

การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายของความเค็มจากการกดพื้นน้ำล่างด้วย
เบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ช และริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช
โดยวิธีโฟโตออสติก

นางสาว รัชดาภรณ์ ศรีमानนท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-675-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019189

117318311

A COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTION DUE TO MANDIBULAR INCISOR
INTRUSION BETWEEN BURSTONE INTRUSIVE ARCH AND RICKETTS UTILITY ARCH
BY PHOTOELASTIC TECHNIQUE

Miss Rachadaporn Srimanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Orthodontics

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-675-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายของความเค็มจากการกดพื้นหน้าล่าง
 ด้วยเบอร์สโตน อินทรีซีฟ อาร์ชและริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช
 โดยวิธีโฟโตอิลาสติก

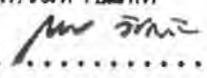
โดย นางสาว รัชดาภรณ์ ศรีमानนท์

ภาควิชา ทักษะกรรมจัดฟัน

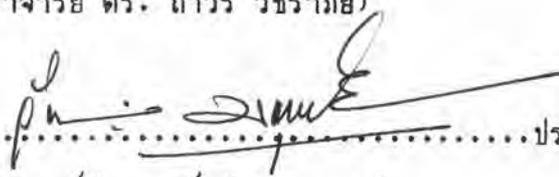
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ

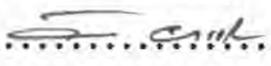
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

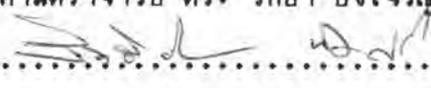
.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

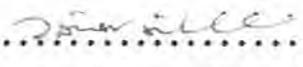
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

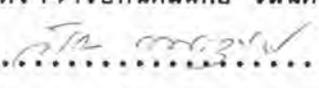
.....  ประธานกรรมการ
 (ศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัฒนธ มธราลัย)

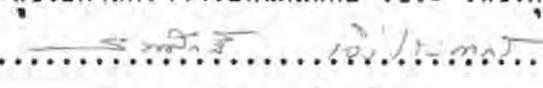
.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
 (รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร)

.....  กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

.....  กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์นายแพทย์ ทันตแพทย์ สิทธิชัย ทัดศรี)

.....  กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัฒนต์ ตันติวิภาวิน)

.....  กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัชร เพชรคุปต์)

.....  กรรมการ
 (อาจารย์ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจ็ิงประภากร)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์ : การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นจากการกดฟันหน้า
ล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และ ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช โดยวิธีโฟโตอีลาสติก (A COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTION DUE TO MANDIBULAR INCISOR INTRUSION BETWEEN INTRUSIVE ARCH AND RICKETTS UTILITY ARCH BY PHOTOELASTIC TECHNIQUE)

ฉ.ที่ปรึกษา : รศ.พญ.สมรศรี วิถีพร, 184หน้า. ISBN 974-581-675-2

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อศึกษาการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากการกดฟันหน้าล่างด้วย
กลไก 2 ประเภท : เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และ ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช และเปรียบเทียบความ
แตกต่างของรูปแบบความเค้นซึ่งเกิดจากกลไกทั้งสอง

การทดลองกระทำในแบบจำลองฟันซึ่งจำลองลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกรล่างที่มี
ลักษณะเคิร์ฟ ออฟ สปี ชัน ฟันหน้าทั้งสี่ซี่ถูกกดด้วย 0.018" x 0.022" เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช
และ 0.016" x 0.016" ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง
ดังกล่าวข้างต้น ศึกษาโดยวิธีโฟโตอีลาสติก

ผลการวิจัยสรุปดังต่อไปนี้

1 การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากกดฟันหน้าแต่ละชนิดตามขนาดของแรงที่แนะนำให้ใช้
(50 กรัม สำหรับเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และ 75 กรัม สำหรับริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช) ปรากฏดังนี้

1.1 เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ทำให้เกิดความเค้นรอบปลายรากฟันหน้าทุกซี่ ความเค้น
กระจายจากปลายรากฟันขึ้นไปสู่บริเวณคอฟันเป็นระยะทางประมาณ 1/3-2/3 ของความยาวรากฟัน ใน
บริเวณฟันหลัง ความเค้นกระจายสู่บริเวณปลายรากของฟันหลังทุกซี่ และพื้นที่ระหว่างรากฟัน ความแปร-
ปรวนของการกระจายของความเค้นบริเวณฟันหลังด้านซ้ายและขวา พบได้บริเวณคอฟันระหว่างฟันกรามซี่ที่
หนึ่งและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง

1.2 ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ทำให้เกิดการกระจายของความเค้นไม่สม่ำเสมอ ความเค้นมาก
ที่สุด พบได้บริเวณด้านใกล้กลางของฟันคุดซี่ข้างขวา ส่วนในบริเวณอื่นๆ พบความเค้นกระจายระหว่างปลาย
รากฟันหน้าทั้งสามซี่ และบริเวณคอฟันพบความเค้นกระจายประมาณ 2/3 ของความยาวรากฟันเมื่อวัดจาก
ระดับคอฟันมาทางด้านล่าง ในบริเวณฟันหลัง การกระจายของความเค้นมีความแปรปรวน กล่าวคือ ทาง
ด้านซ้าย พบความเค้นบริเวณคอฟัน และทางด้านใกล้กลางของรากใกล้กลางของฟันกรามซี่ที่หนึ่งกระจาย
เข้าหาด้านใกล้กลางของฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ทางด้านขวา ความเค้นกระจายจากปลายรากของฟันกราม
ไปจนถึงฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและบริเวณคอฟันระหว่างฟันกรามน้อยทั้งสองซี่

2 การกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจากกดฟันหน้าล่างทั้งสองเทคนิคแตกต่างกันทั้งบริเวณ
ฟันหน้าและฟันหลัง แม้ในขนาดแรงเท่ากัน กล่าวคือ

บริเวณฟันหน้า เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งกดฟันด้วยแรง 50 กรัม ทำให้เกิดความเค้น
รอบรากประมาณ 2/3 ของความยาวรากฟันและกระจายขึ้นสู่บริเวณคอฟัน เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น จะเกิด
ความเค้นสองบริเวณ คือ บริเวณรอบปลายรากฟันและบริเวณคอฟัน ในขณะที่ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ซึ่งกด
ฟันหน้าด้วยแรงขนาดเดียวกัน ทำให้เกิดความเค้นบริเวณปลายรากและบริเวณคอฟัน เมื่อขนาดแรงเพิ่มขึ้น
ความเค้นค่อนข้างคงเดิม

บริเวณฟันหลัง เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ทำให้เกิดความเค้นกระจายรอบปลายรากของ
ฟันหลังทุกซี่ ในขณะที่ริคเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช มีผลต่อฟันกรามซี่ที่หนึ่งมากที่สุด

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##C265042 : ORTHODONTICS

KEY WORD : STRESS DISTRIBUTION/BURSTONE INTRUSIVE ARCH/RICKETTS UTILITY ARCH/
PHOTOELASTICITY

RACHADAPORN SRIMANON : A COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTION DUE TO MANDIBULAR INCISOR INTRUSION BETWEEN BURSTONE INTRUSIVE ARCH AND RICKETTS UTILITY ARCH BY PHOTOELASTIC TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SMORNTREE VITEPORN, 184 PP. ISBN 974-581-675-2

The objectives of the study were to scrutinize stress distribution following the intrusion of mandibular incisors by 2 mechanics : Burstone intrusive arch, Ricketts utility arch ; and to compare the different of stress pattern created by the 2 mechanics.

The experiment was undertaken on a birefringent model which represented the mandibular arch with excessive curve of spee. The four incisors were intruded by 0.018" x 0.022" Burstone intrusive arch and 0.016" x 0.016" Ricketts utility arch, respectively. The stress distribution in the aforementioned model was evaluated by the Photoelastic technique.

The results were as follows :

1 With the appropriate force magnitude as recommended by each technique (50 gram forces for Burstone intrusive arch, 75 gram forces for Ricketts utility arch) :

1.1 Burstone intrusive arch created the stress which distributed around the apices of the four incisors and extended upward around 1/3-2/3 of the root length. At the posterior teeth the stress distributed around the apices of all the posterior teeth and at the interradicular areas. Variations of the stress distribution at the left and right posterior teeth could be found at the cervical area between the first molar and the second premolar.

1.2 Ricketts utility arch created nonhomogeneous stress distribution. Maximum stress could be found at the mesial aspect of the right lateral incisor. At the other areas the stress distributed around the apex of the other three incisors. At the cervical area of these teeth the stress was also found around 2/3 of the root length. At the posterior teeth the distribution of stress was varied. At the left side the stress was found at the cervical area, and the mesial aspect of the first molar. This stress extended toward the distal surface of the second premolar. On the right side the stress extended not only from the apical area of the first molar to the first premolar but also from the cervical area between the two bicuspids.

2 At the same force magnitude the two mechanics created the different stress pattern in both anterior and posterior teeth.

At the anterior teeth, Burstone intrusive arch with 50 gram forces created the stress around 2/3 of the incisal root. When the force was increased the stress distributed into two directions : cervical and radicular areas. Meanwhile Ricketts utility arch with the same force magnitude created the stress at both radicular and cervical areas. When the force was increased the stress pattern was rather the same.

At the posterior teeth Burstone intrusive arch produced the stress which distributed around the apex of all the posterior teeth meanwhile Ricketts utility arch produced major effect on the first molar.

ภาควิชา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือทางด้านวิชาการจากรองศาสตราจารย์
ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ศาสตราจารย์ทันตแพทย์
วัฒน์ มธุราลัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ทางด้านการรวบรวมข้อมูลและการจัดเตรียมเครื่องมือเพื่อการทดลอง ผู้วิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเจ้าหน้าที่
ที่เกี่ยวข้องของภาควิชา บริษัทยูนิเทคและบริษัทออร์มิก สหรัฐอเมริกาสำหรับความอนุเคราะห์
ในการบริจาควัสดุและอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณทันตแพทย์ไชยรัตน์
เฉลิมรัตน์โรจน์ สำหรับความช่วยเหลือด้านการรวบรวมข้อมูลและการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณทันตแพทย์หญิง จุฑามาศ ไชยวรรณ ทันตแพทย์หญิง ภัสราภรณ์ สุนทรสัง
และนายวรรณ ศรีมานนท์ในความช่วยเหลือด้านการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร สำหรับความกรุณา
ด้านรูปและสไลด์ประกอบวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายแพทย์ สุวัฒน์ คุสกุล สำหรับการสนับสนุนด้านทุนวิจัย และให้กำลังใจ
ผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการสนับสนุนด้านทุน
อุดหนุนการวิจัยบางส่วน

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจ
แก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ไม่สามารถกล่าวนามได้หมด
ประโยชน์ที่พึงได้รับจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ฅ
สารบัญตารางประกอบ	ฎ
สารบัญรูปประกอบ	ฏ
บทที่	
๑. บทนำ	๑
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	๑
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	๓
ประโยชน์ของการวิจัย	๔
สมมติฐานของการวิจัย	๔
ขอบเขตของการวิจัย	๔
ข้อตกลงเบื้องต้น	๔
ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย	๖
คำจำกัดความ	๗
๒. วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง	๑๓
หลักการพื้นฐานของการกดฟันหน้า	๑๓
หลักการกดฟันหน้าด้วยเช็กแมนเต็ด อินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค	๑๔
ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในอินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค	๑๔
หลักสำคัญในการกดฟันหน้าด้วยอินทรูซีฟ อาร์ช เทคนิค ๖ ประการ	๑๗
หลักการกดฟันหน้าด้วยริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช เทคนิค	๓๐
ส่วนประกอบของริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช ล่าง	๓๐
บทบาทและหน้าที่ของริกเก็ตส์ ยุกิลิตี อาร์ช ล่าง	๓๑

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
๑ แสดงขนาดของแรงกดพื้นที่ Burstone แนะนำให้ใช้	๑๓
๒ แสดงขนาดของแรงที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันชนิดต่าง ๆ	๑๔
๓ แสดงขนาดของแรง (F) ที่เกิดจากลวดเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช เมื่อกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของฮิลิกซ์เป็น ๓ และ ๔ มม. ตามลำดับ แขนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนค์ เป็น ๐°	๑๔๘
๔ แสดงขนาดของแรง (F) ที่เกิดจากลวดเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของฮิลิกซ์เป็น ๓ มม. แขนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนค์ เป็น ๐°, ๑๐°, ๒๐°, ๓๐° และ ๔๐° ตามลำดับ ...	๑๔๙
๕ แสดงขนาดของแรง (F) ที่เกิดจากลวดริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ซึ่งมี แขนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม. และค่ามุมทึบแบค เบนค์ เป็น ๐°, ๑๐°, ๒๐°, ๓๐° และ ๔๐° ตามลำดับ	๑๖๑
๖ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณก่อนเริ่มทำการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพมืด	๑๗๔
๗ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณก่อนเริ่มทำการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพสว่าง	๑๗๖
๘ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณหลังทำการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพมืด	๑๗๘
๙ แสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดและการคำนวณหลังทำการทดลอง ในการจัดเครื่องมือแบบภาพสว่าง	๑๗๙
๑๐ แสดงค่าแอฟ แวลยู ของสารก่อนและหลังทำการทดลอง	๑๘๑

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
๑	๑๔
๒	๑๔
๓	๑๖
๔	๒๐
๕	๒๑
๖	๒๓
๗	๒๔
๘	๒๖
๙	๒๖
๑๐	๒๗
๑๑	๒๗
๑๒	๒๘
๑๓	๒๘
๑๔	๓๑

- ๑๔ แสดงผลของการตั้งพื่นกรามซี่ที่หนึ่งล่าง
- a คือ ลักษณะทึบแบบค เบนต์ ต่อพื่นกราม
- b คือ จุดศูนย์กลางความต้านทานของพื่นกราม
- c คือ ระยะทางที่รากฟันด้านใกล้กลางเคลื่อนตัวมาทางด้านหน้า
จากผลของทึบแบบค เบนต์
- d คือ ระยะทางที่ตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านใกล้กลาง ทำให้ได้ความยาว
ของโค้งขากรรไกรเพิ่มขึ้น ๓๓
- ๑๖ แสดงลักษณะการตัดกรีกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ในส่วนพื่นกราม ๓๖
- ๑๗ แสดงแขนของลวดกรีกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ซึ่งเคลื่อนที่เป็นรัศมีของวงกลม
ตามลักษณะของแรงกดพื่นหน้าล่าง
- A คือ จุดศูนย์กลางการหมุน
- B คือ ลักษณะหน้าตัดของลวดทางด้านหน้าแสดงทอร์คเป็น 0°
ขนานกับแนวแกนของพื่นหน้าล่างซึ่งตั้งตรง
- C คือ ลักษณะของทอร์คซึ่งเปลี่ยนแปลงตามการกดพื่น
มีผลทำให้พื่นหน้าล่างเอียงตัวฟันไปทางด้านหน้า ๓๗
- ๑๘ (A) แสดงส่วนโค้งตามแนวการกดพื่นทางด้านหน้าซึ่งเกือบขนานกับแนวแกน
พื่นหน้าทำให้ผลการกดพื่นมีประสิทธิภาพกว่า (B)
- (C) คือ ส่วนโค้งเดียวกันกระทำต่อพื่นหน้าทีเอียงตัวไปทางด้านใกล้ริมฝีปาก
จะทำให้เกิดการเอียงของพื่นมากขึ้น (D) ๓๘
- ๑๙ แสดงผลของทอร์คในแอนทีเรีย เซ็กชัน กระทำต่อพื่นหน้าล่าง ๓๘
- ๒๐ แสดงการวัดขนาดของแรงกดพื่นหน้าล่างซึ่งเกิดจากลวดกรีกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ๓๙
- ๒๑ แสดงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ในการกดพื่นหน้าล่างในลิงแต่ละตัว
(๑) ลิงตัวที่ ๑ (๒) ลิงตัวที่ ๒ (๓) ลิงตัวที่ ๓ และ (๔) ลิงตัวที่ ๔ ๔๐
- ๒๒ แสดงผลของการกดพื่นหน้าล่างในลิงทั้งสี่ตัวตามลำดับจากการช้อนทับ
ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างก่อนและหลังการกดพื่น ๔๒
- ๒๓ แสดงความแตกต่างของโมเมนต์ที่กระทำต่อพื่นหลักยึดซึ่งเกิดจาก
การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความต้านทานของหลักยึด ๔๓

๒๔	แสดงจุดและค่าที่ใช้วัดในภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง	๔๖
๒๕	แสดงลักษณะของเครื่องมือจัดฟันที่ใช้	๔๗
๒๖	แสดงลักษณะการยึดฟิล์มในการศึกษานี้เพื่อให้สามารถถ่ายภาพรังสี โดยใช้เทคนิคขนาน	๔๘
๒๗	แสดงการซ้อนทับภาพวาดซึ่งขยายจากภาพรังสีปลายรากฟัน ๘ เท่า	๔๙
๒๘	แสดงภาพรังสีปลายรากฟันของฟันหน้า ๓ ซี่ ก่อนการกดฟัน (ก, ข และ ค) และฟันซี่เดียวกันหลังการกดฟัน (ง, จ และ ฉ)	๕๐
๒๙	แสดงภาพจำลองของลักษณะกรวยที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ของกระดูกเข้าฟัน ที่ยึดรากฟัน	๕๑
๓๐	แสดงภาพรังสีแสดงลักษณะฟันซึ่งถูกกดในผู้ป่วยแต่ละราย	๕๒
๓๑	รูปแบบของความเค้นภายในแบบจำลองฟันซึ่งได้รับแรงกระทำในบริเวณต่าง ๆ วิเคราะห์โดยวิธีโฟโตอีลาสติก	๕๖
๓๒	แบบจำลองสารไบรฟรินเจนท์รูปทรงสองมิติ	๕๘
๓๓	แบบจำลองสารไบรฟรินเจนท์รูปทรงสามมิติ	๕๙
๓๔	แสดงแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่ไปตาม ระนาบของโพลาไรเซชัน	๖๐
๓๕	แสดงแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม	๖๑
๓๖	แสดงการจัดเครื่องมือเซอร์คิวลาร์ โพลาริสโคป	๖๓
๓๗	แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคปแบบระนาบเดียวโดยวางโพลาไรเซอร์ ตั้งฉากซึ่งกันและกันให้ภาพมืด	๖๓
๓๘	แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคปแบบระนาบเดียวโดยวางโพลาไรเซอร์ ขนานกันให้ภาพสว่าง	๖๔
๓๙	แสดงภาพถ่ายโฟโตอีลาสติกซึ่งเกิดจากการให้แรงกระทำต่อฟันซี่ยาว ในแบบจำลอง	
	ก แรงกดซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดูกเข้าฟันโดยไม่ผ่านแนวแกนฟัน	
	ข แรงกดซึ่งมีทิศทางผ่านแนวแกนฟัน	๖๖

๔๐	แสดงภาพถ่ายโฟโตอิลลาสติกซึ่งเกิดจากการให้แรงกระทำต่อพื้กราม ในแบบจำลอง	
	ก แรงกดซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับยอดกระดุกเข้าพื้โดยไม่ว่านแนวแกนพื้	
	ข แรงกดซึ่งมีทิศทางผ่านแนวแกนพื้	๖๗
๔๑	แสดงเครื่องมือไล์ฟองอากาศระบบสูญญากาศ	๗๑
๔๒	แสดงเตาอบชนิดเซอร์คูเลติง ออท แอร์	๗๑
๔๓	แสดงลักษณะของแบบจำลองพื้ซึ่งนำมาใช้ในการทดลอง	๗๓
๔๔	แสดงภาพถ่ายโฟโตอิลลาสติกในการทดลองแบบภาพสว่างของ แบบจำลองพื้เมื่อยังไม่ไล์เครื่องมือ	๗๓
๔๕	แสดงลักษณะของแบบจำลองซึ่งติดเครื่องมือตามเทคนิคของ Burstone	๗๔
๔๖	แสดงลักษณะของแบบจำลองซึ่งติดเครื่องมือตามเทคนิคของ Ricketts	๗๔
๔๗	แสดงเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป ที่ใช้ในการทดลอง	๗๕
๔๘	แสดงเครื่องมือเฉพาะกิจที่ใช้ในการตรวจสอบขนาดแรง	๘๐
๔๙	แสดงดีจิมาทิก เวอร์เนียร์ แคลิเปอร์	๘๑
๕๐	แสดงไดอะแกรมของระบบแรงที่เกิดจากลวดกดพื้กระทำ ต่อพื้หน้าและพื้หลัง	๘๓
๕๑	(ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึด พื้หน้าล่างทั้งสี่ที่เลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๕๐, ๔๒๕ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)	๘๕
๕๒	(ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึด พื้หน้าล่างทั้งสี่ที่เลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๒๕, ๒๐๐, ๒๗๕, ๓๗๕, ๔๒๕, ๕๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข)	๘๖

- ๔๓ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อพื้นหลังเลียนแบบเทคนิคของ
Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น
๕๐, ๓๕, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ
(การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๕๗
- ๔๔ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อพื้นหลังไปทางด้านใกล้กลาง
เลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น
เมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๓๕, ๒๒๕, ๓๐๐, ๔๐๐ และ ๔๗๕ กรัม ตามลำดับ
(การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๐๐
- ๔๕ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อพื้นหลังไปทางด้านใกล้ลิ้น
เลียนแบบเทคนิคของ Burstone (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่
เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๓๕, ๑๕๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๕๐, ๔๐๐,
๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ
ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๐๔
- ๔๖ (ก) แสดงทิศทางของแรงที่กระทำในแนวตั้งต่อพื้นหน้าลิ้นที่ด้านใกล้กลางของ
ลวดยึดพื้นหน้าล่างเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts (ข) แสดงการกระจาย
ของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๓๕, ๒๕๐, ๓๗๕, ๔๕๐ และ
๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ
ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๐๗
- ๔๗ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อด้านใกล้กลางของ
ฟันตัดซี่ข้างไปทางด้านใกล้ลิ้นเลียนแบบเทคนิคของ Ricketts
(ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐,
๓๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๓๐๐, ๓๕๐, ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ
(การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๑๐
- ๔๘ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อพื้นกรามซี่ที่หนึ่งเลียนแบบเทคนิค
ของ Ricketts (ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรง
เป็น ๕๐, ๓๕, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๕๐๐ กรัม
ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๑๔

- ๕๘ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อพื้นกรามซี่ที่หนึ่งมีทิศทาง
ไปทางด้านใกล้กลางเส้นแบบเทคนิคของ Ricketts
(ข) แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕,
๑๒๕, ๑๗๕, ๒๒๕ และ ๔๕๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้น
ที่ระดับแรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๑๖
- ๖๐ (ก) แสดงทิศทางของแรงในแนวระนาบที่กระทำต่อพื้นกรามซี่ที่หนึ่งไปทาง
ด้านใกล้เส้นเส้นแบบเทคนิคของ Ricketts (ข) แสดงการกระจายของ
ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดแรงเป็น ๕๐, ๗๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐,
๓๕๐, ๔๐๐ และ ๕๐๐ กรัม ตามลำดับ (การกระจายของความเค้นที่ระดับ
แรงอื่น ๆ ศึกษาจากภาคผนวก ข) ๑๒๐
- ๖๑ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่างซึ่ง
เกิดจากเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ ๓ มม. แรงกดฟัน ๕๐ กรัม ๑๒๔
- ๖๒ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่าง
ซึ่งเกิดจากเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
เส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ ๓ มม. แรงกดฟัน ๗๕ กรัม ๑๒๕
- ๖๓ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่าง
ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
แรงกดฟัน ๕๐ กรัม ๑๒๗
- ๖๔ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่าง
ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
แรงกดฟัน ๗๕ กรัม ๑๒๘
- ๖๕ แสดงลักษณะการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจาก
 - ก เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๕๐ กรัม
 - ข ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช ขนาดของแรงกดฟันหน้าล่าง ๕๐ กรัม ๑๒๙

- ๖๖ แสดงลักษณะการกระจายของความเค้นซึ่งเกิดจาก
 ก เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ขนาดของแรงกดพื้นหน้าล่าง ๓๔ กรัม
 ข ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ขนาดของแรงกดพื้นหน้าล่าง ๓๔ กรัม ๑๓๐
- ๖๗ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่างซึ่ง
 เกิดจากเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
 เส้นผ่าศูนย์กลางของฮิลิกซ์ ๓ มม. ขนาดของมุมทึบแบค เบนด์ เท่ากับ
 0° , ๑๐° , ๒๐° , ๓๐° และ ๔๐° ตามลำดับ ๑๓๖
- ๖๘ แสดงการกระจายของความเค้นบริเวณพื้นหน้าและพื้นหลังในภาพสว่าง
 ซึ่งเกิดจากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ชที่มีแกนของสปริงยาว ๓๓.๓๐ มม.
 มุมทึบแบค เบนด์ เท่ากับ ๑๐° , ๒๐° และ ๓๐° ตามลำดับ ๑๓๙
- ๖๙ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมทึบแบค เบนด์ และแรงกดพื้นที่เกิดขึ้นจาก
 เบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช ๑๖๐
- ๗๐ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมทึบแบค เบนด์ และแรงกดพื้นที่เกิดขึ้น
 จากริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช ๑๖๐
- ๗๑ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการให้แรงในแนวตั้งกระทำต่อ
 จุดกึ่งกลางของลวดยึดพื้นหน้าล่างทั้งสี่ซี่ เลียนแบบเทคนิคของ Burstone
 ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๓๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๓๕, ๔๐๐, ๔๕๐ และ
 ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๑ ๑๖๓
- ๗๒ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบตั้งฉาก
 กับแนวแกนพื้นหน้ากระทำต่อจุดกึ่งกลางของลวดยึดพื้นหน้าล่างทั้งสี่ซี่มีทิศทางไป
 ทางด้านใกล้ลิ้น เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๕๐, ๑๗๕,
 ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๔๐๐ และ ๔๗๕ กรัม
 โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๒ ๑๖๔
- ๗๓ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากแรงดึงขึ้นในแนวตั้งกระทำต่อพื้นหลัง
 เลียนแบบเทคนิคของ Burstone ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๒๒๕, ๒๗๕,
 ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๓ . ๑๖๕

- ๓๔ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบต่อ
 ผนังหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง เส้นแบบเทคนิคของ Burstone
 ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕,
 ๔๒๕, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๔ ๑๖๖
- ๓๕ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบต่อ
 ผนังหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้เส้น ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๒๕,
 ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๕ . ๑๖๗
- ๓๖ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกดในแนวตั้งกระทำต่อ
 ด้านใกล้กลางของลวดยึดผนังหน้าล่าง ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๕๐, ๑๗๕,
 ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕, ๔๒๕ และ ๔๗๕ กรัม
 โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๖ ๑๖๘
- ๓๗ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ
 ที่ด้านใกล้กลางของลวดยึดผนังหน้ามีทิศทางของแรงไปทางด้านใกล้เส้น
 ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๗๕, ๒๐๐, ๒๕๐, ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕ และ
 ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๗ ๑๖๙
- ๓๘ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการให้แรงดึงขึ้นในแนวตั้ง
 ต่อผนังหลังไปทางด้านใกล้แก้ม ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๕๐, ๒๐๐, ๒๒๕, ๒๗๕,
 ๓๒๕, ๓๕๐, ๔๐๐, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๕๘ . ๑๗๐
- ๓๙ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบ
 ต่อผนังหลัง มีทิศทางไปทางด้านใกล้กลาง ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๕๐, ๒๐๐,
 ๒๒๕, ๒๕๐, ๓๐๐, ๓๒๕, ๓๕๐, ๓๗๕ และ ๔๐๐ กรัม โดยใช้ระบบแรง
 เดียวกับรูปที่ ๕๙ ๑๗๑
- ๔๐ แสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดจากโมเมนต์ของแรงในแนวระนาบต่อ
 ผนังหลังมีทิศทางไปทางด้านใกล้เส้น ที่ขนาดแรง ๑๐๐, ๑๒๕, ๑๗๕, ๒๐๐,
 ๒๗๕, ๓๒๕, ๓๗๕, ๔๒๕, ๔๕๐ และ ๔๗๕ กรัม
 โดยใช้ระบบแรงเดียวกับรูปที่ ๖๐ ๑๗๒

- ๘๑ แสดงแบบจำลองเมื่อได้รับแรงดึงในเครื่องมือเซอร์คิวลาร์ โพลาริสโคป ๑๓๔
- ๘๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพมืด
กับแรงดึง P ก่อนการทดลอง ๑๓๗
- ๘๓ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างใน
ภาพสว่างกับแรงดึง P ก่อนการทดลอง ๑๓๗
- ๘๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพมืด
กับแรงดึง P หลังการทดลอง ๑๔๐
- ๘๕ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่ของแถบมืดและแถบสว่างในภาพสว่าง
กับแรงดึง P หลังการทดลอง ๑๔๐
- ๘๖ แสดงลักษณะของเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช
A คือ ภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของลวดกคพื้นส่วนหน้า
B คือ ภาพตัดขวางบริเวณพื้นกรามของลวดกคพื้นด้านซ้าย
C คือ ภาพตัดขวางบริเวณด้านหน้าต่อฮิลิกซ์ของลวดกคพื้นด้านซ้าย ๑๔๒
- ๘๗ แสดงลักษณะของริกเก็ตส์ ยูทิลิตี้ อาร์ช
A คือ ภาพตัดขวางบริเวณกึ่งกลางของแอนทีเรีย เช็กชั้น
B คือ ภาพตัดขวางบริเวณโมลาร์ เช็กชั้น ของลวดกคพื้นด้านซ้าย
C คือ ภาพตัดขวางบริเวณบัคคอล บริดจ์ ของลวดกคพื้นด้านซ้าย ๑๔๓