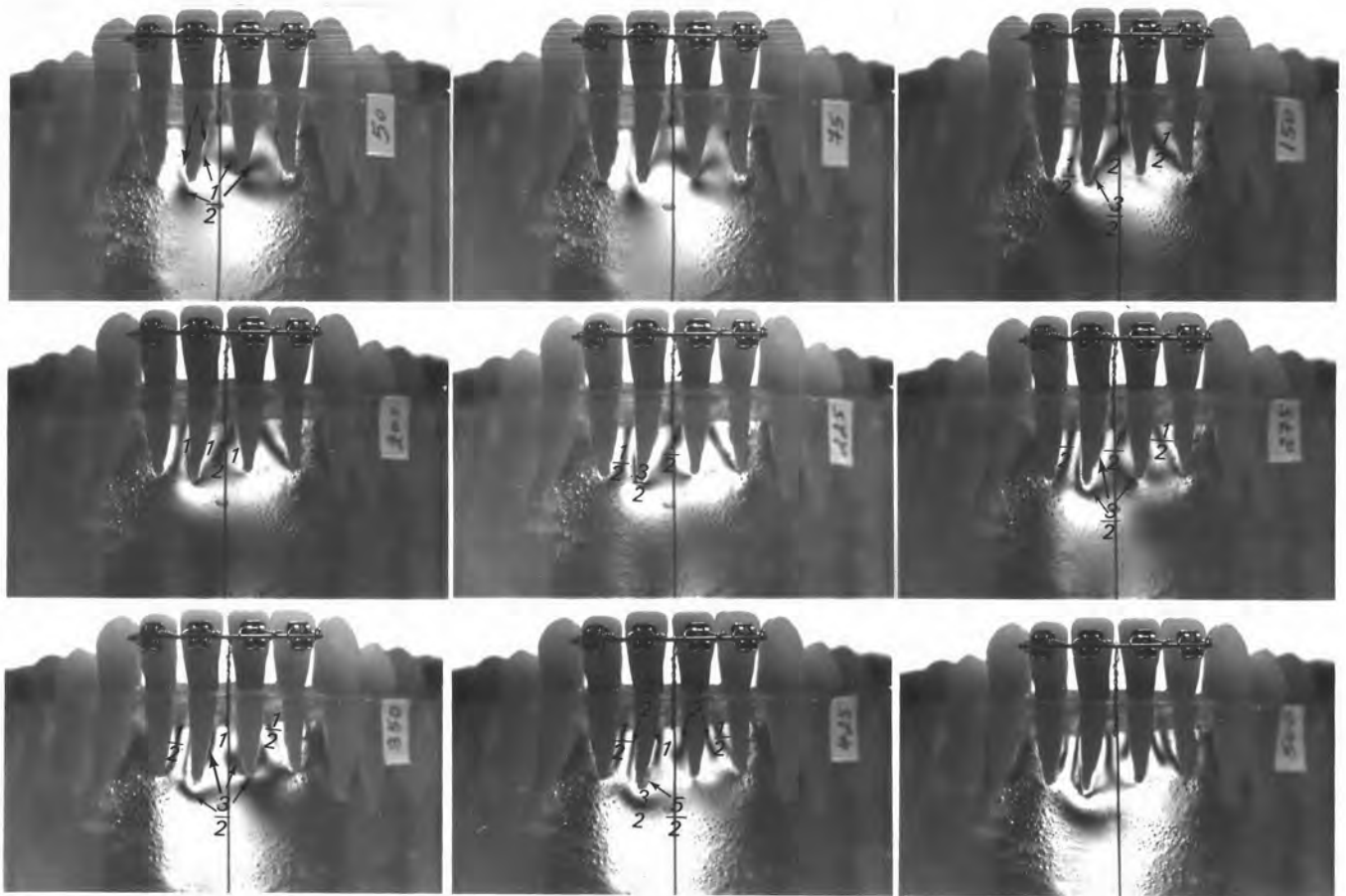
เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕ และ ๔๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างฟันตัดซี่กลางทั้งสองกระจายมารวมกันแคบลง โดยถูกแถบสว่างลำดับที่ ๑ ซึ่งเคลื่อนมาในทำนองเดียวกันเคลื่อนที่เบียดเข้ามาแทนที่ ขณะเดียวกับที่แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ รอบฟันตัดซี่กลางกระจายในลักษณะเดียวกันแทนที่ตำแหน่งเดิมของแถบสว่าง แต่ในระยษที่แรงมีขนาดมากนี้พบว่า การกระจายของแถบบริเวณฟันตัดซี่กลางมีมากกว่าบริเวณฟันตัดซี่ข้าง ดังนั้นจึงทำให้แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่กลางและแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้างถูกเบียดจากแถบสว่างลำดับที่ ๑ และแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ เข้าหารากฟันตัดซี่ข้าง นั่นคือ เมื่อแรงกระทำต่อฟันตัดซี่กลางมากขึ้น จึงมีการถ่างทอดและกระจายของความเค้นไปยังฟันตัดซี่ข้างและฟันข้างเคียง

มากขึ้น เนื่องจากจุดออกแรงในแนวตั้งอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างฟันตัดซี่กลาง บริเวณระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างยังคงปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ และแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ เคลื่อนเข้าใกล้รากฟันตัดซี่ข้างมากขึ้น และกระจายสูงขึ้นไปยังบริเวณคอฟันมากขึ้น

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๔๒๔, ๔๕๐, ๔๗๕ และ ๕๐๐ กรัม เริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๔/๒ ที่ปลายของรากฟันตัดซี่กลางด้านขวา และกระจายออกรอบปลายรากฟันทำให้ความยาวในแนวตั้งเพิ่มขึ้น บริเวณระหว่างฟันตัดซี่กลางทั้งสองแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ กระจายออกรอบรากฟันตัดซี่กลางในทิศทางเดียวกับแถบมืดลำดับแรกประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน และกระจายลงทางด้านปลายของรากฟันตามด้วยการกระจายแถบสว่างลำดับที่ ๒ เช่นเดียวกัน บริเวณระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างยังคงปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งเคลื่อนที่เกือบติดรากฟันตัดซี่ข้างกลับด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑ และตามด้วยแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ และแถบสว่างลำดับที่ ๒ ตามลำดับ



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๑ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึด  
ฟันหน้าล่างทั้งสี่ซี่เลียนแบบเทคนิคของ Burstone

(ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐,  
๗๕, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๕๐, ๔๒๕ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ  
(การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๑.๒ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนพื้นหน้ากระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดพื้นหน้าล่างทั้งสี่ซึ่งมีทิศทางไปทางด้านไกลสั้น ซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คิวลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับกรวดพื้นด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อพื้นหน้า (รูปที่ ๕๒) พบว่า

เมื่อมีแรงกระทำ ๕๐ กรัม มีการกระจายของความเค้นที่บริเวณปลายรากของฟันซี่ที่อยู่ชิดกับจุดออกแรง ได้แก่ ฟันตัดซี่กลางและพื้นที่ระหว่างปลายรากฟันทั้งสองซี่ เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น ความเค้นกระจายไปยังปลายรากฟันของฟันตัดซี่ข้างและพื้นที่ระหว่างรากฟันแต่ละซี่ประมาณ ๒/๓ ของความยาวราก โดยความเค้นที่เกิดบริเวณฟันตัดซี่กลางยังคงมากกว่าฟันตัดซี่ข้าง ตั้งแต่ระดับแรง ๒๒๕ กรัมขึ้นไป ปรากฏความเค้นบริเวณคอฟันโดยมีทิศทางกระจายของแถบมืดตรงข้ามกับในบริเวณปลายรากฟัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อมีแรงขนาด ๕๐ กรัม ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างปลายรากฟันตัดซี่กลางทั้งสองซี่ และบริเวณด้านไกลกลางของรากฟันตัดซี่กลางด้านขวาที่ระดับประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๕ กรัม ความเข้มของแถบมืดลดลงปรากฏเป็นแถบสว่างลำดับที่ ๑ ขึ้นแทนที่ โดยแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ เคลื่อนที่ลงไปทีบริเวณปลายของรากฟันตัดซี่กลางทั้งสอง

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐ และ ๑๗๕ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งวางตัวอยู่ระหว่างรากฟันกระจายมารวมกันมีลักษณะเป็นจุดเข้มบริเวณปลายราก ที่ระดับแรง ๑๒๕ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่ระดับประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟันระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสอง และแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ขึ้นที่ด้านไกลกลางของฟันตัดซี่กลางซ้ายและรอบปลายรากฟันตัดซี่ข้าง เมื่อขนาดของแรงเพิ่มขึ้นแถบมืดเหล่านี้กระจายออกรอบรากฟันรวมทั้งขึ้นสู่บริเวณคอฟัน และเคลื่อนที่ลงสู่ปลายรากฟันด้วยเช่นเดียวกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลาง

ที่ระดับแรง ๒๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลางมีทิศทางกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลอง ทำให้เกิดลักษณะของแถบในแนวระนาบรูปตัว U หักกลับที่

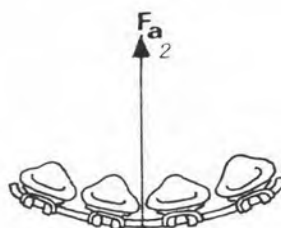


ระดับประมาณ ๑/๓ ของความยาวรากฟัน ขณะเดียวกันก็กระจายขึ้นสู่บริเวณใกล้คอฟันมีลักษณะของแถบในแนวระนาบเป็นรูปตัว U ทำให้แถบมีลำดับที่ ๑/๒ ที่เกิดก่อนซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นสู่บริเวณคอฟันและลงสู่ปลายรากฟันถูกแทนที่ด้วยแถบมีลำดับที่ ๓/๒ ซึ่งเกิดตามมา ทำให้มีลักษณะของแถบมีในแนวระนาบรูปตัว U ทางด้านบนและตัว U หักกลับทางด้านล่าง

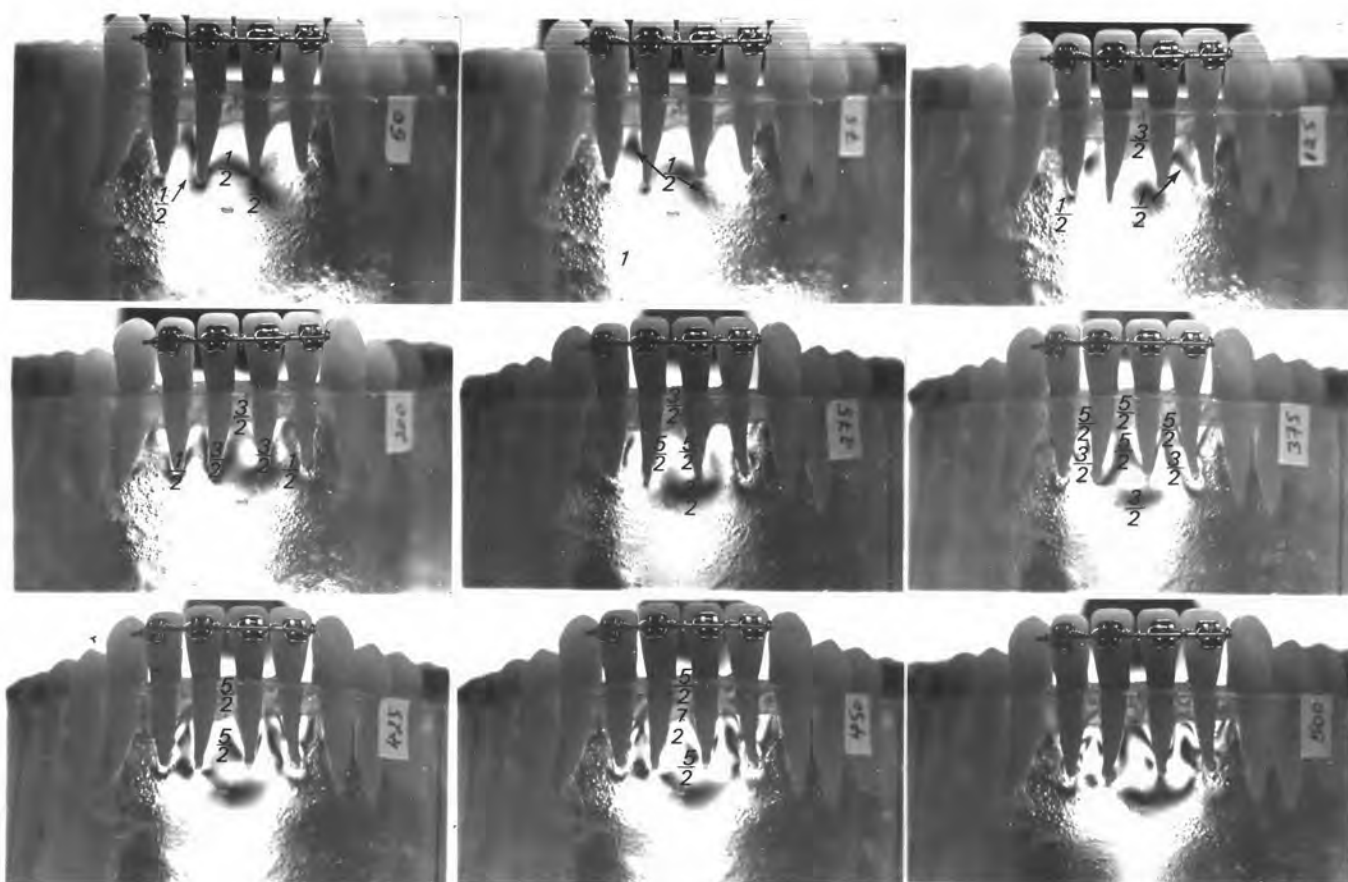
เมื่อแรงเป็น ๒๒๔, ๒๔๐ และ ๒๗๔ กรัม แถบมีลำดับที่ ๓/๒ กระจายขึ้นสู่ด้านบนและลงสู่ด้านล่างมากขึ้น ลักษณะการกระจายของแถบมีและแถบสว่างเป็นรูปแบบเดิม และที่ระดับแรง ๒๗๔ กรัม เริ่มปรากฏแถบมีลำดับที่ ๔/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลาง และกระจายในทิศทางเดียวกับแถบมีและแถบสว่างในลำดับแรก ๆ โดยขึ้นสู่ด้านบนเข้าหาบริเวณใกล้คอฟันและลงสู่ปลายรากฟัน ทำให้แถบมีลำดับที่ ๓/๒ ซึ่งกระจายขึ้นสู่ด้านบนของแบบจำลองกระจายหายไปที่ยอบบนของแบบจำลอง ส่วนแถบมีลำดับที่ ๓/๒ ทางด้านล่างยังคงปรากฏที่รอบบริเวณปลายรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๐๐, ๓๒๔, ๓๔๐, ๓๗๔, ๔๐๐ และ ๔๒๔ กรัม รูปแบบการกระจายของแถบมีลำดับที่ ๔/๒ เป็นทำนองเดียวกับแถบมีลำดับที่ ๓/๒ และ ๑/๒ สำหรับระหว่างรากฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างเกิดแถบมีลำดับที่ ๔/๒ ในรูปแบบเดียวกัน

เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๔๕๐, ๔๗๔ และ ๕๐๐ กรัม เริ่มปรากฏแถบมีลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสองที่ระดับประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน ซึ่งเป็นระดับเดียวกับที่แถบมีลำดับอื่น ๆ เริ่มปรากฏ



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๒ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึด  
 ฟันหน้าล่างทั้งสี่ซี่เลียนแบบเทคนิคของ Burstone  
 (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐,  
 ๗๕, ๑๒๕, ๒๐๐, ๒๗๕, ๓๗๕, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ  
 (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๑.๓ ความเค้นที่เกิดจากแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ แตกต่างกัน ดังนี้

๑.๑.๓.๑ ลักษณะของแถบมิตที่เกิดจากแรงในแนวตั้งมีรูปแบบการวางตัวในแนวตั้งรอบ ๆ รากฟันหน้า แต่ลักษณะของแถบมิตที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ มีการวางตัวในแนวระนาบระหว่างรากฟัน

๑.๑.๓.๒ การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากผลของแรงในแนวตั้ง มีรูปแบบการกระจายออกรอบ ๆ รากฟันไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มของความเค้นบริเวณใกล้จุดออกแรงมีมากที่สุด ส่วนการกระจายของความเค้นที่เกิดจากผลของโมเมนต์มีรูปแบบการกระจายในทิศทางตรงกันข้ามไปยังบริเวณปลายรากฟันและบริเวณคอฟัน โดยมีจุดเริ่มต้นบริเวณระหว่างรากฟัน ประมาณ  $1/2$  ของความยาวรากฟัน โดยความเข้มของความเค้นเกิดมากที่สุด บริเวณใกล้จุดออกแรง ไต่แก่ ฟันตัดซี่กลางเช่นเดียวกันทั้งจากผลของแรงและโมเมนต์

๑.๒ เมื่อมีแรงปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากลวดกดฟันหน้า ในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Burstone กระทำต่อฟันหลัง โดยมีจุดออกแรงที่หลอดโลหะด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งยึดกับฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง และฟันกรามน้อยซี่ที่สองเป็นหน่วยเดียวกันด้วยลวดยึดฟันหลังและลิงกวล อาร์ช โดยเริ่มตั้งแต่ขนาดแรง ๕๐, ๗๕, ๑๐๐, ..., ๕๐๐ กรัมตามลำดับ

๑.๒.๑ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากแรงดึงขึ้นในแนวตั้ง ซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรงบันทึก โดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง ภาพถ่ายที่ได้ใช้เป็นหลักในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากผลของลวดกดฟันที่กระทำต่อฟันหลัง (รูปที่ ๕๓) พบว่า

เมื่อขนาดแรง ๕๐ กรัม การกระจายของความเค้นเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้นความเค้นจะกระจายไปยังพื้นที่รอบรากฟันหลังทุกซี่ประมาณ  $1/2$  ของความยาวราก โดยตำแหน่งที่เริ่มพบการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับแรก คือ บริเวณปลายรากใกล้กลางของฟันกราม

ซีทีหนึ่ง และที่ขนาดแรง ๒๐๐ กรัมขึ้นไปจะพบการเปลี่ยนแปลงบริเวณคอพื้นด้านใกล้กลางของ  
พื้นหลักยึดทุกซีและบริเวณปลายรากฟันกรามซีที่สอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อขนาดแรง ๔๐ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ปลายรากใกล้กลางของฟันกราม  
ซีทีหนึ่งประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน และรอบปลายรากฟันกรามน้อยทั้งสองซีประมาณ  
๑/๓ ของความยาวรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๔ กรัมไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบมืด

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๔ และ ๑๔๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายออกรอบ  
รากฟันมากขึ้น และเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างของแบบจำลองจนปรากฏเป็นแถบสว่างรอบรากฟันกราม  
ซีทีหนึ่งและฟันกรามน้อยแทนที่ตำแหน่งเดิมของแถบมืด และเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่  
ปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซีทีหนึ่งเมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๓๔ กรัม

ที่ระดับแรง ๒๐๐, ๒๒๔ และ ๒๔๐ กรัม พบว่า แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่ปลายรากใกล้  
กลางของฟันกรามซีทีหนึ่งกระจายออกด้านข้างของรากฟัน จนมาเชื่อมกับแถบมืดที่ปลายราก  
ใกล้กลางของฟันกรามซีทีหนึ่ง เกิดเป็นแถบมืดในแนวระนาบระหว่างรากฟันทั้งสองจำนวนสองแถบ  
สลับด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑ ส่วนแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซีทีหนึ่ง  
ซึ่งกระจายลงสู่ด้านล่างมากขึ้นผสมผสานกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายออกรอบปลายราก  
ฟันกรามน้อยซีที่สอง เกิดเป็นแถบมืดบริเวณกว้างด้านล่างของแบบจำลอง ซึ่งเชื่อมต่อกับแถบมืด  
ลำดับที่ ๑/๒ ของฟันกรามน้อยซีทีหนึ่งด้วยเช่นกัน และแถบสว่างลำดับที่ ๑ ที่กระจายตามใน  
ทิศทางเดียวกับแถบมืดและแทนที่แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ รอบรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี มีความกว้าง  
ของแถบมากขึ้น ที่ระดับแรง ๒๐๐ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณใกล้คอพื้นด้านใกล้  
กลางของฟันกรามซีทีหนึ่ง และแถบสว่างลำดับที่ ๑ บริเวณฟันกรามซีที่สอง

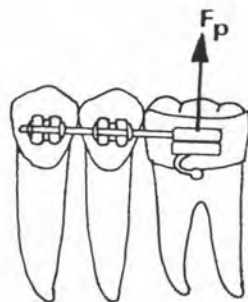
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๒๓๔, ๓๐๐ และ ๓๒๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างราก  
ฟันกรามซีทีหนึ่งปรากฏเป็นสองแถบในแนวระนาบ ทางด้านใกล้กลางของฟันกรามซีทีหนึ่งแถบมืด  
ลำดับที่ ๑/๒ กระจายสูงขึ้นจากประมาณกึ่งกลางรากฟันกรามซีทีหนึ่งในแนวระนาบไปยังราก  
ฟันกรามซีที่สอง ตามด้วยแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ทางปลายรากฟัน ทางด้านใกล้กลางของฟันกราม  
ซีทีหนึ่งมีการกระจายของแถบมืดและแถบสว่างในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ทำให้เกิดลักษณะของแถบมืด  
ลำดับที่ ๑/๒ เป็นวงรอบความโค้งของรากฟันด้านนี้ระดับกึ่งกลางรากฟัน จนเกือบเชื่อมต่อกับ

แถบมืดบริเวณใกล้คอพั้นซึ่งกระจายเป็นวงกว้างลงสู่ด้านล่างตามความโค้งของผิวรากพั้น และการกระจายของแถบมืดออกรอบรากพั้นทำให้มีความกว้างและความลึกมากขึ้นนั้น มีทิศทางไปทางด้านใกล้กลางเข้าหาพั้นกรามน้อยซี่ที่สอง นั่นคือ มีการถ่ายทอดแรงจากพั้นกรามซี่ที่หนึ่งไปยังพั้นกรามน้อยแต่ละซี่ ดังนั้นแถบมืดและแถบสว่างซึ่งเกิดตามความโค้งของรากพั้นด้านใกล้กลางจึงชัดเจนกว่า

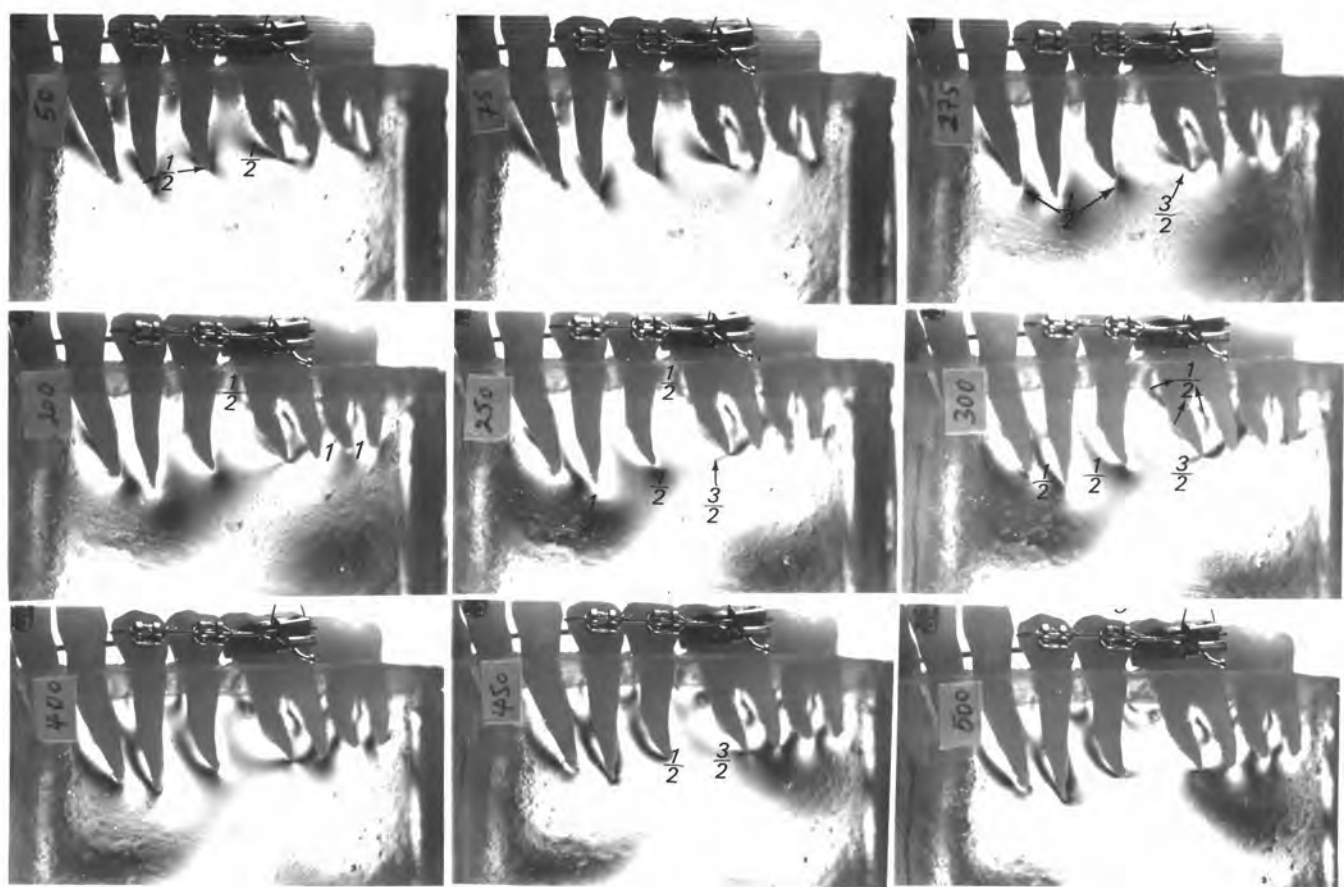
เมื่อแรงเพิ่มขึ้นอีกเป็น ๓๕๐, ๓๗๕ และ ๔๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ บริเวณปลายรากพั้นกรามซี่ที่หนึ่งกระจายเป็นบริเวณกว้างออกทางด้านข้างและลงด้านล่างของแบบจำลองรวมทั้งกระจายไปยังพั้นกรามซี่ที่สอง ปรากฏเป็นแถบมืดที่บริเวณปลายรากพั้นกรามซี่ที่สองทางด้านใกล้กลางของพั้นกรามซี่ที่หนึ่ง ทางด้านใกล้กลางของพั้นกรามซี่ที่หนึ่งแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ กระจายไปทางด้านใกล้กลางมากขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ทำให้แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ นี้ กระจายไปยังด้านใกล้กลางของพั้นกรามน้อยซี่ที่สอง เกิดเป็นแถบมืดแนวระนาบเชื่อมโยงระหว่างพั้นกรามซี่ที่หนึ่ง และพั้นกรามน้อยซี่ที่สองบริเวณใกล้คอพั้นลงมาประมาณระดับ ๒/๓ ของความยาวรากพั้น และ ๑/๒ ของความยาวจากปลายรากพั้นอีกบริเวณ ทำนองเดียวกันระหว่างรากพั้นกรามน้อยซี่ที่สองซึ่งเกิดแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ สองบริเวณ คือ บริเวณที่เชื่อมโยงจากใกล้คอพั้นด้านใกล้กลางของพั้นกรามน้อยซี่ที่สองไปยังประมาณกึ่งกลางรากพั้นด้านใกล้กลางของพั้นกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง และบริเวณส่วนโค้งด้านใกล้กลางจากกึ่งกลางรากพั้น และปลายรากของพั้นกรามน้อยซี่ที่สองไปยังประมาณกึ่งกลางด้านใกล้กลางของรากพั้นกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ระหว่างพั้นกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและพั้นเขี้ยวการกระจายของแถบมืดเป็นรูปแบบเดียวกัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๔๒๕, ๔๕๐, ๔๗๕ และ ๕๐๐ กรัม การกระจายของแถบมืดและแถบสว่างเป็นรูปแบบเดิม ทำให้แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ บริเวณปลายรากพั้นกรามซี่ที่หนึ่งและพั้นกรามซี่ที่สองกระจายลงทางด้านล่างของแบบจำลองเป็นบริเวณกว้าง ตามด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑ ซึ่งกระจายเป็นวงรอบปลายรากพั้นทั้งสอง บริเวณระหว่างรากพั้นกรามซี่ที่หนึ่งและพั้นกรามน้อยซี่ที่สองแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ เคลื่อนเข้าหากันมากขึ้นตามขนาดแรงที่เพิ่มขึ้นแต่จำนวนแถบยังเท่าเดิม บริเวณระหว่างรากพั้นกรามซี่ที่หนึ่งก็เช่นเดียวกัน ทางด้านใกล้กลางของพั้นกรามซี่ที่หนึ่งแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ซึ่งกระจายออกด้านข้าง และกระจายขึ้นไปรวมกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ จากด้านใกล้กลางของพั้นกรามน้อยซี่ที่สองขึ้นสู่ด้านบนของแบบจำลอง ทำให้เกิดแถบมืดเชื่อมจาก

ด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งไปยังด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่สองเป็นลำดับที่ ๑/๒ และ ๓/๒ บริเวณประมาณกลางความยาวรากฟันตามลำดับ สำหรับแถบมีคระหว่างฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งยังคงรูปแบบเดิมแต่มีความเข้มของแถบมากขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๓ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อฟันหลังเลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๒๕, ๒๐๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๒.๒ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ ตั้งฉากกับแนวแกนพื้นหลังที่หลุดโลหะด้านใกล้แก้มของพื้นกรามซี่ที่หนึ่งแยกพิจารณาเป็น ๒ ทิศทาง

๑.๒.๒.๑ ในทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง การกระจายของความเค้นซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่างเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการเปรียบเทียบกับการกดพื้นด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อพื้นหลังทั้ง ๓ ซี่ (รูปที่ ๕๔) พบว่า

เมื่อมีแรงกระทำเริ่มต้น ๕๐ กรัม การกระจายของความเค้นเกิดบริเวณปลายรากฟันหลักซี่คี่ทั้งสามซี่ ความเค้นบริเวณรากใกล้กลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่งมีมากที่สุด เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้นความเค้นจะกระจายไปตามพื้นที่รอบรากฟันแต่ละซี่ โดยมีทิศทางการกระจายไปยังบริเวณคอฟันและบริเวณปลายรากฟันของฟันหลักซี่คี่ทุกซี่ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามซี่ที่สอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

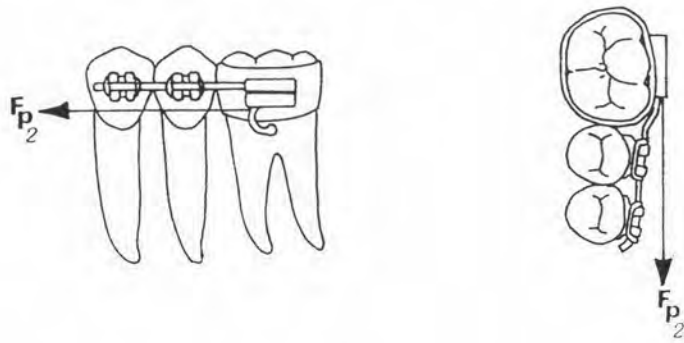
เมื่อมีแรง ๕๐ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณปลายรากใกล้กลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่งและทางด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง และประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากบริเวณด้านใกล้กลางของพื้นกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๔ กรัม เริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างคอฟันของพื้นกรามซี่ที่หนึ่งและพื้นกรามน้อยซี่ที่สอง

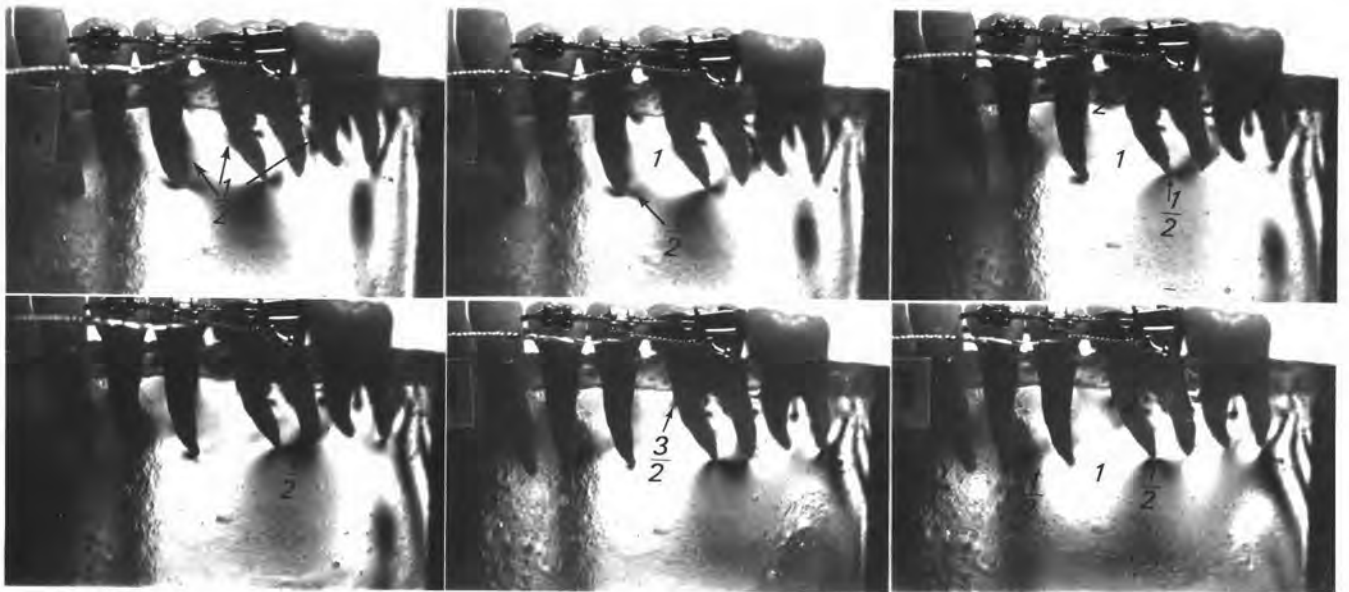
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๒๕ และ ๒๕๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายไปทางปลายรากฟันสูงสู่ด้านล่างของแบบจำลองมากขึ้น มีการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ เชื่อมโยงระหว่างรากใกล้กลางและรากใกล้กลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณคอฟันระหว่างพื้นกรามซี่ที่หนึ่งและพื้นกรามน้อยซี่ที่สอง มีความเข้มของแถบเพิ่มขึ้น มีการกระจายของแถบสว่างลำดับที่ ๑ ที่บริเวณด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่งตามทิศทางการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ และแทนที่ตำแหน่งเดิมของแถบมืดทางด้านใกล้กลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมืดกระจายในแนวระนาบไปยังพื้นกรามซี่ที่สองมากขึ้นและขึ้นไปยังคอฟันมากขึ้น



เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๒๓๔, ๓๐๐, ๓๖๔, ๓๔๐, ๓๓๔, ๔๐๐, ๔๒๔, ๔๔๐, ๔๓๔ และ ๔๐๐ กรัม แถบมีค้ำลำดับที่ ๑/๒ ที่ผสมผสานกันระหว่างปลายรากใกล้กลางและปลายรากไกลกลางของพื้กรามซี่ที่หนึ่งกระจายลงสู่ด้านล่างมากขึ้นทำให้ผสมผสานกับแถบมีค้ำลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายจากปลายรากพื้กรามซี่ที่หนึ่ง ตามด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑ เป็นบริเวณกว้างระหว่างรากพื้กรามและพื้กรามน้อยซี่ที่สอง และแถบมีค้ำบริเวณคอพื้มีปริมาณมากขึ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ ๕๔ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อฟันหลังไปทางด้าน  
 ไกลกลางเส้นแนวเทคนิคของ Burstone  
 (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐,  
 ๓๔, ๒๒๔, ๓๐๐, ๔๐๐ และ ๔๗๔ กรัม ตามลำดับ  
 (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๒.๒.๒ ในทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น การกระจายของความเค้นซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๔๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่างเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับกราฟด้วยเซอร์สโตน อินทรซึฟ อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อฟันหลังทั้ง ๓ ซี่ (รูปที่ ๔๔) พบว่า

เมื่อมีแรง ๔๐ กรัม มีการกระจายของความเค้นบริเวณปลายรากฟันหลักยึดทั้งสามซี่ เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น ความเค้นจะกระจายไปตามพื้นที่รอบรากฟันแต่ละซี่และไปยังพื้นที่ระหว่างรากฟันหลักยึด และเมื่อแรงมีขนาดมากตั้งแต่ ๒๒๔ กรัม ความเค้นจะกระจายไปที่บริเวณคอฟันและบริเวณปลายรากฟันของฟันหลักยึดทุกซี่ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณปลายรากฟันกรามซี่ที่สอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อมีแรง ๔๐ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ๗ ตำแหน่ง ประมาณ ๑/๓ ของปลายรากใกล้กลาง รอบปลายรากใกล้กลาง และระหว่างรากฟันทั้งสอง บริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่หนึ่งที่ระดับประมาณ ๑/๓ ของปลายราก

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ จากปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจายไปยังปลายรากใกล้กลางมากขึ้นเล็กน้อย

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๔ และ ๑๔๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายออกรอบรากฟันมารวมกันเป็นบริเวณกว้างระหว่างรากฟันแต่ละซี่และมีความเข้มของแถบเพิ่มขึ้น เริ่มปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ ขึ้นที่บริเวณด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและทางด้านใกล้กลางของรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๓๔, ๒๐๐ และ ๒๒๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งรวมกันระหว่างรากฟันมีความเข้มลดลงและกระจายเป็นสองบริเวณ โดยกระจายขึ้นที่ตำแหน่งใกล้คอฟันเป็นวงโค้งรูปตัว U จากบริเวณคอฟันกรามซี่หนึ่งไปยังฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และเป็นวงตามส่วนโค้งของรากด้านใกล้กลางประมาณ ๑/๓ ของปลายราก โดยเฉพาะที่รากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งชัดเจนที่สุด และแถบสว่างลำดับที่ ๑ กระจายเข้าแทนที่โดยมีทิศทางกระจายออกจากรากฟันเช่นเดียวกับแถบมืด แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่ส่วนปลายของรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจายรวมกันจากปลายรากใกล้กลางไปยังปลายรากใกล้กลาง และที่ระดับแรง ๒๔๐ กรัมเริ่มปรากฏ

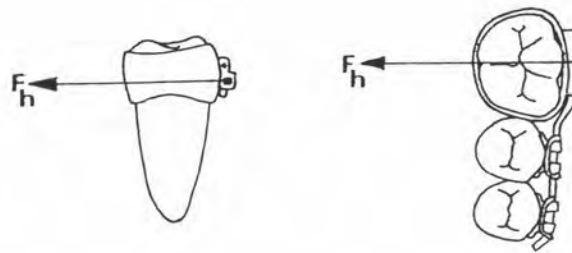
แถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ที่ระหว่างรากใกล้กลางและรากไกลกลาง ระหว่างแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ บริเวณใกล้ส่วนแยกของรากฟันและแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ที่ปลายรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๒๓๔, ๓๐๐, ๓๖๔ และ ๓๔๐ กรัม แถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างปลายรากใกล้กลางไปยัง ๑/๓ ของปลายรากไกลกลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งในแนวระนาบชั้นสู่ด้านบนและลงสู่ด้านล่างทำให้ผสมผสานกับแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ที่ใกล้ส่วนแยกของรากฟันและแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ที่ปลายของรากฟัน เกิดการเชื่อมต่อกันอีกในแนวตั้งระหว่างแถบมิตทั้งสาม ดังกล่าวร่วมกับการกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลอง ส่วนทางด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งแถบมิตระหว่างคอฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สองกระจายสู่ด้านบนมากขึ้น แถบมิตที่ปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่สองกระจายลงทางด้านล่างของแบบจำลองมากขึ้น แถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายรากฟันกรามน้อยกระจายออกจากด้านไกลกลางมากขึ้นเช่นเดียวกับแถบมิตที่กึ่งกลางรากด้านใกล้กลาง ทำให้มาผสมผสานกันระหว่างรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่และฟันเขี้ยว

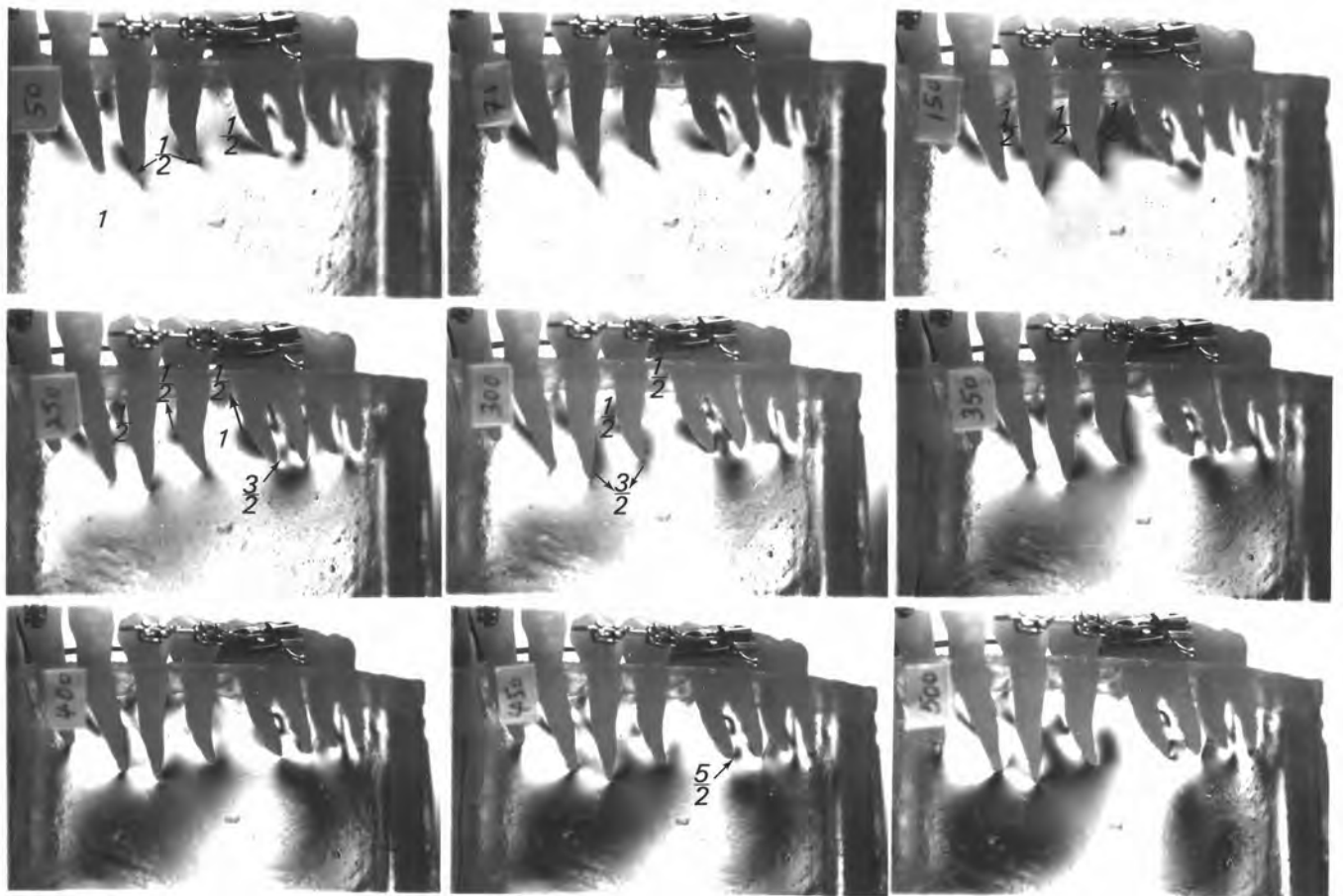
เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๓๔, ๔๐๐ และ ๔๖๔ กรัม แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ และ ๓/๒ ระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจายหายไปถูกแทนที่ด้วยแถบสว่าง คงเหลือแถบมิตเป็นวงเล็กที่ประมาณ ๑/๓ ของด้านไกลกลางของปลายรากใกล้กลาง ส่วนแถบมิตที่กระจายสู่ด้านล่างของแบบจำลองเป็นบริเวณกว้างและทึบ จนไปเชื่อมกับแถบมิตที่กระจายลงด้านล่างจากรากฟันกรามซี่ที่สองและระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ บริเวณใกล้คอฟันยังคงปรากฏอยู่ แถบมิตลำดับที่ ๓/๒ บริเวณปลายของรากฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยวกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลองรวมกันเป็นบริเวณกว้างทางด้านล่างของแบบจำลองระหว่างรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่และฟันเขี้ยว ส่วนแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งรวมกันระหว่างรากฟันกรามน้อยและฟันเขี้ยวประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟันกระจายขึ้นไปทางใกล้คอฟันมากขึ้น ส่วนที่ระดับกึ่งกลางความยาวรากมาทางปลายรากฟันแถบมิตถูกแทนที่ด้วยแถบสว่างในรูปแบบเดียวกับบริเวณฟันกราม

เมื่อเพิ่มแรงต่อไปอีกเป็น ๔๔๐, ๔๓๔ และ ๔๐๐ กรัมตามลำดับ เริ่มปรากฏแถบมิตลำดับที่ ๔/๒ ที่ปลายของรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจายเข้าหากันเชื่อมเป็นแถบมิตแนวระนาบใหม่ แถบมิตบริเวณกว้างด้านล่างแบบจำลองกระจายจากรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งไปยังรากฟันกรามซี่ที่สองมากขึ้น ทำให้แถบสว่างกระจายกว้างขึ้นได้รากใกล้กลาง ระหว่างรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่และ

พื้นเขียว แถบมีดลำดับที่ ๓/๒ กระจายรอบรากฟันโดยเชื่อมโยงจากประมาณ ๑/๓ ของความยาว รากด้านใกล้กลาง และจากปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองไปยังประมาณ ๑/๓ ของความยาวราก ด้านใกล้กลางและจากปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๔ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อฟันหลังไปทางด้านใกล้ลิ้น  
 เลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่  
 เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๕๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๕๐, ๔๐๐,  
 ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ  
 ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๒.๓ ในการเปรียบเทียบความแตกต่างการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งและโมเมนต์โมเมนต์ของแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหลัง พบว่า การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งเริ่มเกิดที่บริเวณปลายรากของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง โดยมีทิศทาง การกระจายออกรอบ ๆ รากฟัน เมื่อแรงเพิ่มขึ้นความเค้นนั้นกระจายไปยังบริเวณคอฟันระหว่าง ฟันหลักยึดทุกซี่ ส่วนการกระจายของความเค้นที่เกิดจากผลของโมเมนต์ มีรูปแบบการกระจาย คล้ายคลึงกัน คือเกิดความเค้นบริเวณปลายรากฟันและกระจายไปยังบริเวณคอฟันเมื่อขนาดแรง เพิ่มขึ้น

๑.๓ เมื่อมีแรงกดฟันหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Ricketts โดยมีจุดออกแรงที่ด้านไกลกลางของลวดยึดฟันหน้าล่างให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัม จากนั้นเพิ่มขนาดของแรงขึ้นครั้งละ ๒๕ กรัมตามลำดับ จนกระทั่งแรงในแนวตั้งมีค่าเท่ากับ ๕๐๐ กรัม

๑.๓.๑ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อด้านไกลกลางของลวดยึดฟันหน้าล่าง ซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัม และแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง ภาพถ่ายที่ได้ใช้เป็นข้อมูล ในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช (รูปที่ ๕๖) ผลการวิจัย พบว่า

มีการกระจายของความเค้นบริเวณปลายราก และบริเวณด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างมากกว่าบริเวณฟันตัดซี่กลาง ลักษณะการกระจายของความเค้นทางด้านซ้ายและขวามีรูปแบบเดียวกัน แต่ลำดับที่ของแถบมืดแตกต่างกันแม้จะได้รับแรงกดเท่ากัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ทางด้านซ้าย

เมื่อแรงเป็น ๕๐ กรัม ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ รวมเป็นจุดบริเวณปลายรากฟันตัดซี่ข้าง รอบรากฟันตัดซี่กลาง และแถบมืดระหว่างด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้าง และด้านไกลกลางของฟันตัดซี่กลาง โดยมีแถบสว่างลำดับที่ ๑ ล้อมรอบรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๕, ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๐๐ และ ๒๒๕ กรัม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบมืด

ที่ขนาดแรง ๒๕๐ กรัม เริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายของรากฟันตัดซี่กลาง ซ้าย ทำให้มีความยาวของแถบในแนวตั้งมากขึ้นและมีความเข้มของความเค้นมากขึ้นเช่นกัน

เมื่อเพิ่มแรงต่อไปอีกเป็น ๒๗๕, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๐๐, ๔๒๕, ๔๕๐, ๔๗๕ และ ๕๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่รอบปลายรากฟันตัดซี่กลางด้านซ้ายมีการกระจาย ออกทางด้านข้างและลงสู่ด้านล่างของปลายรากฟันผสมผสานกับแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ซึ่งกระจาย เป็นบริเวณกว้างด้านล่างต่อปลายรากฟันซี่กลางด้านซ้าย โดยแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ยังคงอยู่ใน ตำแหน่งระหว่างรากฟันหน้าเช่นเดิม

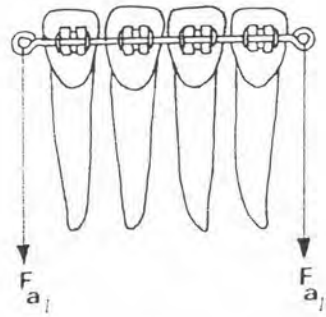
#### ทางด้านขวา

เมื่อแรงเป็น ๕๐ กรัม ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ เป็นจุดบริเวณปลาย รากฟันตัดซี่ข้างและฟันตัดซี่กลาง และที่ด้านไกลกลางของฟันตัดซี่กลาง

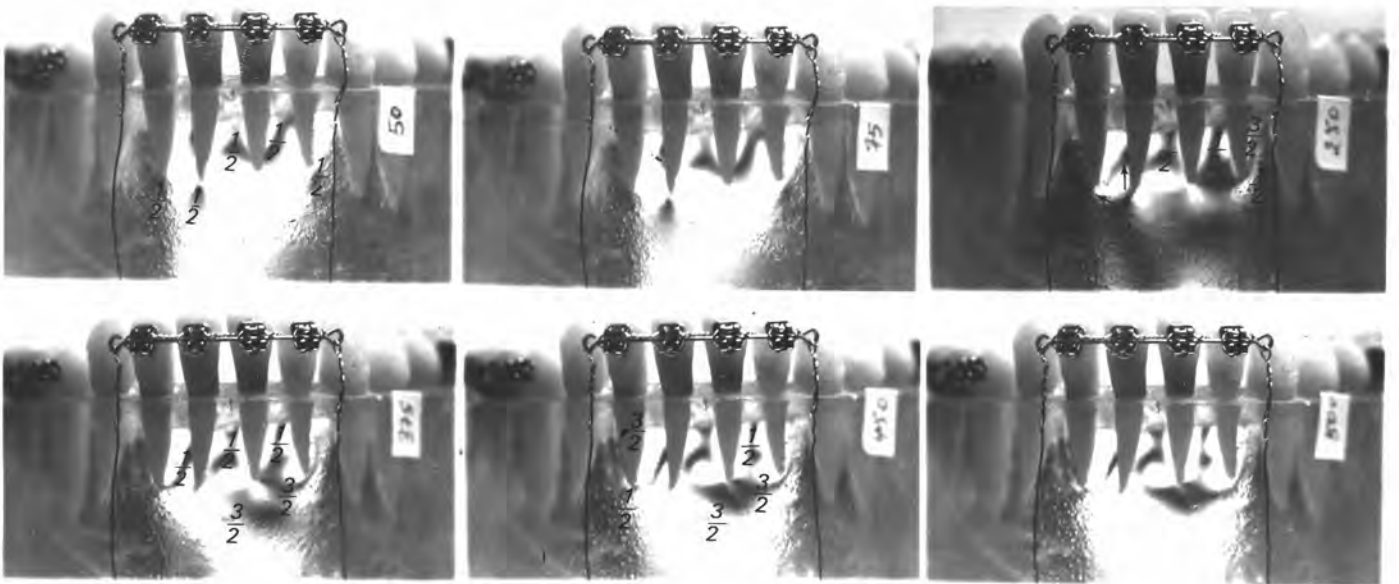
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๗๕, ๑๐๐, ๑๒๕ และ ๑๕๐ กรัมไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบมืด ที่ระดับแรง ๑๗๕ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณใต้ปลายรากฟันตัดซี่กลางและ ฟันตัดซี่ข้างมาเชื่อมกันเป็นแถบเดียว

เมื่อแรงเพิ่มขึ้นเป็น ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๐๐ และ ๔๒๕ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่บริเวณปลายรากฟันตัดซี่ข้างมีการกระจายมาเชื่อมโยงกับ แถบมืดทางด้านไกลกลางของฟันตัดซี่กลาง และที่ระดับแรง ๔๒๕ กรัม เริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่ด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างและกระจายออกจากรากฟันด้านนี้มากขึ้นตามขนาดแรงที่เพิ่ม ขึ้นเป็น ๔๕๐, ๔๗๕ และ ๕๐๐ กรัมตามลำดับ





(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๖ (ก) แสดงทิศทางของแรงที่กระทำในแนวตั้งต่อฟันหน้าสี่ซี่ที่ด้านไกลกลางของลวดยึดฟันหน้าล่างเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts

(ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๓๕, ๖๕๐, ๓๓๕, ๕๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๓.๒ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบกระทำตั้งฉากกับแนวแกนพื้นที่ด้านไกลกลางของลวดยึดพื้นหน้า โดยมีทิศทางไปทางด้านใกล้ การกระจายของความเค้นที่ปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับกราฟด้วยริกเก็ตส์ ยูลิตี อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อพื้นหน้าแต่ละซี่ (รูปที่ ๕๗) พบว่า

มีการกระจายของความเค้นเกิดขึ้นบริเวณปลายรากฟันทั้งสี่ซี่เป็นลำดับแรก เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้นตั้งแต่ ๑๕๐ กรัมจะปรากฏความเค้นบริเวณคอฟัน โดยการกระจายของแถบมืดในบริเวณคอฟันและบริเวณปลายรากฟันมีทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อพิจารณาจากจำนวนของแถบมืดที่ปรากฏในบริเวณฟันตัดซี่ข้างทั้งสองซี่ พบว่า มีความเค้นมากกว่าบริเวณฟันตัดซี่กลาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เมื่อมีแรง ๕๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายออกจากปลายรากฟันหน้าแต่ละซี่มาผสมผสานเป็นแถบมืดระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสองและระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างซ้าย

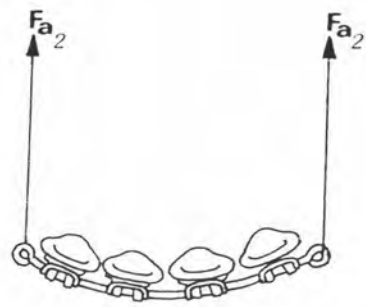
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๓๕ กรัม ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบมืด

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕ และ ๒๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่มารวมกันระหว่างรากฟันตัดซี่กลางเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนและลงสู่ด้านล่างของแบบจำลอง ปรากฏเป็นแถบมืดรูปตัว U หักกลับทางด้านปลายรากฟันประมาณ ๑/๓ ของความยาวรากฟัน ขณะเดียวกันปรากฏแถบมืดรูปตัว U ทางบริเวณใกล้คอฟัน และตั้งแต่ระดับแรง ๑๕๐ กรัมขึ้นไปเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ บริเวณคอฟันของฟันตัดซี่ข้าง

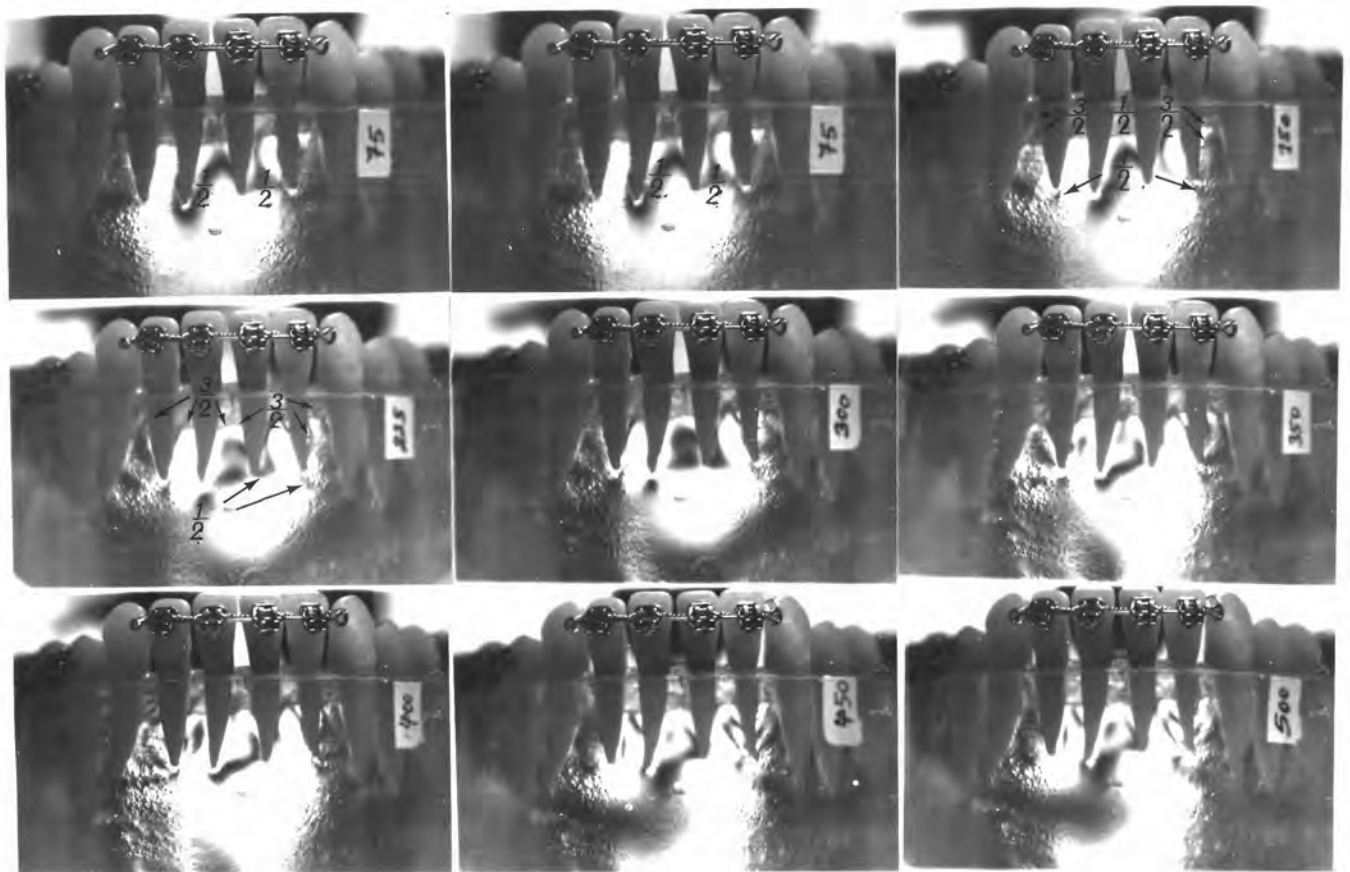
เมื่อให้แรงเพิ่มขึ้นเป็น ๒๒๕, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๐๐ และ ๓๒๕ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ มีการกระจายจากรากฟันตัดซี่ข้างไปยังฟันตัดซี่กลางมากขึ้น และเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสองที่ระดับประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน โดยที่แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ มีการกระจายในทิศทางเดิมมากขึ้นเช่นกัน ทำให้แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลางบริเวณใกล้คอฟันกระจายหายไปทางขอบบนของแบบจำลอง ส่วนแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่กระจายลงสู่ด้านล่างทางด้านปลายรากฟันยังคงปรากฏอยู่และกระจายรอบ ๆ ปลายราก

พื้่มากขึ้น จนผสมผสานเป็นแถบมีคบริเวณกว้างระหว่างล่นเปลยรกรพื้แต่ละช้ทงด้นล่ง  
ของแบบจ้ล่ง

เมื่เพิ่มแรงต้อไปเป็น ๓๔๐, ๓๓๔, ๔๐๐, ๔๒๔, ๔๔๐, ๔๓๔ และ ๔๐๐ กร้ม  
พว้ว การกรจยของแถบมีคย้งคงเป็นรูปแบบเดิมแต่เพิ่มจ้นนแถบมกช้นตามขนาดแรงที่  
เพิ่มช้นจนไม่สามารถจ้แนกเป็นล้ล้บที่ต้ง ๆ ได้



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๓ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างไปทางด้านใกล้ลิ้นเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts  
 (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๓๐๐, ๓๕๐, ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๓.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหน้า พบว่า การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้ง มีรูปแบบการกระจายออกรอบ ๆ รากฟันไปในทิศทางเดียวกัน โดยความเข้มของความเค้นบริเวณใกล้จุดออกแรงมีมากที่สุด ได้แก่ ฟันตัดซี่ข้างทั้งสองข้าง ส่วนการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ มีรูปแบบการกระจายแยกเป็น ๒ ทิศทางไปยังบริเวณปลายรากฟันและบริเวณคอฟัน จุดเริ่มต้นของความเค้นเกิดที่บริเวณระหว่างรากฟันประมาณ  $1/2$  ของความยาวรากฟัน โดยความเข้มของความเค้นเกิดมากที่สุดบริเวณใกล้จุดออกแรง ได้แก่ ฟันตัดซี่ข้าง เช่นเดียวกับผลของแรง

๑.๔ เมื่อมีแรงปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากลวดกดฟันหน้าในลักษณะเดียวกับที่ใช้ในเทคนิคของ Ricketts กระทำต่อฟันหลัง โดยมีจุดออกแรงที่หลอดโลหะด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ตั้งแต่ขนาดแรง ๕๐ กรัม จากนั้นเพิ่มขนาดของแรงขึ้นครั้งละ ๒๕ กรัม จนกระทั่งแรงในแนวตั้งมีค่าเท่ากับ ๕๐๐ กรัม

๑.๔.๑ การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการให้แรงตั้งขึ้นในแนวตั้งที่หลอดโลหะด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่หนึ่งที่ปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัม และแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง ภาพถ่ายที่ได้ใช้เป็นหลักในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดจากผลของลวดตริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ที่กระทำต่อฟันหลังในลักษณะของแรงปฏิกิริยากับฟันหน้า (รูปที่ ๕๘) จากภาพถ่ายที่ปรากฏ พบว่า

การกระจายของความเค้นไม่ได้เกิดเฉพาะแต่ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบไปยังฟันข้างเคียงอีกด้วย กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงเริ่มต้น ๕๐ กรัม ความเค้นกระจายอยู่รอบปลายรากฟันของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ เมื่อขนาดของแรงเพิ่มขึ้นจะปรากฏความเค้นกระจายไปตามพื้นที่รอบรากฟันและบริเวณคอฟันของฟันทุกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่งและซี่ที่สอง และฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและซี่ที่สอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

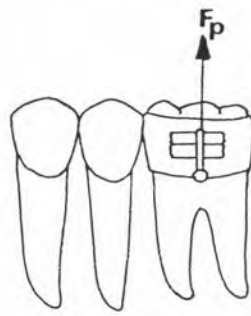
เมื่อแรงเป็น ๕๐ กรัม พบแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ รอบรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยทั้งสองซี่

เมื่อแรงเป็น ๓๔, ๑๐๐ กรัม แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ มีความเข้มลดลงโดยถูกแทนที่ด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑

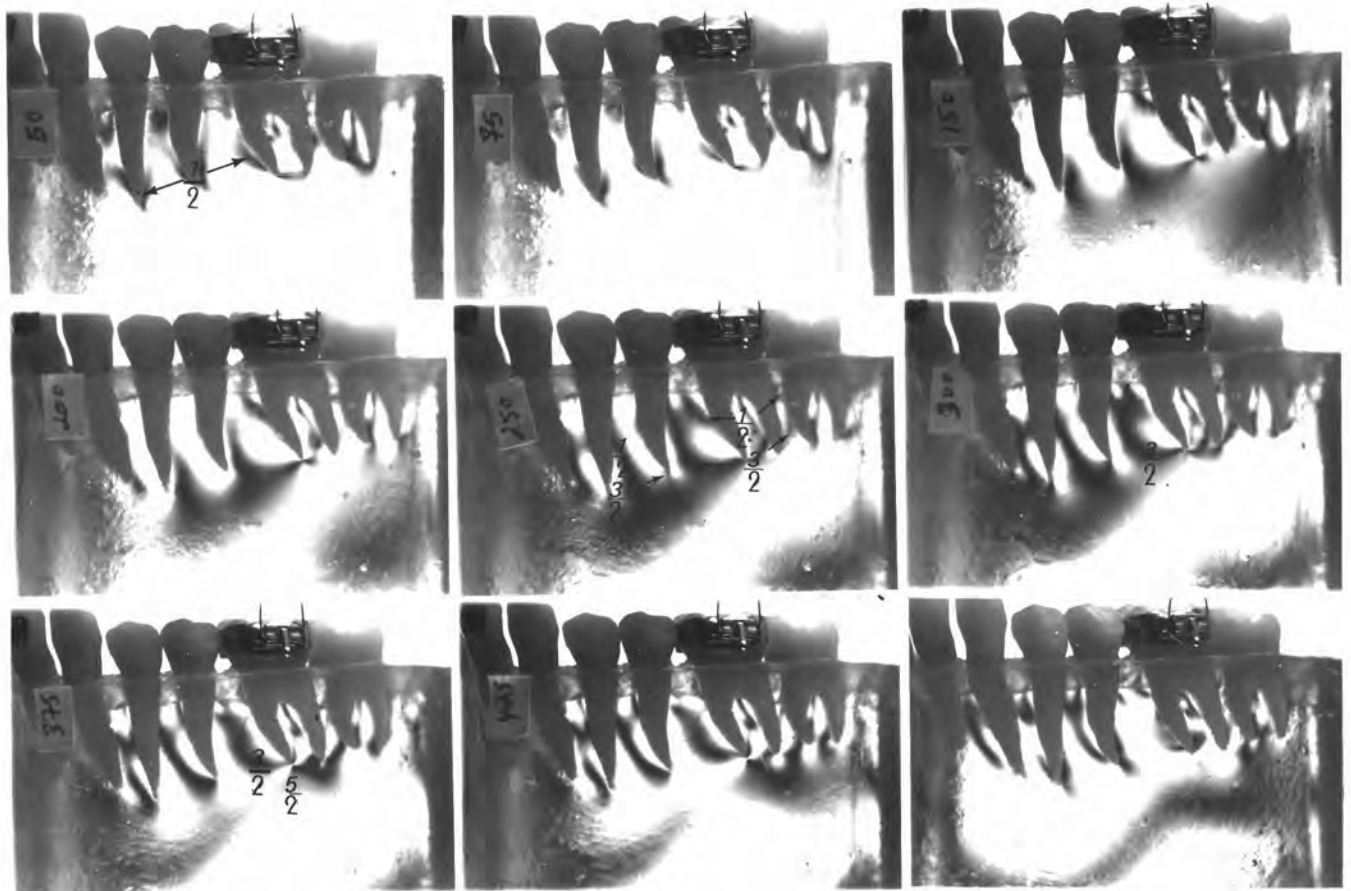
เมื่อขนาดแรง ๑๒๔, ๑๔๐, ๑๓๔, ๒๐๐ และ ๒๒๔ กรัม แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ที่ด้านใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่งกระจายขึ้นสู่บริเวณใกล้คอปันตามความโค้งของรากฟันส่วนนี้ และเริ่มปรากฏแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ที่ส่วนปลายของรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่ง และแถบมิตดังกล่าวกระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้น ตามขนาดแรงที่เพิ่มขึ้น จากรากพืนกรามซี่ที่หนึ่งไปยังพืนกรามน้อยซี่ที่สองในทิศทางใกล้กลางและลงด้านล่าง ทำให้เกิดลักษณะเป็นแถบมิตโค้งจากส่วนปลายของรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่งไปยังระดับประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟันด้านใกล้กลางของพืนกรามน้อยซี่ที่สอง และผสมผสานกับแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ บริเวณด้านใกล้กลางของรากพืนกรามน้อยซี่ที่สอง โดยแถบมิตดังกล่าวกระจายต่อเนื่องเป็นทำนองเดียวกันจากรากพืนกรามน้อยซี่ที่สองไปยังพืนกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและสลับด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๑ และแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ นี้ยังกระจายจากปลายรากใกล้กลางไปยังปลายรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่ง โดยทอดเฉียงระหว่างส่วนปลายสุดของรากใกล้กลางไปยังประมาณ ๑/๔ ของความยาวรากฟันด้านใกล้กลางของปลายรากใกล้กลาง ทางด้านใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่งปรากฏแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ กระจายตัวในแนวระนาบจากปลายรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่หนึ่งไปยังประมาณ ๑/๓ ของด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่สอง โดยยังคงปรากฏแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากพืนกรามซี่ที่หนึ่งและพืนกรามซี่ที่สองประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน

เมื่อแรงเพิ่มขึ้นเป็น ๒๔๐, ๒๓๔, ๓๐๐, ๓๒๔ และ ๓๔๐ กรัม แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ บริเวณใกล้คอปันและแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างรากพืนกรามซี่ที่หนึ่งและพืนกรามน้อยซี่ที่สองกระจายมารวมกันเป็นแถบมิตบริเวณกว้างและแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ระหว่างปลายรากทั้งสองของพืนกราม มีการกระจายลงด้านล่างของแนวจำลองมากขึ้นโดยทอดเฉียงไปรวมกับแถบมิตที่ปลายรากใกล้กลางของพืนกรามซี่ที่สองด้วย ที่ระดับแรงเป็น ๒๔๐ กรัม เริ่มปรากฏแถบมิตลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายรากพืนกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง และกระจายไปตามความโค้งด้านใกล้กลางมากขึ้นจนไปผสมผสานกับแถบมิตลำดับที่ ๑/๒ เดิม ซึ่งโค้งบริเวณใกล้คอปันกรามน้อยซี่ที่สองนี้ โดยรูปแบบการกระจายของแถบมิตในทำนองเดียวกันกับบริเวณพืนกรามซี่ที่หนึ่ง

เมื่อแรงเพิ่มขึ้นอีกเป็น ๓๓๔, ๔๐๐, ๔๖๔, ๔๘๐, ๔๙๔ และ ๕๐๐ กรัม พบว่าการกระจายของแถบมืดและแถบสว่างยังคงเป็นรูปแบบเดิม โดยเมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้นจะเกิดแถบมืดและแถบสว่างลำดับใหม่ขึ้นแทนที่ลำดับแรก ๆ โดยมีทิศทางของการกระจายในลักษณะที่ถ่ายทอดแรงจากฟิสิกส์ที่หนึ่งซึ่งได้รับแรงไปยังฟิสิกส์ข้างเคียงตามลำดับนั่นเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ ๕๘ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๗๕, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)



๑.๔.๒ การกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉากกับแนวแกนพืดหลังที่ห้อยโลหะด้านใกล้แก้มของพืดกรามซี่ที่หนึ่ง

๑.๔.๒.๑ โดยมีทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง การกระจายของความเค้นซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๔๐ กรัมและแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับการกดพืดด้วยริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อพืดหลัง (รูปที่ ๔๙) จากภาพถ่ายที่ปรากฏ พบว่า

เมื่อมีแรงกระทำเริ่มต้น ๔๐ กรัม จะเกิดความเค้นบริเวณปลายรากพืดของพืดหลังทุกซี่ โดยเฉพาะที่ปลายรากพืดกรามซี่ที่หนึ่ง เมื่อขนาดของแรงเพิ่มขึ้น ความเค้นจะกระจายไปตามรากพืดของพืดแต่ละซี่ และไปผสมผสานกันบริเวณระหว่างรากพืดทั้งบริเวณคอฟพืดและปลายรากพืด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

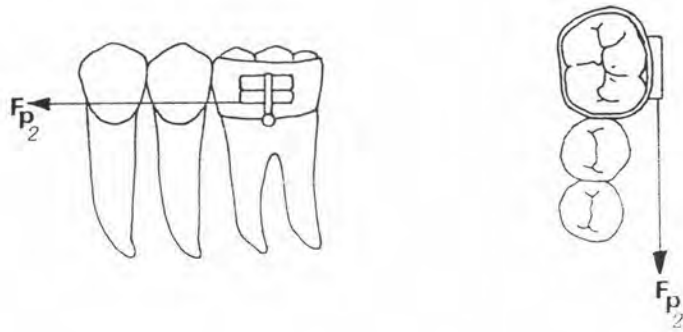
เมื่อมีแรง ๔๐ กรัม ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณรอบรากพืดกรามซี่ที่หนึ่ง ประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากพืด และทางด้านใกล้กลางของพืดกรามน้อยซี่ที่สอง

เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายออกรอบรากพืดมากขึ้น

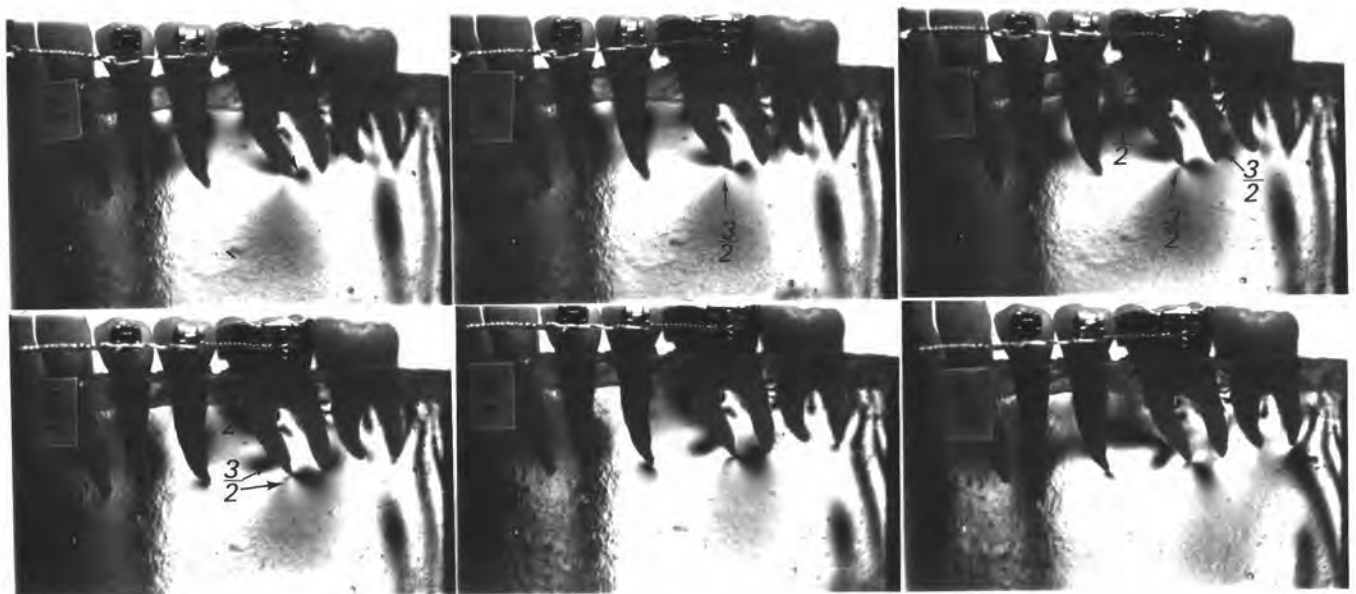
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๔ และ ๑๕๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายจากรอบรากพืดกรามซี่ที่หนึ่งและพืดกรามน้อยซี่ที่สองมาผสมผสานระหว่างรากพืดทั้งสองซี่เป็นบริเวณกว้าง และมีการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางด้านใกล้กลางของพืดกรามซี่ที่หนึ่ง ไปยังบริเวณคอฟพืดมากขึ้น ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ที่บริเวณปลายรากใกล้กลางของพืดกรามซี่ที่หนึ่ง

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๗๔, ๒๐๐, ๒๒๔, ๒๕๐ และ ๒๗๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากพืด มีการกระจายขึ้นสู่บริเวณคอฟพืดมากขึ้นเกิดเป็นแถบมืดเป็นวงโค้งรอบส่วนโค้งด้านใกล้กลางของพืดกรามซี่ที่หนึ่งและเป็นแถบมืดระหว่างปลายรากทั้งสองของพืดกรามซี่ที่หนึ่ง

เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๐๐, ๓๒๔, ๓๕๐, ๓๗๔, ๔๐๐, ๔๒๔, ๔๕๐, ๔๗๔ และ ๕๐๐ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางด้านใกล้กลางของพืดกรามซี่ที่หนึ่งบริเวณคอฟพืด มีการกระจายกว้างขึ้นไปผสมผสานเป็นแถบมืดบริเวณกว้างระหว่างรากพืดกรามซี่ที่หนึ่งและพืดกรามน้อยซี่ที่สอง ส่วนแถบมืดทางด้านใกล้กลางของพืดกรามซี่ที่หนึ่งกระจายขึ้นไปบริเวณคอฟพืดมากขึ้น เกิดเป็นแถบมืดจำนวนมาก



(ก)



(ข)

รูปที่ ๔๘ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งมีทิศทางไปทางด้านใกล้กลางเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts  
 (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๔๐, ๓๔, ๑๒๔, ๑๗๔, ๒๗๔ และ ๔๕๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๔.๒.๒ โดยมีทิศทางไปทางด้านใกล้ลิ้น การกระจายของความเค้นซึ่งปรากฏในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ตั้งแต่ให้แรงกระทำเริ่มแรก ๕๐ กรัม และแต่ละครั้งที่เพิ่มแรง บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในภาพสว่างเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับกราฟคัพด้วยริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ในลักษณะผลของโมเมนต์ที่กระทำต่อฟันหลัง (รูปที่ ๖๐) จากภาพถ่ายที่ปรากฏ พบว่า

เมื่อมีแรงกระทำเริ่มต้น ๕๐ กรัม จะเกิดความเค้นบริเวณปลายรากฟันของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและซี่ที่สอง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง เมื่อขนาดของแรงเพิ่มขึ้นความเค้นจะกระจายไปตามรากฟันของฟันแต่ละซี่ไปยังบริเวณคอฟันและบริเวณรากฟันตลอดจนบริเวณรอยแยกของรากฟัน ทิศทางการกระจายของแถบมืดที่ปรากฏบริเวณคอฟันและบริเวณรากฟันแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

เมื่อมีแรง ๕๐ กรัม พบแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและกระจายไปยังด้านใกล้กลางของรากใกล้กลาง และประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟันและบริเวณรอบปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งประมาณ ๑/๓ ของความยาวราก

เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๔ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจายมารวมกัน ทำให้ความยาวในแนวตั้งของแถบเพิ่มขึ้น และระหว่างรากฟันทั้งสองปรากฏเป็นแถบมืดชัดเจนขึ้นตลอดความยาวรากฟัน แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณรอบรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง มีความเข้มและความยาวในแนวตั้งของแถบมากขึ้น ประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน โดยเริ่มปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ ขึ้นรอบรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งบริเวณที่ติดกับผิวรากฟัน

เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐ และ ๑๗๕ กรัม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายจากปลายรากใกล้กลางไปยังปลายรากใกล้กลางและที่ส่วนแยกของรากฟันทั้งสอง ปรากฏเป็นแถบรูปตัว V ทางด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณปลายรากฟันกระจายออกเป็นสองบริเวณ คือ บริเวณใกล้คอฟันระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สองและบริเวณประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งด้านใกล้กลาง และแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ทางปลายรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลองมากขึ้น ระหว่างรากฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งมีการกระจายผลมผลส่วนกันของแถบมืดลำดับที่ ๑/๓

เป็นบริเวณกว้างเช่นเดียวกัน ทางด้านใกล้กลางของพืกรามน้อยซี่ที่หนึ่งแถบมีดลำดับที่ ๑/๒ กระจายเป็นวงตามส่วนโค้งของรากฟันทางด้านนี้ ประมาณกึ่งกลางรากไปยังกึ่งกลางด้าน ใกล้กลางของฟันเขี้ยว

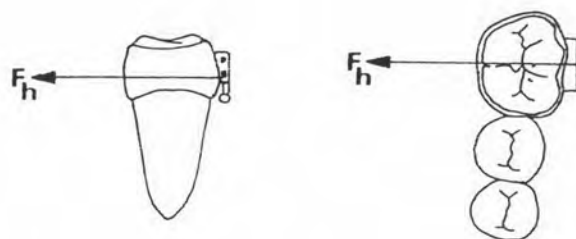
เมื่อเพิ่มแรงเป็น ๒๐๐, ๒๒๔, ๒๔๐ และ ๒๖๔ กรัม เริ่มปรากฏแถบมีดลำดับที่ ๓/๒ ที่บริเวณปลายรากใกล้กลางของพืกรามซี่ที่หนึ่ง กระจายไปผสมผสานกับแถบมีดลำดับที่ ๓/๒ จากปลายรากใกล้กลางของพืกรามซี่ที่หนึ่ง และกระจายไปทางด้านใกล้กลางผสมผสาน กับแถบมีดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณปลายรากพืกรามน้อยซี่ที่สอง ปรากฏเป็นแถบมีดโค้งทางด้าน ล่างของแบบจำลอง ขณะเดียวกันทางด้านใกล้กลางของพืกรามน้อยซี่ที่สองแถบมีดลำดับที่ ๑/๒ กระจายเป็นวงตามส่วนโค้งของรากฟันบริเวณประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน และรวมกับ แถบมีดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายจากด้านใกล้กลางของพืกรามน้อยซี่ที่หนึ่งประมาณ ๑/๒ ของ ความยาวทางปลายราก ระหว่างพืกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและฟันเขี้ยวปรากฏลักษณะของแถบมีด ลำดับที่ ๑/๒ ที่กระจายจากประมาณ ๑/๓ ของความยาวรากพืกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไปยังประมาณ ๑/๓ ของความยาวทางปลายรากและที่ปลายรากของฟันเขี้ยวและบริเวณคอฟันของพืกรามน้อย ซี่ที่หนึ่งไปยัง ๑/๓ ของปลายรากฟันเขี้ยว

ที่ระดับแรงเป็น ๓๐๐ กรัม เริ่มปรากฏแถบมีดลำดับที่ ๔/๒ ที่ปลายรากใกล้กลาง ของพืกรามซี่ที่หนึ่ง

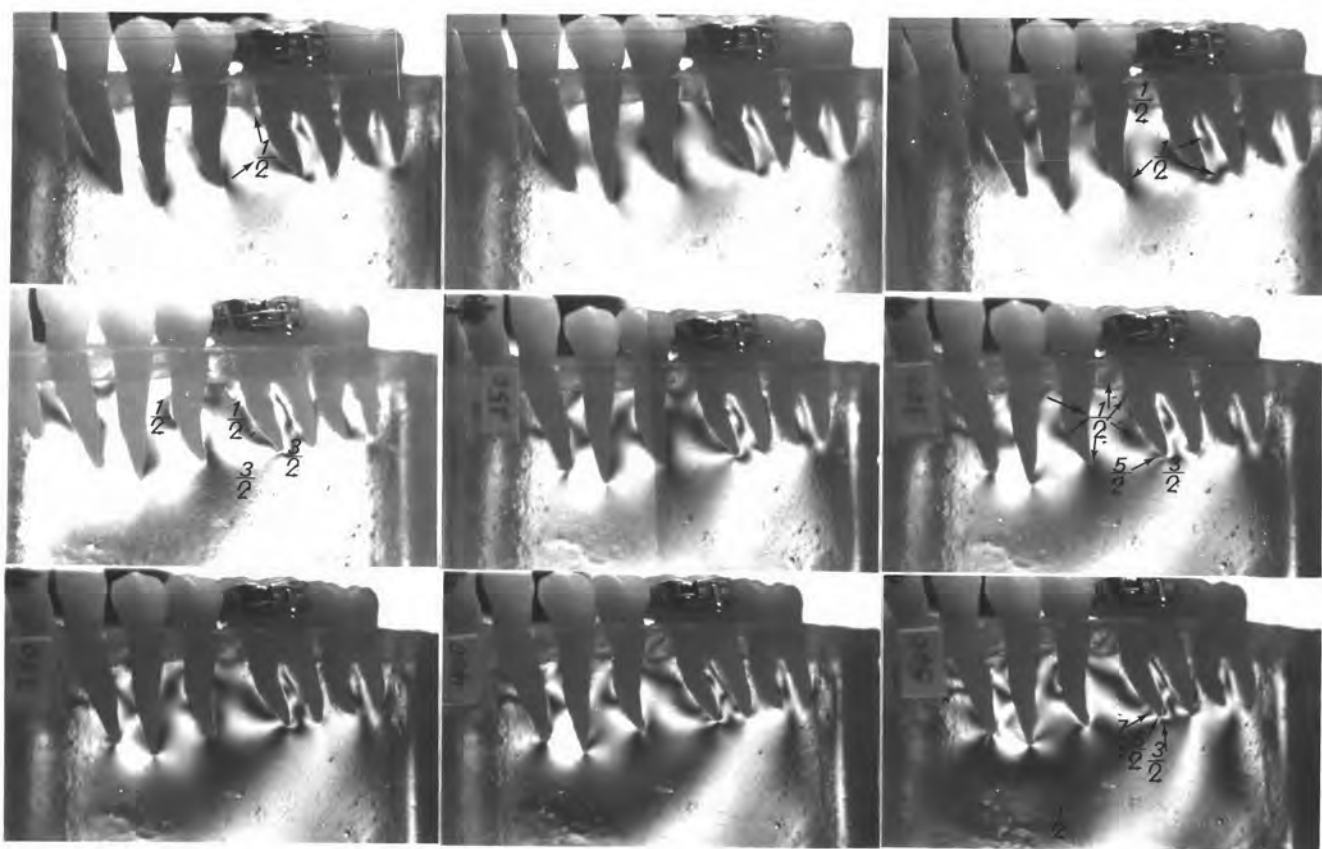
เมื่อแรงเพิ่มเป็น ๓๒๔, ๓๔๐, ๓๖๔ และ ๔๐๐ กรัม แถบมีดลำดับที่ ๔/๒ ที่ปลาย รากใกล้กลางของพืกรามซี่ที่หนึ่งมีการกระจายไปผสมผสานกับแถบมีดลำดับที่ ๑/๒ และ ๓/๒ ระหว่างรากฟันทั้งสองเกิดเป็นแถบมีดหลายแถบ และไปผสมผสานกับแถบมีดลำดับที่ ๓/๒ ทาง ด้านล่างของแบบจำลองไปยังด้านใกล้กลางของพืกรามน้อยซี่ที่สอง ส่วนทางด้านใกล้กลางของ รากพืกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมีดลำดับที่ ๑/๒ กระจายเป็นวงตามความโค้งของรากฟันประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน เมื่อแรงเพิ่มขึ้นแถบมีดมีการกระจายขึ้นไปทางใกล้คอฟันและทางด้านล่าง ของแบบจำลองมากขึ้น จนถูกแทนที่ด้วยแถบสว่างในตำแหน่งของแถบมีดเดิม เช่นเดียวกับแถบมีด ลำดับแรก ๆ แถบมีดลำดับที่ ๓/๒ ที่ปลายรากใกล้กลางของพืกรามซี่ที่หนึ่งมีการกระจายไปผสม ผสานกับแถบมีดที่กระจายมาจากปลายรากใกล้กลาง รวมทั้งไปรวมกับแถบมีดจากปลายราก พืกรามน้อยซี่ที่สองด้วย สำหรับระหว่างพืกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งแถบมีดลำดับที่ ๑/๒

ประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน กระจายเป็นบริเวณกว้างขึ้นตามส่วนโค้งด้านใกล้กลาง ประมาณกึ่งกลางรากฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ส่วนทางด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง แถบมิตลำดับที่ ๑/๒ บริเวณกลางรากฟันด้านนี้กระจายขึ้นไปบริเวณคอฟันมากขึ้น และระหว่าง ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและฟันเขี้ยวการกระจายของแถบมิตค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เกิดเป็นแถบมิตรูป สามเหลี่ยมเชื่อมจาก ๑/๓ ของด้านใกล้กลางของรากฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไปยัง ๑/๓ ของ ความยาวรากฟันเขี้ยว

เมื่อเพิ่มแรงต่อไปอีกเป็น ๔๒๔, ๔๕๐, ๔๗๕ และ ๕๐๐ กรัม ลักษณะการกระจาย ของแถบมิตและแถบสว่างยังคงเป็นรูปแบบเดิม คือ การกระจายเริ่มเกิดที่ฟันกรามซี่ที่หนึ่งก่อน เมื่อแรงเพิ่มขึ้นจึงมีความเข้มของแถบมิตมากขึ้นและถ่ายทอดแรงต่อไปยังฟันข้างเคียงตามลำดับ นั้นเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ ๖๐ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งไปทางด้านใกล้เส้นเสียนแบบเทคนิคของ Ricketts (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๓๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๕๐, ๔๐๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)

๑.๔.๓ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหลัง พบว่า การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งเริ่มปรากฏที่บริเวณปลายรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งมากที่สุด เมื่อแรงเพิ่มขึ้นมีการกระจายของความเค้นไปตามพื้นที่รอบรากฟันและบริเวณคอฟัน และถ่ายทอดไปยังฟันกรามน้อยและฟันกรามซี่ที่สองที่อยู่ข้างเคียง ส่วนการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ พบว่า ความเค้นไม่ได้เกิดเฉพาะที่ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเท่านั้น แต่เกิดที่บริเวณพื้นข้างเคียงซึ่งมิได้รวมในหลักยึดด้วย โดยเริ่มปรากฏครั้งแรกที่ปลายรากฟัน เมื่อแรงเพิ่มขึ้นมีการกระจายของความเค้นแยกเป็น ๒ ทิศทางไปยังบริเวณคอฟันและปลายรากฟัน

๑.๔ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากผลของแรงในแนวตั้งบริเวณพื้นหน้าระหว่าง ๒ เทคนิค พบว่า ลักษณะการกระจายของความเค้นมีรูปแบบการกระจายคล้ายคลึงกันคือ กระจายออกรอย ๆ รากฟันไปในทิศทางที่เป็นระเบียบ ส่วนที่แตกต่างกันคือ ความเข้มของความเค้นบริเวณใกล้จุดออกแรงมีมากกว่าบริเวณอื่น โดยในเทคนิคของ Burstone จุดออกแรงอยู่ที่จุดกึ่งกลางระหว่างฟันตัดซี่กลาง ความเข้มของความเค้นบริเวณฟันตัดซี่กลางมีมากกว่าฟันตัดซี่ข้าง ส่วนจุดออกแรงในเทคนิคของ Ricketts อยู่ที่ด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้าง ความเค้นบริเวณฟันตัดซี่ข้างมีมากกว่า

๑.๖ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบบริเวณพื้นหน้าระหว่าง ๒ เทคนิค พบว่า ลักษณะการกระจายของความเค้นมีรูปแบบการกระจายคล้ายคลึงกันคือ ความเค้นเกิดระหว่างรากฟันประมาณ  $1/3-2/3$  ของความยาวราก และกระจายไปยังบริเวณคอฟันและปลายรากฟันในทิศทางตรงกันข้าม โดยความเข้มของความเค้นบริเวณใกล้จุดออกแรงมีมากกว่าบริเวณอื่น ในเทคนิคของ Burstone ความเข้มของความเค้นบริเวณฟันตัดซี่กลางมีมากกว่าฟันตัดซี่ข้าง และในเทคนิคของ Ricketts ความเค้นบริเวณฟันตัดซี่ข้างมีมากกว่า

๑.๗ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากผลของแรงในแนวตั้ง บริเวณพื้นหลังระหว่าง ๒ เทคนิค รูปแบบการกระจายของความเค้นคล้ายคลึงกัน คือ กระจาย ออกรอบ ๆ ปลายรากฟัน โดยความเค้นบริเวณปลายรากฟันมากที่สุด เมื่อแรงมากขึ้นความเค้น กระจายไปบริเวณคอฟันมากขึ้นโดยมีรูปแบบที่เป็นระเบียบ ความแตกต่างของสองเทคนิค คือ ในเทคนิคของ Burstone ความเค้นมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอไปยังพื้นหลักยึดทุกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ ส่วนในเทคนิคของ Ricketts ความเค้นเกิดที่บริเวณ ฟันกรามซี่ที่หนึ่งสูงมาก และยังมีผลกระทบไปยังฟันซี่อื่นที่อยู่ข้างเคียงด้วย

๑.๘ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนว ราบบริเวณพื้นหลังระหว่าง ๒ เทคนิค

๑.๘.๑ ในทิศทางใกล้กลาง พบว่า การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเทคนิค ของ Burstone ความเค้นเกิดที่บริเวณปลายรากฟันหลักยึดทุกซี่ก่อน และเมื่อแรงมากขึ้น ความเค้นกระจายไปบริเวณคอฟันมากขึ้นโดยมีการกระจายที่พื้นหลังแต่ละซี่อย่างสม่ำเสมอ ส่วนในเทคนิคของ Ricketts ฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับผลของโมเมนต์มากที่สุด โดยเฉพาะที่ บริเวณด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง มีความเข้มของความเค้นสูงที่บริเวณคอฟันและปลาย รากฟัน ทิศทางการกระจายของความเค้นเริ่มจากปลายรากฟันไปยังคอฟันเช่นเดียวกับทิศทาง การกระจายในเทคนิคของ Burstone

๑.๘.๒ ในทิศทางใกล้ลิ้น พบว่า การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในเทคนิค ของ Burstone ความเค้นเกิดที่บริเวณปลายรากฟันหลักยึดทุกซี่ก่อน และเมื่อแรงมากขึ้น ความเค้นกระจายไปบริเวณคอฟันมากขึ้นโดยมีการกระจายที่พื้นหลังแต่ละซี่อย่างสม่ำเสมอ ส่วนในเทคนิคของ Ricketts ฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับผลของโมเมนต์มากที่สุด โดยเฉพาะที่ บริเวณด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง มีความเข้มของความเค้นสูงที่บริเวณคอฟันและปลาย รากฟัน ทิศทางการกระจายของความเค้นเริ่มจากปลายรากฟันไปยังคอฟันเช่นเดียวกัน



๒ การศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากสปริงกดพื้นหน้าล่างในแต่ละเทคนิค  
เมื่อใช้แรงตามที่กำหนดในแต่ละเทคนิค

๒.๑ เมื่อทดสอบแบบจำลองเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการศึกษาการกระจายของความเค้นมาตรฐานแล้ว นำแบบจำลองเดียวกันซึ่งติดอุปกรณ์ตามเทคนิคของ Burstone มาทดสอบด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งผ่านการตรวจสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้าแล้วเท่ากับ ๕๐ กรัม (ตามที่ Burstone กำหนด) และ ๓๔ กรัม (ตามที่ Ricketts กำหนด) ลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมองผ่านเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำและวิเคราะห์การกระจายของความเค้นจากรูปแบบของแถบมืดในภาพสว่าง

เมื่อขนาดแรงกดพื้นหน้าเป็น ๕๐ กรัม (รูปที่ ๖๑) ลักษณะการกระจายของความเค้นที่ปรากฏจากภาพถ่ายโพลาริสโคปดังต่อไปนี้

บริเวณพื้นหน้า

ปรากฏลักษณะของแถบมืดรอบปลายรากฟันหน้าทุกซี่บริเวณด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่กลางด้านขวาและพื้นที่ระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างด้านซ้าย ปรากฏแถบมืดกระจายจากปลายรากฟันขึ้นไปสู่บริเวณคอฟันเป็นระยะทางประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน นับเป็นแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ลักษณะเช่นนี้คล้ายคลึงกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งปรากฏในภาพถ่ายเมื่อมีแรงในแนวตั้งกระทำต่อฟันหน้าทั้งสี่ซี่ ๕๐ กรัม ส่วนพื้นที่ระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างด้านขวาปรากฏเป็นแถบสว่างลำดับที่ ๑ โดยมีแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ เกิดขึ้นทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้างประมาณ ๑/๓ ของความยาวรากฟัน

บริเวณพื้นหลังด้านซ้าย

บริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากใกล้กลางและรากไกลกลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง

ระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายจากรอบรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สองมาผสมผสานเป็นแถบมืดในแนวระนาบสองบริเวณ คือ บริเวณคอฟันและบริเวณปลายรากฟัน

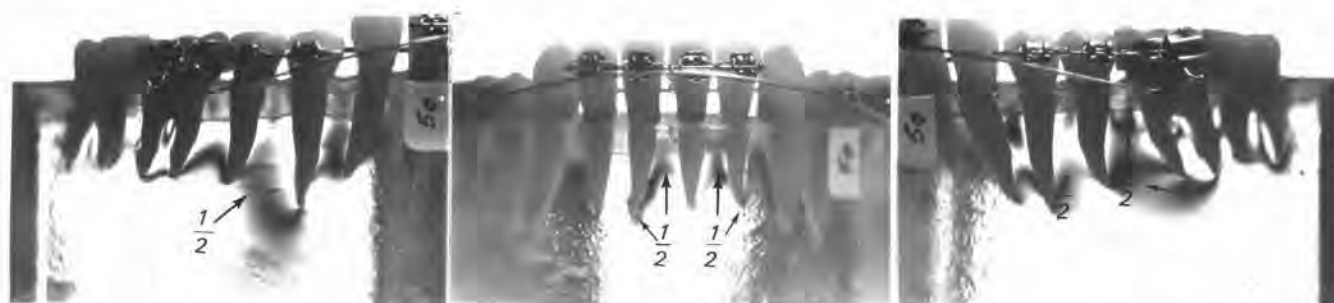
ระหว่างฟืนกรามน้อยซี่ที่สองและฟืนกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากฟันทั้งสองซี่ และปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ กระจายขึ้นแทนที่ในลักษณะเดียวกันกับที่ปรากฏในภาพถ่ายของแบบจำลองอ้างอิง เมื่อให้ขนาดแรง ๔๐ กรัม

บริเวณฟันหลังด้านขวา

บริเวณฟืนกรามซี่ที่หนึ่ง ไม่พบการเปลี่ยนแปลง

ระหว่างฟืนกรามซี่ที่หนึ่งและฟืนกรามน้อยซี่ที่สอง ปรากฏลักษณะของแถบมืดระหว่างปลายรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟืนกรามน้อยซี่ที่สอง

ระหว่างฟืนกรามน้อยซี่ที่สองและฟืนกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ลักษณะของแถบมืดคล้ายคลึงกับด้านซ้าย



รูปที่ ๖๑ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่างซึ่งเกิดจากเซอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๗๐ มม. เส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์ ๓ มม. แรงกดฟัน ๔๐ กรัม

เมื่อขนาดแรงกดฟันหน้าเพิ่มขึ้นเป็น ๓๔ กรัม (รูปที่ ๖๒) ลักษณะการกระจายของความเค้นที่ปรากฏจากภาพถ่ายโพลาไรสโคปดังต่อไปนี้

บริเวณฟันหน้า

แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายขึ้นสู่บริเวณคอฟัน ปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ กระจายแทนที่ตำแหน่งของแถบมืดเดิม แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บางส่วนยังคงเหลืออยู่บริเวณปลายรากฟันและมีทิศทางกระจายลงล่างมากขึ้น โดยเฉพาะที่ปลายรากด้านไกลกลางของฟันตัดซี่กลางด้านขวา

บริเวณฟันหลังด้านซ้าย

บริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ความกว้างและความลึกของแถบมิลล์ลำดับที่ ๑/๒ รอบ รากฟันเพิ่มขึ้นและปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ ซึ่งกระจายในทิศทางเดียวกัน

ระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง แถบมิลล์ลำดับที่ ๑/๒ ทั้งบริเวณ ปลายรากฟันและบริเวณคอฟันมีความกว้างและความลึกเพิ่มขึ้น โดยมีแถบสว่างลำดับที่ ๑ กระจาย เข้าแทนที่ในตำแหน่งเดิมของแถบมิลล์

ระหว่างฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง แถบมิลล์ลำดับที่ ๑/๒ บริเวณ คอฟันปรากฏชัดเจน

บริเวณฟันหลังด้านขวา

การกระจายของความเค้นเหมือนกับเมื่อใช้แรงกดฟันหน้า ๔๐ กรัม โดยความ กว้างและความลึกของแถบมิลล์เพิ่มขึ้น



รูปที่ ๖๖ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่าง ซึ่งเกิดจากเบอร์สโติน อินทรีซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. เส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ ๓ มม. แรงกดฟัน ๓๔ กรัม

๒.๒ หลังจากการทดสอบในข้อ ๒.๑ นำแบบจำลองเดิมมาทำการรีอูปรแกรมในเทคนิคของ Burstone ออก จากนั้นติดอุปกรณ์ในเทคนิคของ Ricketts ทดสอบการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ซึ่งผ่านการตรวจสอบขนาดของแรง ๔๐ กรัม (ตามเทคนิคของ Burstone) และ ๓๔ กรัม (ตามเทคนิคของ Ricketts) การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น บันทึกโดยการถ่ายภาพขาวดำในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป วิเคราะห์การกระจายของความเค้นจากรูปแบบของแถบมืดในภาพสว่าง

เมื่อขนาดแรงเป็น ๔๐ กรัม (รูปที่ ๖๓) ลักษณะการกระจายของความเค้นที่ปรากฏจากภาพถ่ายโพลาริสโคปดังต่อไปนี้

#### บริเวณพื้นหน้า

ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒ และ ๔/๒ ระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสองซี่ บริเวณตั้งแต่ปลายรากขึ้นไปยังคอฟัน ซึ่งรูปแบบและปริมาณของแถบมืดคล้ายคลึงกับแถบมืดในการทดสอบความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ เมื่อขนาดแรงตั้งแต่ ๓๓๔ กรัมขึ้นไป

ระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้างด้านซ้าย ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒ และ ๔/๒ คล้ายคลึงกับแถบมืดที่ปรากฏระหว่างรากฟันตัดซี่กลางทั้งสอง สำหรับทางด้านขวาแถบมืดที่ปรากฏทางด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้างมีจำนวนแถบมาก คือ แถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒, ๔/๒, ๕/๒ และ ๖/๒ ตลอดแนวรากฟัน โดยมีแถบมืดลำดับแรกเกิดก่อนที่ปลายรากฟันขึ้นไปยังคอฟันตามลำดับ

บริเวณด้านใกล้กลางของฟันตัดซี่ข้าง ลักษณะแถบมืดกระจายไปยังด้านใกล้กลางของรากฟัน เชี่ยวคล้ายคลึงกับแถบมืดบริเวณอื่น

#### บริเวณพื้นหลัง

บริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ รอบรากทั้งสองของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง โดยเฉพาะทางด้านใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง

ระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง การกระจายของความเค้นในบริเวณนี้แตกต่างกัน สำหรับฟันทางด้านซ้ายและขวา กล่าวคือ ทางด้านซ้ายปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒ และ ๔/๒ บริเวณคอฟัน และแถบมืดทางด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของ

ฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งกระจายเข้าหาด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ลักษณะเช่นนี้คล้ายคลึงกับแถบมิดในการทดสอบความเค้นมาตรฐาน ที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบเมื่อขนาดแรงตั้งแต่ ๓๐๐ กรัมขึ้นไป (รูปที่ ๕๒) ทางด้านขวาความกว้างและความลึกของแถบมิดบริเวณด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางมีน้อยกว่า

ระหว่างฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ลักษณะของแถบมิดลำดับที่ ๑/๒ รอบรากฟันที่เคยปรากฏในแบบจำลองเมื่อยังไม่ได้ใส่เครื่องมือ ถูกแถบสว่างกระจายเข้าแทนที่ และกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลอง ขณะเดียวกันปรากฏแถบมิดลำดับที่ ๓/๒ บริเวณคอฟันระหว่างฟันกรามน้อยทั้งสองซี่เป็นรูปตัว U

บริเวณด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง มีลักษณะ เช่นเดียวกับกับบริเวณระหว่างรากฟันกรามน้อยทั้งสองซี่



รูปที่ ๖๓ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่าง ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยูลิตี อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓-๓๐ มม. แรงกดฟัน ๕๐ กรัม

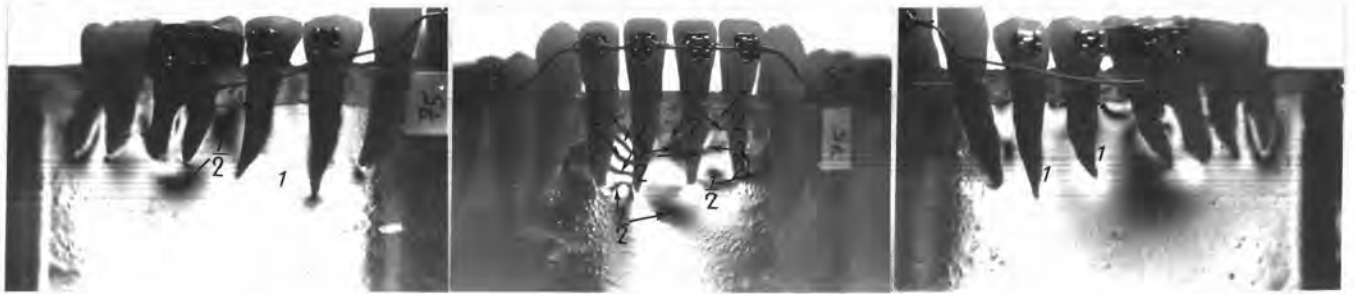
เมื่อขนาดแรงเป็น ๓๕ กรัม (รูปที่ ๖๔) ลักษณะการกระจายของความเค้นที่ปรากฏจากภาพถ่ายโพลาไรสโคปดังต่อไปนี้

บริเวณฟันหน้า

ลักษณะของแถบมิดลำดับต่าง ๆ ที่ปรากฏยังคงเป็นรูปแบบเดียวกับที่พบเมื่อขนาดแรง ๕๐ กรัม

### บริเวณฟันหลัง

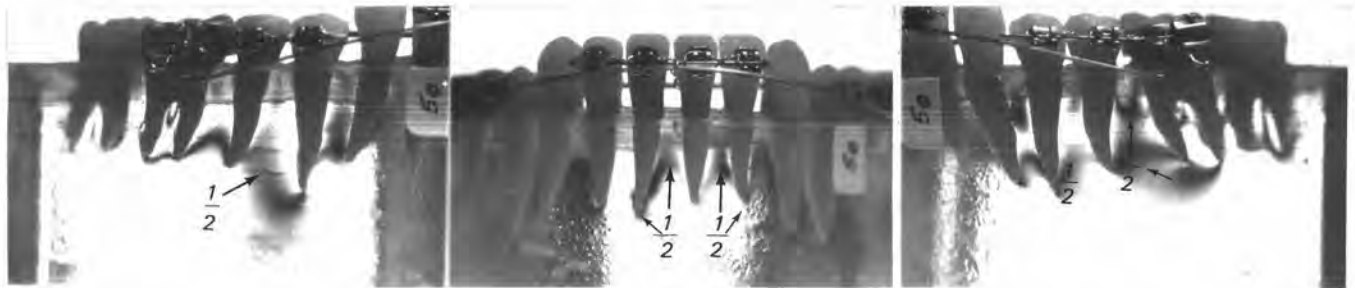
ลักษณะและรูปแบบของแถบมิตลาคับต่าง ๆ ยังคงเป็นรูปแบบเดียวกับที่พบเมื่อขนาดแรง ๕๐ กรัม ยกเว้นบริเวณปลายรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่ง แถบมิตมีการกระจายไปทางด้านใกล้กลางและลงทางด้านล่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



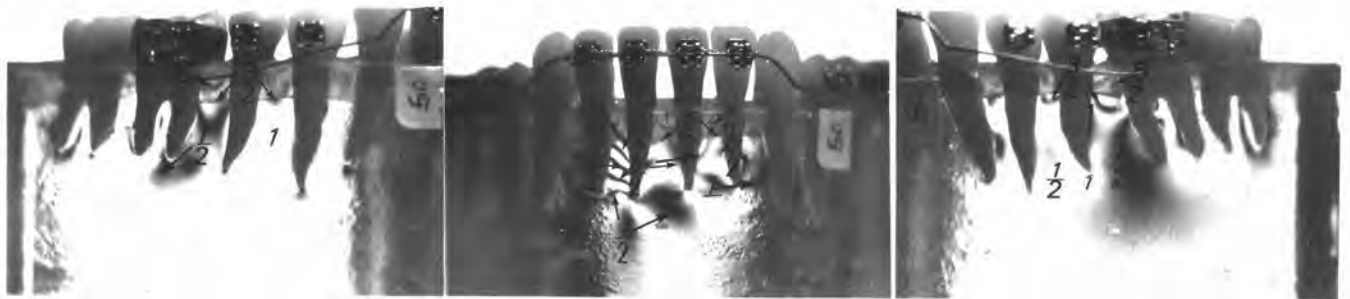
รูปที่ ๖๔ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่าง ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๗-๓๐ มม. แรงกดฟัน ๓๔ กรัม

๓ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากลวดกดฟันหน้าล่างทั้งสองเทคนิค

๓.๑ นำภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบข้อที่ ๒.๑ และ ๒.๒ (รูปที่ ๖๑ และ ๖๓) มาเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง เมื่อขนาดแรง ๕๐ กรัม ตามขนาดแรงในเทคนิคของ Burstone (รูปที่ ๖๔)



ก



ข

รูปที่ ๖๔ แสดงลักษณะการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจาก

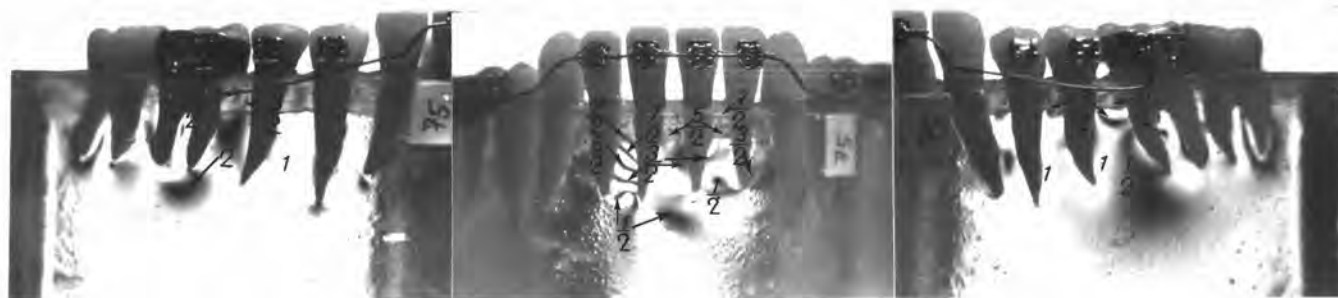
ก เขอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๕๐ กรัม

ข ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๕๐ กรัม

๓.๒ นำภาพถ่ายที่ได้จากการทดสอบข้อที่ ๒.๑ และ ๒.๒ (รูปที่ ๖๒ และ ๖๔) มาเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง เมื่อขนาดแรงเป็น ๓๕ กรัม ตามขนาดแรงในเทคนิคของ Ricketts (รูปที่ ๖๖)



ก



ข

รูปที่ ๖๖ แสดงลักษณะการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจาก

ก เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๓๕ กรัม

ข ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๓๕ กรัม

เมื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และริคเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ดังข้อ ก. และ ข. แล้ว (รูปที่ ๖๕ก-ข และ ๖๖ก-ข) พิจารณาการกดฟันตามเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๔๐ กรัมตามที่ Burstone กำหนด เปรียบเทียบกับการกดฟันตามเทคนิคของ Ricketts ที่ขนาดแรง ๓๕ กรัม ตามที่ Ricketts กำหนด ตามวัตถุประสงค์ข้อที่ ๒ และ ๓ ผลการศึกษานพบว่า

การกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าล่างสี่ซี่จากสองเทคนิคแตกต่างกัน กล่าวคือ ในเทคนิคของ Burstone ลักษณะและทิศทางของการกระจายของแถบมืดที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรง ๔๐ กรัม มีรูปแบบคล้ายคลึงกับลักษณะความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากแรงกดฟัน ๔๐ กรัม กล่าวคือ แถบมืดรอบรากฟันกระจายจากบริเวณปลายรากประมาณ ๒/๓ ของความยาวราก เมื่อขนาดแรง ๓๕ กรัม ปรากฏลักษณะของแถบมืดที่แสดงรูปแบบคล้ายคลึงกับแถบมืดอ้างอิงที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ คือ มีการกระจายของแถบมืดบริเวณคอฟันและบริเวณปลายรากฟัน



สรุปได้ว่า ลักษณะแถบมืดที่เกิดขึ้นเป็นผลร่วมกันจากแรงกดในแนวตั้งและโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ

สำหรับการกระจายของความเค้นจากแถบมืดที่ปรากฏในเทคนิคของ Ricketts พบว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบมากกว่าลักษณะที่เกิดจากแรงในแนวตั้ง และปริมาณของแถบมืดในแต่ละบริเวณของพื้นหน้ามีการกระจายแตกต่างกันมาก ดังปรากฏให้เห็นจากจำนวนแถบมืดระหว่างรากฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างด้านขวา

การกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหลังจากสองเทคนิคแตกต่างกัน กล่าวคือ ในเทคนิคของ Burstone เมื่อมีแรงกดพื้นหน้าจะทำให้พื้นหลังทุกซี่นอกเหนือจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งได้รับผลกระทบไปด้วย กล่าวคือ ความเค้นที่เกิดจากแรงปฏิกิริยานั้นกระจายไปตามปลายรากฟันหลังทุกซี่ ได้แก่ ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ลักษณะและตำแหน่งของแถบมืดที่กระจายอยู่บริเวณปลายรากของฟันแต่ละซี่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งจะปรากฏแถบมืดบริเวณคอฟันทางด้านใกล้กลางร่วมด้วย ลักษณะของแถบมืดที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแถบมืดที่ทดสอบความเค้นมาตรฐาน อนุมานได้ว่า เป็นผลร่วมกันจากแรงกดในแนวตั้งและโมเมนต์ในแนวระนาบ กล่าวคือ ความเค้นที่เกิดจากผลของลวดกดฟันที่บริเวณพื้นหลัง มีการถ่ายเทออกจากฟันกรามซี่ที่หนึ่งซึ่งเป็นจุดกำเนิดแรงไปยังฟันหลังซี่อื่น ๆ ทางลวดยึดพื้นหลัง ซึ่งมัดพื้นหลังทุกซี่รวมไว้เป็นหน่วยเดียวกัน ทำให้มีการกระจายแรงและโมเมนต์ไปที่พื้นหลังทุกซี่

ในเทคนิคของ Ricketts แรงปฏิกิริยาที่เกิดจากลวดกดฟันหน้ามีผลกระทบต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่งแตกต่างกัน โดยแถบมืดปรากฏที่รากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและบริเวณคอฟันด้านใกล้กลางมากกว่าบริเวณอื่น ในขณะที่บริเวณฟันกรามน้อยซี่ที่สองและซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบสว่างบริเวณปลายรากฟันและแถบมืดปรากฏเฉพาะบริเวณคอฟันเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของแถบมืดบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งเท่านั้นที่มีความคล้ายคลึงกับแถบมืดที่ทดสอบความเค้นมาตรฐานที่ระดับแรง ๒๕๐ กรัม ซึ่งเกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบที่ขนาดแรง ๒๕๐ กรัม

(รูปที่ ๖๐)

๓.๓ เปรียบเทียบการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากลวดกดพื้นหน้าล่างแต่ละเทคนิค เมื่อค้ำมุมทึบแบบ เบนต์ เปลี่ยนแปลง

ในการเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากลวดกดพื้นหน้าล่างแต่ละเทคนิค ก่อนนำลวดกดพื้นหน้ามาทดสอบกับแบบจำลองพื้น เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นด้วยเครื่องมือโพลาไรสโคป ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบขนาดของแรงกดพื้นหน้าที่เกิดจากลวดกดพื้นหน้าทั้งสองชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการนำลวดกดพื้นหน้าทั้งสองชนิดไปใช้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียที่ไม่พึงประสงค์ จากการใช้น้ำหนักของแรงที่ไม่เหมาะสม (รายละเอียดศึกษาในภาคผนวก ก) จากผลการวิจัยพบว่า องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดของแรงกดพื้นได้แก่ค้ำมุมทึบแบบ เบนต์ ที่เปลี่ยนแปลงจึงได้ทำการศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการกดพื้นหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ที่ผ่านการตรวจสอบขนาดของแรงกดพื้น ซึ่งเกิดจากลวดกดพื้นถูกปรับค้ำมุมทึบแบบ เบนต์ โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้

๓.๓.๑ นำลวดเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชซึ่งผ่านการตรวจสอบดังภาคผนวก ก มาศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อค้ำมุมทึบแบบ เบนต์เป็น  $0^{\circ}$  ขนาดแรงเฉลี่ย  $๖๒.๒ \pm ๐.๕๑$  กรัม,  $๑๐^{\circ}$  ขนาดแรงเฉลี่ย  $๕๑.๕ \pm ๐.๓๔$  กรัม,  $๒๐^{\circ}$  ขนาดแรงเฉลี่ย  $๑๑๔.๘ \pm ๐.๕๑$  กรัม,  $๓๐^{\circ}$  ขนาดแรงเฉลี่ย  $๑๓๕.๔ \pm ๐.๕๗$  กรัม และ  $๔๐^{\circ}$  ขนาดแรงเฉลี่ย  $๑๔๔.๓ \pm ๐.๑๕$  กรัม ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์จากภาพสว่าง (รูปที่ ๖๓) พบว่า

#### บริเวณพื้นหน้า

เมื่อค้ำมุมเป็น  $0^{\circ}$  ปรากฏลักษณะของแถบมืดรอบรากฟันตัดซี่กลาง โดยเฉพาะที่ฟันตัดซี่กลางด้านขวาประมาณ  $๒/๓$  ของความยาวรากฟันด้านใกล้กลาง ระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างด้านซ้าย ลักษณะของแถบมืดปรากฏรอบรากฟันประมาณ  $๒/๓$  ของความยาวรากฟัน นับเป็นแถบมืดลำดับที่  $๑/๒$  ส่วนระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างด้านขวาปรากฏเป็นแถบสว่าง โดยมีแถบมืดลำดับที่  $๑/๒$  ประมาณ  $๑/๓$  ของความยาวรากฟันด้านใกล้กลาง

เมื่อค้ำมุมเป็น  $๑๐^{\circ}$  แถบมืดลำดับที่  $๑/๒$  รอบรากฟันหน้าแต่ละซี่มีการกระจายออกรอบรากฟันมากขึ้น ทำให้แถบมืดลำดับที่  $๑/๒$  ซึ่งกระจายมาผสมผสานกันระหว่างรากฟันถูกแถบสว่างลำดับที่  $๑$  ซึ่งกระจายตามมาในทิศทางเดียวกันกระจายเข้าแทนที่ คงเหลือเพียงเงาดำเล็ก ๆ

บริเวณคอปัน ส่วนแถบมืดที่กระจายไปทางปลายรากฟันตัดซี่ข้างด้านขวานั้นกระจายเป็นวงกว้างขึ้นรอบปลายรากฟันด้านนี้

เมื่อค่ามุมเป็น  $๒๐^{\circ}$  ระหว่างฟันตัดซี่กลางทั้งสองซี่และระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้าง แถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ถูกแถบสว่างลำดับที่ ๑ ซึ่งกระจายออกรอบรากฟันเช่นเดียวกันกระจายเข้าแทนที่ เริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ขึ้นที่ด้านไกลกลางของรากฟันตัดซี่ข้างด้านซ้ายประมาณ ๑/๒ ของความยาวรากฟัน บริเวณด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างด้านซ้ายไม่พบการเปลี่ยนแปลงของแถบมืดต่างจากเมื่อขนาดมุม  $๑๐^{\circ}$  ส่วนทางด้านขวาแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ กระจายออกรอบรากฟันด้านนี้ไปยังด้านไกลกลางมากขึ้นทำให้เพิ่มความยาวในแนวตั้งของแถบ

เมื่อค่ามุมเป็น  $๓๐^{\circ}$  ระหว่างฟันตัดซี่กลางแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ กระจายออกรอบรากฟันในทิศทางเดียวกับแถบมืดและแถบสว่างลำดับแรก ๆ โดยมีการกระจายของแถบสว่างลำดับที่ ๒ ตามมาในทำนองเดียวกัน ปรากฏเป็นแถบมืดรอบรากฟันคล้ายกับในระยะแรกที่แรงมีขนาดค่าระหว่างฟันตัดซี่กลางและฟันตัดซี่ข้าง ลักษณะการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ และแถบสว่างลำดับที่ ๒ เหมือนกับระหว่างฟันตัดซี่กลาง บริเวณด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างด้านซ้ายเริ่มปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ขึ้น ส่วนแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างด้านขวากระจายออกรอบรากฟันด้านนี้มากขึ้น

เมื่อค่ามุมเป็น  $๔๐^{\circ}$  แถบมืดลำดับที่ ๓/๒ ซึ่งกระจายมาผสมผสานกันระหว่างรากฟันตัดซี่กลาง และระหว่างฟันตัดซี่กลางและซี่ข้างกระจายเข้าหากันมากขึ้น และหักล้างกันในลักษณะเดียวกับแถบมืดและแถบสว่างลำดับแรก ๆ แล้วถูกแทนที่ด้วยแถบสว่างลำดับที่ ๒ เช่นเดิม ส่วนบริเวณด้านไกลกลางของฟันตัดซี่ข้างด้านซ้ายและด้านขวา แถบมืดกระจายออกรอบรากฟันด้านนี้มากขึ้น

#### บริเวณฟันหลัง

เมื่อค่ามุมเป็น  $๐^{\circ}$  ปรากฏลักษณะของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ รอบปลายรากและบริเวณคอปันของฟันกรามซี่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ระหว่างฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง มีการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ จากรากฟันทั้งสองซี่เข้าหากันในบริเวณระหว่างรากทั้งสองและปรากฏแถบสว่างลำดับที่ ๑ ในบริเวณที่อยู่ติดกับปลายรากสำหรับบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งด้านขวาไม่พบการเปลี่ยนแปลง ส่วนระหว่างรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและรากฟันกรามน้อย

ซึ่ที่สอง ปรากฏลักษณะของแถบมืดในแนวระนาบระหว่างปลายรากฟันกรามซึ่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซึ่ที่สอง ซึ่งเกิดจากการผสมผสานของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายออกรอบรากฟันทั้งสองซึ่ ระหว่างรากฟันกรามน้อยซึ่ที่สองและรากฟันกรามน้อยซึ่ที่หนึ่ง ลักษณะของแถบมืดคล้ายคลึงกับด้านซ้าย

เมื่อค่ามุมเป็น  $๑๐^{\circ}$  บริเวณฟันกรามซึ่ที่หนึ่งด้านซ้ายแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณปลายรากกระจายลงทางด้านล่างมากขึ้น โดยไปผสมผสานกับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ระหว่างรากฟันกรามซึ่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซึ่ที่สองต่อเนื่องไปถึงฟันกรามน้อยซึ่ที่หนึ่งตามลำดับ สำหรับแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ บริเวณคอฟันที่ผสมผสานระหว่างรากฟันกรามซึ่ที่หนึ่งและฟันกรามน้อยซึ่ที่สองและระหว่างรากฟันกรามน้อยทั้งสองซึ่มีการกระจายสูงขึ้น สำหรับบริเวณฟันหลังด้านขวาแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายออกรอบรากฟันหลังแต่ละซึ่กระจายมาผสมผสานกันเป็นแถบมืดเดียวกัน และมีการกระจายของแถบสว่างตามมาในทิศทางการเคลื่อนที่เดียวกัน เข้าแทนที่ตำแหน่งแถบมืดเดิมเป็นบริเวณกว้างขึ้น

เมื่อค่ามุมเป็น  $๒๐^{\circ}$  บริเวณฟันหลังด้านซ้ายแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ที่กระจายเชื่อมโยงกันด้านล่างของแบบจำลองได้ปลายรากฟันมีการกระจายลงสู่ด้านล่างมากขึ้นเป็นแถบมืดบริเวณกว้างได้ปลายรากฟันแต่ละซึ่ ส่วนแถบมืดบริเวณใกล้คอฟันกระจายเป็นวงโค้งจากด้านใกล้กลางของฟันหลังซึ่หนึ่งไปยังด้านใกล้กลางของฟันหลังอีกซึ่หนึ่ง สำหรับทางด้านขวาการกระจายของแถบมืดและแถบสว่างเป็นรูปแบบเดิม ทำให้แถบมืดระหว่างรากฟันหลังด้านนี้ถูกแถบสว่างกระจายเข้าแทนที่เป็นบริเวณกว้าง

เมื่อค่ามุมเป็น  $๓๐^{\circ}$  และ  $๔๐^{\circ}$  รูปแบบการกระจายของแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ และแถบสว่างลำดับที่ ๑ ยังคงมีการกระจายในทิศทางเดิม ทำให้บริเวณรากฟันหลังแต่ละซึ่ถูกแถบสว่างลำดับที่ ๑ กระจายเข้าแทนที่ เป็นบริเวณกว้างและแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งเคยผสมผสานกันระหว่างรากฟันกระจายลงสู่ด้านล่างของแบบจำลองมากขึ้น ทำนองเดียวกันแถบมืดลำดับที่ ๑/๒ ซึ่งกระจายขึ้นสู่ด้านบนของแบบจำลองเข้าใกล้คอฟันมีการกระจายสูงขึ้น

โดยสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมทึปแบค เบนต์ ทำให้การกระจายของความเค้นเปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ เมื่อมุมทึปแบค เบนต์ เป็น  $๐^{\circ}$  ความเค้นกระจายรอบปลายรากฟันหน้าประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟัน เมื่อค่ามุมมากขึ้น ความเค้นกระจาย

ชั้นลุ่มบริเวณคอฟันมากขึ้น สำหรับบริเวณพื้นหลัง เมื่อค่ามุมที่ปแบค เบนต์ เป็น ๐° มีความเค้นกระจายอยู่ที่บริเวณรอบปลายรากฟันหลักยึดทุกซ้อย่างสม่ำเสมอ และเมื่อค่ามุมที่ปแบค เบนต์มากขึ้น ความเค้นกระจายแยกเป็น ๒ ทิศทาง คือ ชั้นลุ่มบริเวณคอฟัน และลงลุ่มบริเวณปลายรากฟัน โดยลักษณะการกระจายอย่างสม่ำเสมอบริเวณพื้นหลังทุกซ



รูปที่ ๖๓ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่างซึ่งเกิดจากเบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๗.๗๐ มม. เส้นผ่าศูนย์กลางของอีลิคซ์ ๓ มม. ขนาดของมุมที่ปลายเบค เบนด์ เท่ากับ  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $๒๐^{\circ}$ ,  $๓๐^{\circ}$  และ  $๔๐^{\circ}$  ตามลำดับ

๒ นำลวดตริกเก็ตส์ ยุกิติติ อารซ์ซึ่งผ่านการทดสอบดังภาคผนวก ก มาศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น เมื่อค่ามุมโมลาร์ เบงค์เป็น  $10^{\circ}$  ค่าแรงเฉื่อย  $๖๔.๑ \pm ๑.๔๒$  กรัม,  $๒0^{\circ}$  ค่าแรงเฉื่อย  $๓๘.๗ \pm ๑.๒๔$  กรัม, และ  $๓0^{\circ}$  ค่าแรงเฉื่อย  $๕๒.๕ \pm ๒.๔๑$  กรัม เมื่อวิเคราะห์จากภาพสว่าง (รูปที่ ๖๘) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### บริเวณพื้นหน้า

เมื่อค่ามุมเป็น  $10^{\circ}$  ระหว่างพื้นตัดซี่กกลางด้านซ้ายและขวาและระหว่างพื้นตัดซี่กกลางและพื้นตัดซี่ข้างซ้ายปรากฏแถบมืด ๒ บริเวณ คือ บริเวณคอฟันประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟันและบริเวณระหว่างปลายรากฟัน ซึ่งรูปแบบและปริมาณของแถบมืดคล้ายคลึงกับแถบมืดในการทดสอบความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบเมื่อขนาดแรงตั้งแต่  $๓๐๐$  กรัม (รูปที่ ๔๔) สำหรับทางด้านขวา ระหว่างพื้นตัดซี่กกลางและพื้นตัดซี่ข้าง ปรากฏแถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒, ๔/๒, ๕/๒ และ ๕/๒ ตลอดแนวรากฟัน บริเวณด้านไกลกลางของพื้นตัดซี่ข้าง ลักษณะแถบมืดแนวระนาบกระจายไปยังด้านไกลกลางของรากฟัน เขี้ยวคล้ายคลึงกับแถบมืดบริเวณอื่น

เมื่อค่ามุมเป็น  $๒0^{\circ}$  และ  $๓0^{\circ}$  แถบมืดบริเวณคอฟันระหว่างรากฟันหน้าแต่ละซี่ซึ่งกระจายอยู่ประมาณ ๒/๓ ของความยาวรากฟันส่วนบน มีการกระจายขึ้นสู่ด้านบนของแบบจำลองมากขึ้น แถบสว่างบริเวณด้านไกลกลางของพื้นตัดซี่กกลางกระจายออกจากรอบรากฟันเข้าหาตำแหน่งของแถบมืดเดิม แถบมืดบริเวณปลายรากฟันมีการกระจายลงสู่ด้านล่างได้ปลายรากฟันมากขึ้นและแถบสว่างกระจายเข้าแทนที่เป็นบริเวณกว้างขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้เมื่อค่ามุมเป็น  $๓0^{\circ}$  (ขนาดแรง  $๕๒.๕ \pm ๑.๒๔$  กรัม) แถบสว่างระหว่างรากฟันตัดซี่กกลางและระหว่างรากฟันตัดซี่กกลางและซี่ข้างด้านซ้ายมีบริเวณกว้างขึ้นเล็กน้อย

#### บริเวณพื้นหลัง

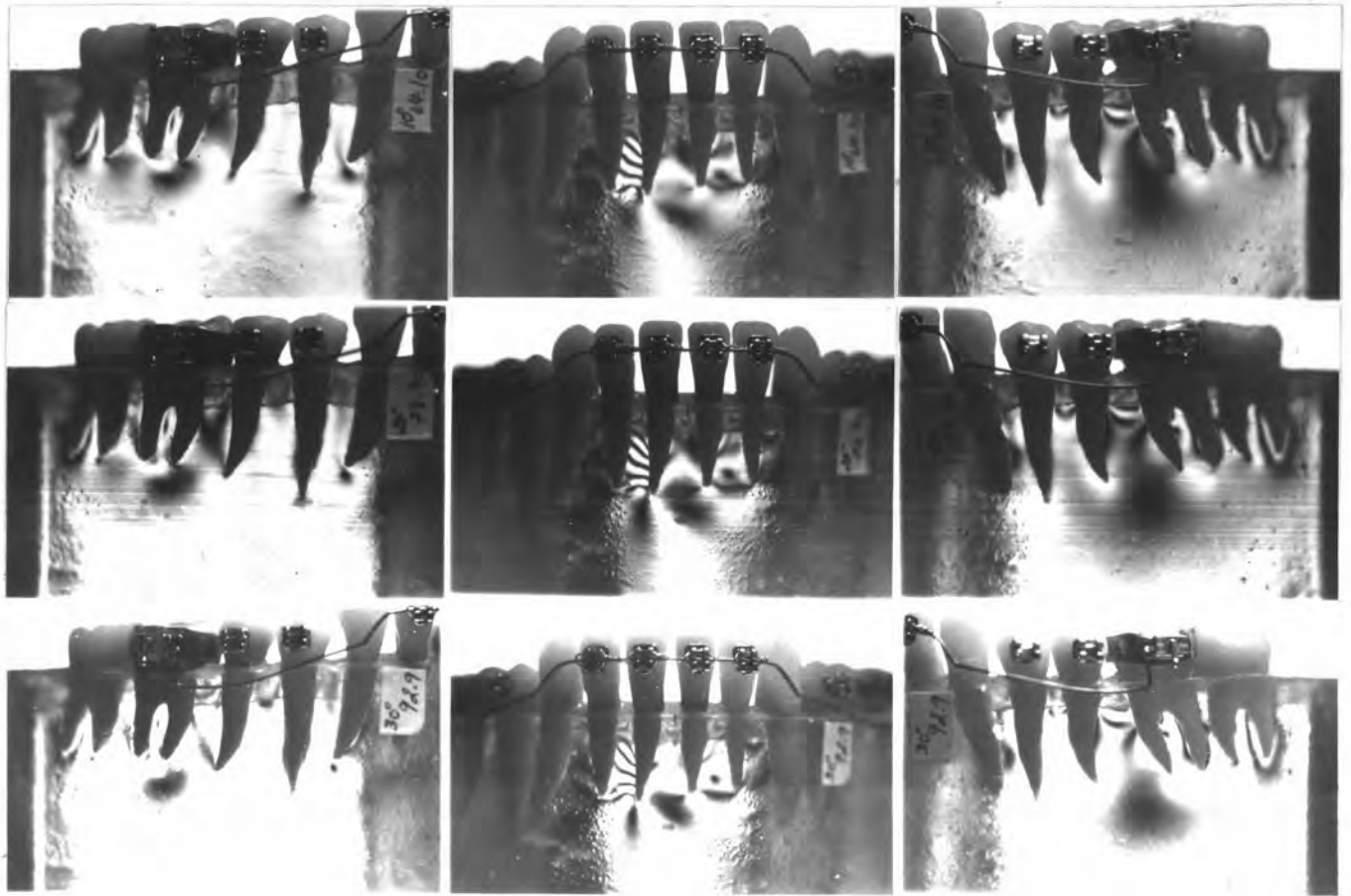
เมื่อค่ามุมเป็น  $10^{\circ}$  บริเวณพื้นกรามซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบมืดรอบรากไกลกลางของพื้นกรามซี่ที่หนึ่ง บริเวณใกล้ส่วนแยกของรากฟันกรามซี่ที่หนึ่งและที่ด้านไกลกลางของรากไกลกลางระหว่างพื้นกรามซี่ที่หนึ่งและพื้นกรามน้อยซี่ที่สองด้านซ้าย นับเป็นแถบมืดลำดับที่ ๑/๒, ๓/๒ และ ๔/๒ บริเวณคอฟัน ลักษณะดังกล่าวคล้ายคลึงกับแถบมืดในการทดสอบความเค้นมาตรฐานที่เกิดจาก

โมเมนต์ในแนวระนาบเมื่อขนาดแรงตั้งแต่ ๓๐๐ กรัม (รูปที่ ๖๐) รอบรากฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ปรากฏแถบสว่างและแถบมืดรูปตัว U บริเวณคอฟัน

เมื่อค่ามุมเป็น  $๒๐^{\circ}$  และ  $๓๐^{\circ}$  ตามลำดับ รูปแบบและทิศทางในการกระจายของ แถบมืดและแถบสว่างไม่เปลี่ยนแปลง โดยมีการกระจายออกจากด้านใกล้กลางของฟันกราม ซี่ที่หนึ่งไปทางด้านใกล้กลางและลงทางด้านล่างได้ปลายรากฟันมากขึ้น ตามด้วยการกระจาย ของแถบสว่างซึ่งแทนที่ตำแหน่งเดิมของแถบมืด ทำให้เมื่อค่ามุมเป็น  $๓๐^{\circ}$  ปรากฏเป็นแถบสว่าง แทนที่แถบมืดเป็นบริเวณกว้าง

โดยสรุปผลของของการเปลี่ยนแปลงค่ามุมทึบแบค เบนต์ต่อการกระจายของความเค้น กล่าวคือ เมื่อมุมทึบแบค เบนต์ เป็น  $๐^{\circ}$  มีการกระจายของความเค้นบริเวณรอบรากฟันหน้า ตลอดความยาวของรากฟัน บริเวณฟันตัดซี่ข้างมีความเข้มของความเค้นสูงมากกว่าบริเวณฟันตัด ซี่กลาง โดยเฉพาะฟันตัดซี่ข้างด้านขวา เมื่อค่ามุมมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเพียง เล็กน้อยสำหรับบริเวณฟันหลัง เมื่อค่ามุมทึบแบค เบนต์ เป็น  $๑๐^{\circ}$  มีการกระจายของความเค้น เกิดขึ้นไม่แต่เฉพาะที่ฟันกรามซี่ที่หนึ่งเท่านั้น ฟันซี่อื่นได้รับผลกระทบจากลวดกดฟันด้วย ความเข้มของความเค้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณด้านใกล้กลางของ ฟันกรามซี่ที่หนึ่งและเมื่อค่ามุมทึบแบค เบนต์ มากขึ้น ความเค้นกระจายขึ้นสู่บริเวณคอฟัน และ บริเวณปลายรากฟันมากขึ้น โดยมีรูปแบบการกระจายของความเค้นในลักษณะเดิม





รูปที่ ๖๘ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหน้าและฟันหลังในภาพสว่าง  
ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓-๓๐ มม.  
มุมที่ปรับแบค เบนค์ เท่ากับ  $๑๐^{\circ}$ ,  $๒๐^{\circ}$  และ  $๓๐^{\circ}$  ตามลำดับ