

การกระจายความเค้นภายหลังการดึงพื้นหน้าด้วยเครื่องมือเอตจไวส์ทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น



นาง วลีรัษฎ์ บุญโสธรสถิตย์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0007-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING ANTERIOR RETRACTION WITH
EDGEWISE LABIAL AND LINGUAL APPLIANCES

MS. Waleerach Boonsotornstit



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Orthodontics

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0007-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกระจายความเค้นภายหลังการดึงพื้นหน้าด้วยเครื่องมือเอกซ์ไวส์ ทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น
โดย	นาง วลีรัษฎ์ บุญโสธรสถิตย์
สาขาวิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม (ถ้ามี)	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัชรระ เพชรคุปต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัฒนนะ มธุราลัย)

วลีรักษ์ บุญโสธรสถิตย์ : การกระจายความเค้นภายหลังการดึงฟันหน้าด้วยเครื่องมือเอเดจ์ไวส์
ทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น. (STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING
ANTERIOR RETRACTION WITH EDGEWISE LABIAL AND LINGUAL APPLIANCES)
อ.ที่ปรึกษา: ศ.ทพญ. สมรตรี วิถีพร , อ.ที่ปรึกษาร่วม: ผศ.ดร. วิรัตน์ จอมขวา ; 91 หน้า
ISBN 974-17-0007-5

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า
และฟันกรามซี่ที่หนึ่งในขากรรไกรบน จากการดึงฟันหน้า ด้วยลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ช ร่วมกับ
เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากและทางด้านใกล้ลิ้น

กลุ่มตัวอย่างเป็นลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้าน
ใกล้ริมฝีปาก และลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น
การกระจายความเค้นศึกษาโดยวิธีโฟโตอีลาสติกกึ่งสามมิติ ในแบบจำลองฟันของขากรรไกรบน
ซึ่งถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไป ประกอบด้วยฟันตัดซี่กลาง ฟันตัดซี่ข้าง ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่
สอง ทั้งซ้ายและขวา ฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามแท้ซี่ที่สองข้างขวา

ผลการวิจัยสรุปว่า เมื่อใช้แรงดึงฟันหน้าขนาดเท่ากัน เครื่องมือจัดฟันทั้งสองชนิดทำให้เกิด
เกิดการกระจายความเค้นแตกต่างกัน บริเวณฟันหน้าเครื่องมือเอเดจ์ไวส์ทางด้านใกล้ริมฝีปากทำ
ให้เกิดแรงดึงที่ชัดเจนมากกว่าเครื่องมือเอเดจ์ไวส์ทางด้านใกล้ลิ้น และทำให้ฟันหน้าเคลื่อนที่เกือบ
เป็นแบบอติลีส ในขณะที่เครื่องมือเอเดจ์ไวส์ทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทึบปึงโดย
ตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านใกล้กลางและรากฟันเคลื่อนไปทางด้านใกล้กลาง และไม่พบแรงดึงที่
ชัดเจน ลักษณะดังกล่าวเริ่มปรากฏเมื่อให้แรงดึงฟันตั้งแต่ 100 กรัม เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น
ทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้ฟันหน้าเคลื่อนที่แบบทึบปึงไปทางด้านใกล้กลาง รวมทั้งเกิดแรงดึงที่
ชัดเจน ส่วนเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นทำให้ฟันหน้าเคลื่อนที่แบบทึบปึง

บริเวณฟันกรามพบว่า เครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้เกิดการกระจายความ
เค้นได้ไม่ดีเท่าเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้น โดยทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทึบปึงของตัวฟันไป
ทางด้านใกล้กลางและรากฟันไปทางด้านใกล้กลาง และมีแรงกดในแนวตั้ง ในขณะที่เครื่องมือจัด
ฟันทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ฟันที่เข้าใกล้ความเป็นบอดิลีสมากกว่า และไม่พบแรงกดใน
แนวตั้งที่ชัดเจน การเคลื่อนที่แบบทึบปึงด้วยเครื่องมือทั้งสองเกิดขึ้นตั้งแต่ที่ขนาดแรง 100 กรัม

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออนิสิต
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4276120532 : MAJOR ORTHODONTICS

KEYWORD : EDGEWISE LABIAL APPLIANCE / EDGEWISE LINGUAL

APPLIANCE / STRESS PATTERN / PHOTOELASTIC TECHNIC / ANTERIOR
RETRACTION

WALEERACH BOONSOTORNSTIT : STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING
ANTERIOR RETRACTION WITH EDGEWISE LABIAL AND LINGUAL

APPLIANCES.THESIS ADVISOR : PROF. SMORNTREE VITEPORN, THESIS

COADVISOR : ASST.PROF. VIRAT CHOMKWAH,Ph.D. 91 pp.

ISBN. 974-17-0007-5

The purpose of this study was to compare stress distributions at the root surfaces of maxillary anterior and first molar teeth from anterior retraction force applied by T-loop contraction archwire with edgewise labial and lingual appliances.

The samples composed of T-loop contraction archwire used with edgewise labial appliances and T-loop contraction archwire used with edgewise lingual appliances. Stress distributions produced by the two appliances were studied by quasi 3-D photoelastic technic on a birefringent model of maxillary arch where the first premolars were extracted. The model composed of central incisors, lateral incisors, canines, second premolars, first molar and second molar .

The result indicated that at the same retraction force levels, the two appliances created different patterns of stress distributions. At the anterior teeth, edgewise labial appliances produced almost bodily tooth movement with extrusion. Meanwhile, lingual appliances caused tipping movement - distal crown tipping and mesial root tipping – without remarkable extrusion force. These phenomena appeared at 100 gram force level and over.

At first molar, labial appliances produced less favorable result with mesial crown tipping , distal root tipping and extrusive force. Edgewise lingual appliances produced almost bodily tooth movement without remarkable intrusion force. Tipping movements by both appliances appeared at 100 gram force level.

Department Orthodontics Student's signature _____

Field of study Orthodontics Advisor's signature _____

Academic year 2001 Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือทางด้านวิชาการอย่างยิ่ง จาก ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. สมพร สวัสดิ์สรพร และ ศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วิวัฒน์ มธุราสัย เป็นอย่างสูงที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่เตรียมการทดลอง และ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ในด้านการรวบรวมข้อมูลและการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อการทดลอง ผู้วิจัยขอขอบคุณ นาย สุธี โอฟารฤทธินันท์ นิสิตปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ นาย ศิวพงศ์ เพ็ชรสงส์ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัท แอคคอร์ดี จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต่อการสนับสนุนด้านเงินอุดหนุน งานวิจัย

ขอขอบคุณ ทันตแพทย์หญิง เยาวเวศ ธงสิบกแก้ว และทันตแพทย์ ธานัน จารุประกร ที่ได้ ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักพัฒนาเทคโนโลยี และอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้ช่วยทดสอบวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้กำลังใจและช่วยเหลือเสมอมาจน สำเร็จการศึกษา อีกทั้งขอขอบคุณผู้มีพระคุณที่ได้ช่วยเหลือที่ไม่สามารถกล่าวได้หมดไว้ ณ โอกาส นี้ด้วย

วลีรัชนี บุญโสธรสถิตย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูปภาพ	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
ข้อตกลงเบื้องต้น	3
ข้อจำกัดของการวิจัย	4
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
หลักการพื้นฐานของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น	7
ข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น	11
ความไม่สบายที่เกิดขึ้นระหว่างการรักษา	12
การยึดติดระหว่างเครื่องมือและผิวฟัน	13
การเปรียบเทียบผลการรักษาระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด	15
การเปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด	16
การเคลื่อนฟันเพื่อปิดช่องว่างในกรณีที่มีการถอนฟัน	18
การเคลื่อนฟันเพื่อปิดช่องว่างด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น ทางด้านใกล้ลิ้น	18
ลวดทีเอ็มเอ	19
หลักการพื้นฐานของโฟโตอีลาสติกเทคนิค	20

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีไฟโตอิเล็กสติก	25
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
กลุ่มตัวอย่าง	26
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	26
การจัดกระทำ	35
การรวบรวมข้อมูล	35
เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล	35
วิธีการรวบรวมข้อมูล	35
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น	36
การกระจายของความเค้นมาตรฐาน	36
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	63
อภิปรายผลการวิจัย	64
ข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง	71
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	87
ภาคผนวก ค	89
ภาคผนวก ง	90
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	แสดงผลการคำนวณระยะเวลาการปรับลดที่ลูกคอนแทรกชันอาร์ชทางด้าน โกล์ริมฟีปากกับขนาดของแรง	77
2.	แสดงผลการคำนวณระยะเวลาการปรับลดที่ลูกคอนแทรกชันอาร์ชทางด้าน โกล์ลันกับขนาดของแรง	81
3.	แสดงผลการคำนวณขนาดแรงและโมเมนต์ของลวดที่ลูกคอนแทรกชันอาร์ช ทางด้านโกล์ริมฟีปาก	83
4.	แสดงผลการคำนวณขนาดแรงและโมเมนต์ของลวดที่ลูกคอนแทรกชันอาร์ช ทางด้านโกล์ลัน	85
5.	แสดงสเปกตรัมสีที่เกิดขึ้นจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงขาว	90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แสดงแบร็กเกตทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับพื้นหน้าบน	8
2. แสดงแบร็กเกตทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับพื้นหน้าล่าง	8
3. แสดงแบร็กเกตทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับพื้นกรามน้อย	8
4. แสดงแบร็กเกตที่มีทรานส์พาลาทัลซีท	9
5. แสดงเครื่องมือติดที่พื้นกรามแบบอินจ์แคปขณะเปิดและปิด	9
6. แสดงรูปร่างลวดโค้งต่อเนื่องรูปเห็ดสำหรับทางด้านใกล้ลิ้น	9
7. แสดงระยะระหว่างแบร็กเกตทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น	10
8. แสดงการยึดลวดในสลอตพื้นหน้าโดยวิธีดับเบิลโอเวอร์ทาย	10
9. แสดงถาดติดเครื่องมือ และต้นแบบสำหรับการัดลวด	14
10. แสดงส่วนประกอบของเครื่องเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป	24
11. แสดงแบบจำลองพื้นสำเร็จรูป	27
12. แสดงเครื่องมือวัดตำแหน่งแบร็กเกต ทีเออาร์จี	27
13. แสดงแม่พิมพ์สแตนเลสตีลหล่อแบบจำลองพื้น	28
14. แสดงสารโซลิเทน 113 เรซิน และซี 113-300 เคียวริงเจเจนท์ ที่ใช้ในการทดลอง .	28
15. แสดงอัตราส่วนระหว่างสารสองชนิด	28
16. แสดงเครื่องมือไล์ฟองอากาศระบบสุญญากาศ	29
17. แสดงเครื่องมือเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป	29
18. แสดงรูปร่าง และขนาดของทีลูบ และลวดคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ริมฝีปาก	30
19. แสดงรูปร่าง และขนาดของทีลูบ และลวดคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ลิ้น ...	31
20. แสดงแบบจำลองสำหรับการัดลวด	31
21. แสดงการติดแบร็กเกตด้วยเครื่องมือทีเออาร์จี	32
22. แสดงแบบจำลองพร้อมลวดคอนแทรกชันอาร์ช	32
23. แสดงการทดสอบเพื่อเป็นส่วนที่ยึดตัวฟันทุกซี่ไว้ด้วยกัน	34
24. แสดงแบบจำลองพื้นก่อนการแกะส่วนที่ยึดตัวฟัน	34
25. แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง	34
26. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันเขี้ยวจากการดึงพื้นหน้า 6 ซี่ พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากร่วม กับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม	38

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27. แสดงลักษณะ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นเขี้ยวจากการดึงพื้นหน้า 6 ที่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม	41
28. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นกรามซี่ที่หนึ่งจากการดึงพื้นหน้า 6 ที่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม	43
29. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นกรามซี่ที่หนึ่งจากการดึงพื้นหน้า 6 ที่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม	45
30. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันเขี้ยวในแนวระนาบ	48
31. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันเขี้ยวในแนวตั้ง	51
32. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันกรามในแนวระนาบ	54
33. แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันกรามในแนวตั้ง	56
34. แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นเขี้ยว ด้วยแรงขนาด 0, 200, 400 กรัม ระหว่างเครื่องมือสองชนิด	59
35. แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นกรามซี่ที่ 1 ด้วยแรงขนาด 0, 200, 400 กรัมระหว่างเครื่องมือสองชนิด	62
36. แสดงรูปร่างของลูปทางด้านใกล้ริมฝีปากก่อน และหลังการให้แรงกระทำ	76
37. แสดงรูปร่างของลูปทางด้านใกล้ลิ้นก่อน และหลังการให้แรงกระทำเมื่อมองทางด้านหน้า	79
38. แสดงรูปร่างของลูปทางด้านใกล้ลิ้นก่อน และหลังการให้แรงกระทำเมื่อมองทางด้านข้าง	80
39. แสดงรูปร่างของลูปก่อน และหลังการให้แรงกระทำโดยมีจุดยึดที่ด้านหน้าของลูปเพียงตำแหน่งเดียว ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์อิลิเมนต์ของลูปทางด้านใกล้	

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ริมฝีปาก	87
40. แสดงรูปร่างของลูปก่อน และหลังการให้แรงกระทำโดยมีจุดยึดที่ด้านหน้าของลูป เพียงตำแหน่งเดียว ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์อีลิเมนต์ของทีลูปทางด้านใกล้ ล้น	88
41. กราฟแสดงค่าเอฟ แวล्यूของสสารก่อนการทดลอง	89
42. กราฟแสดงค่าเอฟ แวล्यूของสสารภายหลังการทดลอง	89



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อแก้ไขความผิดปกติของการเรียงตัวของฟัน ได้แก่ การซ้อนเกของฟัน ซึ่งเกิดจากความไม่สัมพันธ์ระหว่างขนาดของฟัน กับความยาวของส่วนโค้งขากรรไกร หรือการมีฟันยื่นทำให้ริมฝีปากมีลักษณะอูมกว่าปกติ การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในกรณีดังกล่าว และในอีกหลายกรณีมักต้องการถอนฟันเพื่อใช้ช่องว่างจากการถอนฟันเรียงฟันที่คงเหลือให้เรียบ หรือลดความยื่นของฟัน ซึ่งฟันที่มักพิจารณาถอนมากที่สุด คือ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง เนื่องจากช่องว่างที่ได้เหมาะสม และอยู่ใกล้กับบริเวณที่ต้องการแก้ไขความผิดปกติ

เครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันที่ใช้กันทั่วไป แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือจัดฟันชนิดถอดได้ (removable orthodontic appliance) และเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น (fixed orthodontic appliance) แต่เนื่องจากเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น สามารถควบคุมการเคลื่อนฟันได้ดีในทุกทิศทางจึงได้รับความนิยมมากกว่า ทั้งนี้การจัดฟันด้วยเครื่องมือชนิดติดแน่นมีหลายเทคนิค แต่ที่นิยมแพร่หลายได้แก่ เอดจ์ไวส์เทคนิค ซึ่งมีลักษณะการใช้ลวดโค้งต่อเนื่อง (continuous archwire) ตามรูปร่างส่วนโค้งขากรรไกร ในระยะการเคลื่อนฟันระยะต่างๆ ร่วมกับแบรacket ซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุชิ้นเล็กๆ ส่วนใหญ่ทำจากสแตนเลสสตีล ติดบนผิวฟันด้านใกล้ริมฝีปาก (labial surface) และมีสลอตเป็นร่องในแนวอนสำหรับเป็นที่อยู่ของลวดซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนฟันในทิศทางต่างๆ แต่เนื่องจากแบรacketติดอยู่บนผิวฟันด้านใกล้ริมฝีปากที่มองเห็นได้ชัดเจน จึงได้มีการพัฒนาเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นซึ่งมีแบรacketติดอยู่บนผิวฟันด้านใกล้ลิ้น (lingual surface) ขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นของค.ศ. 1970-1979 (Kurz and Romano, 1998) ซึ่งเป็นการจัดฟันด้วยลวดโค้งต่อเนื่องเช่นกัน เนื่องจากเครื่องมือติดอยู่ในบริเวณที่มองเห็นได้ยาก จึงมีประโยชน์อย่างมากในด้านความสวยงาม และในปัจจุบันเครื่องมือ และวิธีจัดฟันดังกล่าวได้รับการพัฒนาอย่างมากทำให้ได้รับความนิยมมากขึ้นจากทันตแพทย์จัดฟันและผู้ป่วยโดยเฉพาะในกรณีผู้ป่วยผู้ใหญ่ซึ่งต้องการรับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันและมักคำนึงถึงความสวยงามมากกว่าในผู้ป่วยอายุน้อย

ขั้นตอนการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นในกรณีที่ต้องการช่องว่างจากการถอนฟัน มักนิยมถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งเช่นเดียวกัน ภายหลังจากการถอนฟัน และเรียงฟันให้เรียบและมีแนวแกนของฟันหน้าถูกต้องด้วยลวดโค้งต่อเนื่องแล้ว จะเป็นขั้นตอนการปิดช่องว่างที่เหลืออยู่ โดยการเคลื่อนฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกัน (en-masse retraction) ซึ่งคล้ายกับการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากโดยเอดจ์ไวส์เทคนิค

ซึ่งทำได้ทั้งการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปทางด้านหลังจนชิดกับฟันกรามน้อยซี่ที่สองก่อน ตามด้วยการเคลื่อนฟันหน้า 4 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลัง หรือการเคลื่อนฟันหน้าทั้ง 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกรร่วมกับอีลาสติกเซน หรือร่วมกับขดลวดสปริง (coil spring) ที่มีแรงดึง หรือการใช้ลวดคอนแทรกชันอาร์ช ที่มีโคลสซิงรูปร่างต่างๆ ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ทีลูบ แอลลูบ เวอร์ติคัลลูบ เป็นต้น โดยทั่วไปการเคลื่อนฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกันโดยเอดจ์ไวส์เทคนิค จะใช้แรงประมาณ 250-300 กรัมต่อข้าง (Nanda and Kuhlberg, 1997) เพื่อให้เกิดการกระจายความเค้นที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนฟันหน้าแบบ บอดิลี ข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวสำหรับเครื่องมือสำหรับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นยังไม่ชัดเจนนัก มีเพียงกล่าวว่ระบบการออกแรงและลักษณะแรง (mechanic) ที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นให้ปฏิบัติตามแบบที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก (Alexander et al, 1983) แต่เนื่องจากความแตกต่างระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด รวมทั้งลักษณะกายวิภาคของช่องปากและฟันบริเวณที่เครื่องมือแต่ละชนิดวางตัวอยู่ ทำให้ขนาดแรงเท่ากันอาจเกิดผลการกระจายความเค้น และการเคลื่อนฟันต่างกันได้

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและเปรียบเทียบการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่งในขากรรไกรบน จากการใช้แรงดึงขนาดต่างกัน ด้วยลวดที่เอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากและทางด้านใกล้ลิ้น โดยวิธีโฟโตอีลาสติก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง จากการใช้แรงดึงขนาดต่างกัน ด้วยลวดที่เอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง จากการใช้แรงดึงขนาดต่างกัน ด้วยลวดที่เอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น
3. เปรียบเทียบการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ระหว่างการใช้ลวดที่เอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช กับเครื่องมือจัดฟันทั้ง 2 ชนิด เมื่อใช้แรงดึงขนาดเท่ากัน

สมมติฐานของการวิจัย

1. แรงดึงขนาดต่างกันจากเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นชนิดเดียวกัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่งแตกต่างกัน

2. การดึงพื้นหน้าด้วยขนาดแรงเท่ากัน โดยเครื่องมือจัดฟันต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่งแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันหน้า โดยศึกษาเฉพาะบริเวณฟันเขี้ยว และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง จากการใช้ลวด ทีเอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ในแบบจำลองขากรรไกรบน ซึ่งประกอบด้วย ฟันตัดกลาง 2 ซี่ ฟันตัดข้าง 2 ซี่ ฟันเขี้ยว 2 ซี่ ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง 2 ซี่ ฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง 2 ซี่ และฟันกรามแท้ซี่ที่สอง 2 ซี่ ซึ่งเป็นฟันสำเร็จรูปทำจากยางอีพอกซีเรียงตัวตามลักษณะส่วนโค้งขากรรไกรอยู่ในสาร ไบรฟรินเจนต์ที่จำลองลักษณะของขากรรไกรบน เพื่อให้ทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อ และอวัยวะปริทันต์รองรับฟัน และใช้แบบจำลองนี้ทดสอบทุกครั้งที่ทดลองทดลอง

2. แหล่งกำเนิดความเค้น ได้แก่ ลวดทีเอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ซึ่งยึดอยู่กับ เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก และเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น ซึ่งลวดดังกล่าวจะถูกดึงให้มีแรงกระทำขนาดต่างๆกัน

3. การวิจัยนี้วิเคราะห์ลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ที่บริเวณฟันเขี้ยว และฟันกรามซี่ที่หนึ่งด้วยวิธีโฟโตอีลาสติก ซึ่งจะปรากฏเป็นแถบสีสเปกตรัม (spectrum fringe) ลำดับของฟรินจ์ (fringe order) และความลึกของแถบสี เปรียบเทียบระหว่างผลของแรงขนาดต่างๆ ในการเคลื่อนพื้นหน้าทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกัน ด้วยลวดคอนแทรกชันอาร์ชและเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทั้ง 2 ชนิด

4. ตัวแปรของงานวิจัย แบ่งเป็น

4.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่

4.1.1 ขนาดของแรงที่ใช้ในการเคลื่อนพื้นหน้า

4.1.2 ชนิดของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่น ได้แก่ เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก และเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

4.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) ได้แก่ การกระจายความเค้นบริเวณ

รากฟันเขี้ยว และการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันกรามซี่ที่หนึ่ง

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. แบบจำลองฟันที่ใช้เป็นแบบจำลองเดี่ยวทดลองการทดลอง มีความสามารถในการกระจายความเค้นได้เท่าเทียมกันทุกทิศทาง และจะต้องไม่มีความเค้นหลงเหลืออยู่ทั้งก่อน และภายหลังการทดลองแต่ละครั้ง

2. แบบจำลองจะต้องนำมาทดลองภายหลังการหล่อแบบ 7 วันเพื่อให้มีคุณสมบัติของสารเหมาะสมที่สุดตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

3. แนวของสลอต และหลอดโลหะ(tube)หลักจะต้องอยู่ในแนวเดียวกัน โดยเมื่อใส่ลวดคอนแทกชั้นอาร์ชที่ยังไม่ถูกปรับให้มีแรงกระทำ(activate) ลวดจะมีลักษณะพาสซีฟ(passive)ต่อพื้นและแบบจำลอง

4. ขาของสปริงส่วนหน้าห่างจากแบร็กเกตพื้นเขี้ยว 1 มม. เพื่อจำลองสภาวะการทำงานทางคลินิก และได้ทำการคำนวณระยะเวลาการปรับลวดให้ได้แรงขนาดที่ต้องการทดสอบไว้ก่อน

5. วิเคราะห์การกระจายความเค้นเมื่อมีแรงดึงพื้นหน้าไปทางด้านหลัง ในลักษณะกึ่งสามมิติ โดยการถ่ายภาพด้านข้างของแบบจำลองพื้น ลักษณะของแถบสีที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นเขี้ยวเป็นตัวแทนการเคลื่อนที่ของพื้นหน้า แถบสีที่เกิดบริเวณพื้นกรามซี่ที่หนึ่งแทนการเคลื่อนที่ของพื้นหลัก ยึด โดยพิจารณา ตำแหน่งที่ ความลึก ความกว้างของแถบสีและลำดับของแถบสี เปรียบเทียบกับระนาบดเคี้ยว

6. ลำดับของแถบสี แสดงขนาดของความเค้นจากน้อยไปหามาก ตามลำดับ คือ 0, 1, 2, ... เมื่อนับจากลำดับการวิเคราะห์ในดาร์คฟิลด์

7. พื้นที่ใช้ศึกษาเป็นพื้นสำเร็จรูปที่มีรูปร่างลักษณะและขนาดเท่ากับพื้นจริง ทำจากสสารยางอีพอกซี และสามารถยึดติดกับสารไบรฟรินเจนต์ได้ดี ทำให้แรงที่กระทำต่อพื้นถ่ายทอดไปที่สารที่ใช้เป็นตัวแทนของเนื้อเยื่อรองรับฟันได้อย่างสม่ำเสมอ

8. โพลาริสโคป ที่ใช้เป็นชนิด เซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ลักษณะของแถบสีที่เกิดบริเวณฟันตัดไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรง เนื่องจากข้อจำกัดเกี่ยวกับรูปร่างของขากรรไกร ทำให้เกิดการซ้อนทับของแถบสีบริเวณฟันซี่อื่น

2. การศึกษาทางด้านโพโตอีลาสติก ไม่สามารถอ้างอิงไปยังมนุษย์ได้โดยตรง แต่ให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อฟันได้รับแรงที่ใช้ในการเคลื่อนพื้นหน้าไปทางด้านหลังเท่านั้น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ดับเบิ้ลรีแฟรคชันหรือ

ไบรฟรินเจนต์

(double refraction or

birefringence)

เป็นปรากฏการณ์ที่ลำแสงเดี่ยวหักเหออกเป็นสองลำ

แสง เมื่อเคลื่อนจากตัวกลางหนึ่งผ่านเข้าไปยัง

อีกตัวกลางหนึ่ง

โพลาไรเซชัน (polarization)	เป็นปรากฏการณ์ที่เนื่องมาจากความเป็นคลื่นตามขวางของแสง เมื่อผ่านโพลาไรเซอร์ แล้วลำแสงจะมีทิศทางของการสั่นเหลือเพียงทิศทางเดียวซึ่งขนานกับแกนของโพลาไรเซอร์
โฟโตอีลาสติกเทคนิค (photoelastic technique)	เป็นการทดลองเพื่อวัดความเค้นที่เกิดขึ้นในสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่เรียกว่า ไบรีฟรินเจนต์ซึ่งสามารถแยกลำแสงหักเหออกเป็นสองแนว
ดาร์คฟิลด์ (dark field)	เป็นสภาวะการจัดเครื่องมือแบบที่ภาพมืดหมดเมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไป ในกรณีที่น่าแบบจำลองซึ่งมีแรงกระทำมาวางอยู่ระหว่างเครื่องมือชนิดนี้จะปรากฏแถบสีสเปกตรัมแสดงถึงปริมาณของความเค้นที่เกิดขึ้น แถบสีที่ปรากฏอันดับแรกเรียกว่า ซีโรออเดอร์ เมื่อมีความเค้นเพิ่มจะมีแถบสีเพิ่มขึ้นเป็นลำดับที่ 1, 2, 3, ... (n) ตามลำดับ
ความเค้น (stress)	คือค่าของแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่แรงนั้นกระทำต่อวัสดุชนิดของความเค้นจากแรงต้านทานที่เกี่ยวข้องกับงานทางทันตกรรมจัดฟัน ได้แก่ ก. ความเค้นเชิงดึง (tensile stress) คือแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่พยายามยืดวัสดุ ข. ความเค้นเชิงอัด (compressive stress) คือแรงต่อหน่วยพื้นที่ที่พยายามกดให้วัสดุหดสั้นหรือหดตัวลง
การเคลื่อนที่แบบบอดิลี (bodily movement)	การเคลื่อนที่แบบบอดิลีในทางโฟโตอีลาสติกจะพบลักษณะของฟรินจ์เพียงรูปแบบเดียว คือจะมีการกระจายความเค้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันไปจนถึงบริเวณปลายรากฟัน หรือรูปแบบของการเกิดความเค้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและที่บริเวณปลายรากมีขนาดของความเค้นที่เท่ากัน
การเคลื่อนที่แบบทIPPING (tipping movement)	การเคลื่อนที่แบบทIPPINGในทางโฟโตอีลาสติก รูปแบบของฟรินจ์จะมีลักษณะที่แตกต่างกันคือ

<p>เครื่องมือจัดฟันเอดจ์ไวส์ ทางด้านใกล้ริมฝีปาก (edgewise labial appliance)</p>	<p>ในบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และที่บริเวณปลายรากฟัน จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันและความเค้นที่บริเวณยอด กระดูกเบ้าฟันจะมีค่าความเค้นมากกว่าที่บริเวณรากฟัน เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก ประกอบด้วยแบร็กเกตที่มีสลอตในแนวอนหน้าตัดรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.018 x 0.025 นิ้วซึ่งเป็นที่ อยู่ของลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกร</p>
<p>เครื่องมือจัดฟันเอดจ์ไวส์ ทางด้านใกล้ลิ้น (edgewise lingual appliance)</p>	<p>เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น ประกอบด้วยแบร็กเกตที่มีสลอตในแนวอนหน้าตัดรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.018 x 0.025 นิ้วซึ่งเป็นที่ อยู่ของลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกร</p>
<p>ลวดคอนแทรกชันอาร์ช (contraction archwire)</p>	<p>ลวดโค้งที่มีรูปร่างเหมือนแนวโค้งขากรรไกร ประกอบด้วย ส่วนโค้งบริเวณฟันหน้า และส่วนของ ฟันหลัง ทั้ง 2 ส่วนติดต่อกันด้วยลูป 2 ลูป อยู่บริเวณ ด้านไกลกลางของฟันเขี้ยวทั้งซ้ายและขวา</p>
<p>การปรับลวดให้มีแรงกระทำ (activate)</p>	<p>การทำให้ลวดคอนแทรกชันอาร์ชผิดรูปไปจากเดิม โดยการดึงปลายลวดหลังหลุดลโหะไปทางด้านหลัง เพื่อให้ลวดคอนแทรกชันอาร์ช มีแรงดึงฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ เคลื่อนไปทางด้านหลัง</p>

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณรากฟันหน้า และฟันกรามซี่ที่หนึ่งที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนฟันหน้าไปทางด้านหลังด้วยลวดที่เอ็มเอทีลูปคอนแทรกชันอาร์ช ร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น

2. เป็นแนวทางในการปรับลวดเพื่อให้ได้ลักษณะการเคลื่อนฟันที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนฟันหน้าด้วยลวดคอนแทรกชันอาร์ชโดยเฉพาะสำหรับการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการพื้นฐานของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

การจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นนี้ เริ่มจากทันตแพทย์จัดฟัน Craven Kurz ในช่วงต้นของปีค.ศ. 1970-1975 ได้ดัดแปลงเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากมาใช้ติดบนผิวฟันด้านใกล้ลิ้น โดยเริ่มติดฟันในขากรรไกรล่างเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องมือมากขึ้นและใช้ได้กับฟันทั้งในขากรรไกรบน และล่าง และมีลักษณะรูปร่างต่างจากเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก โดยประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

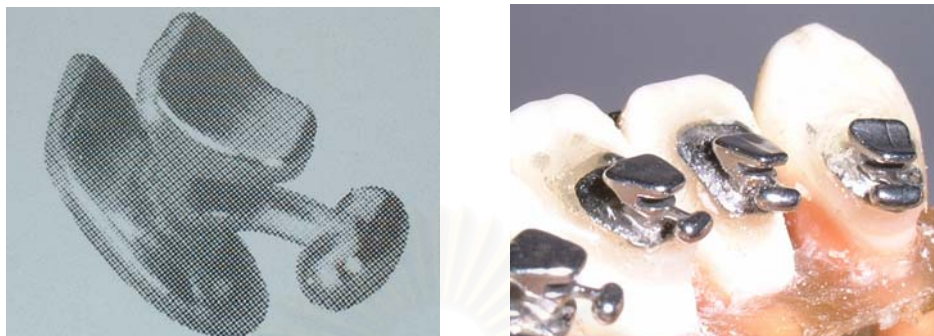
1. ส่วนที่ติดบนตัวฟัน
2. ลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกร
3. การยึดลวดกับแบรacket (bracket ligation)

ส่วนที่ติดบนตัวฟัน

เครื่องมือที่บริเวณฟันหน้าและฟันกรามน้อยจะมีลักษณะเป็น แบรacket ที่ติดบนผิวฟันโดยตรง เครื่องมือที่บริเวณฟันกรามมีลักษณะเป็นหลอดโลหะ หรือแบรacket ซึ่งติดบนตัวฟันโดยตรง หรือติดบนปลอกโลหะรัดฟัน (band) ก็ได้ และ แบรacket ที่ฟันหน้าบนจะมีไบท์เพลนสำหรับให้ฟันหน้าล่างสบลงที่บริเวณนี้ ซึ่งจะช่วยให้ฟันหลังบนและล่างไม่สบกัน ดังนั้นฟันทุกซี่จะต้องถูกติดเครื่องมือเพื่อควบคุมตำแหน่งฟัน โดยเฉพาะฟันกรามซี่ที่สอง หรือแม้แต่ฟันกรามซี่ที่สามซึ่งไม่ได้ถอนออกไป มิฉะนั้นจะทำให้เกิดลักษณะการงอกยาว (extrusion) ของฟันดังกล่าวได้ (Gorman, 1997)

มีการผลิตเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นออกมาหลายแบบ ที่ได้รับความนิยมได้แก่ เครื่องมือรุ่นที่เจ็ด (generation seven appliance , Ormco) ซึ่งเครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย แบรacket ที่มีสล็อตในแนวนอนไว้สำหรับใส่ลวดเข้าในแนวตรงจากทางด้านใกล้ลิ้น ซึ่งขนาดของสล็อต มีทั้ง 0.018 x 0.025 นิ้ว และ 0.022 x 0.028 นิ้ว ซึ่งออกแบบให้ใช้งานในลักษณะ

พีรีแอคทีฟส์เตอไรซ์แบรacket คือมีแค้เพิร์สออกเดอ์เบนด์ ในลวดเท่านั้น
แบรacket สำหรับฟันหน้าบน มีไบท์เพลน ดังรูป



รูปที่ 1 แสดงแบรacketทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับฟันหน้าบน

แบรacketสำหรับฟันหน้าล่างซึ่งไม่มีไบท์เพลน และขนาดเล็กกว่าแบรacketสำหรับฟันบนจะมีตะขอสำหรับการเกี่ยววางซึ่งวางตัวอยู่ห่างจากเนื้อเยื่ออ่อนเพื่อให้รักษาความสะดวกได้ง่ายขึ้น ดังรูป



รูปที่ 2 แสดงแบรacketทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับฟันหน้าล่าง

แบรacketสำหรับฟันกรามน้อย ถูกออกแบบให้มีความกว้างมากขึ้นเพื่อควบคุมการหมุนและความเอียงของตัวฟันได้ดีขึ้น ตะขอแบนและสั้นลง เพื่อความสบายของคนไข้และการยึดกับลวด ที่ง่ายขึ้น ดังรูป



รูปที่ 3 แสดงแบรacketทางด้านใกล้ลิ้นสำหรับฟันกรามน้อย

เครื่องมือสำหรับติดที่ฟันกรามมีทั้งแบบแบรacketที่มีปีกสี่ปีก(twin bracket) ซึ่งอาจติดโดยตรงบนผิวฟันหรือ เชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟันก็ได้ มีทั้งแบรacketที่มีทรานส์พาลาทัลซีท ซึ่งควรเชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟันเพื่อความแข็งแรง และอินจ์แคป ซึ่งสามารถใช้เป็นหลอดโลหะหรือ เซลล์ไฟไลเกตติงสลอตก็ได้ ดังรูป



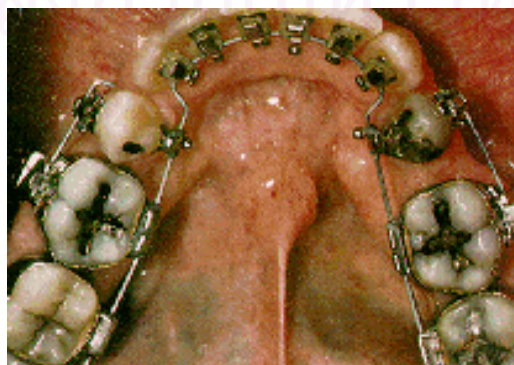
รูปที่ 4 แสดงแบร็กเก็ตที่มีทรานส์พาลาทัลดซี่ท



รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือติดที่ฟันกรามแบบฮินจ์แคปสามารถเปิดและปิดได้
ลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกร

เนื่องจากลักษณะกายวิภาคของฟัน และการเรียงตัวของฟันทำให้รูปร่างส่วนโค้งทางด้าน
 ไกลลิ้นแตกต่างจากรูปร่างส่วนโค้งทางด้านใกล้ริมฝีปากซึ่งเป็นส่วนโค้งเรียบ

ดังนั้นลวดที่ใช้จะต้องมีรูปร่างเหมือนรูปเห็ด(Fujita, 1979) เพื่อชดเชยความหนาของฟันที่
 แตกต่างกันระหว่างฟันเขี้ยว และฟันกรามน้อย ดังรูป



รูปที่ 6 แสดงรูปร่างลวดโค้งต่อเนื่องรูปเห็ดสำหรับทางด้านใกล้ลิ้น

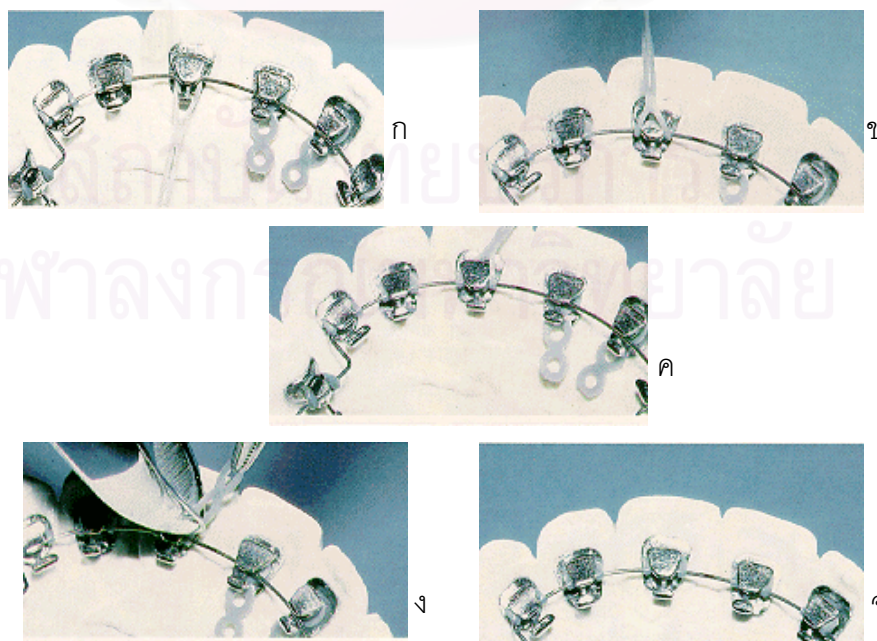
ลวดที่ใส่ทางด้านใกล้ลิ้นจะมีส่วนโค้งที่มีรัศมีสั้นกว่าลวดที่ใส่ทางด้านใกล้ริมฝีปาก ดังนั้น ระยะระหว่างแบร็กเกตทางด้านใกล้ลิ้นในบริเวณฟันหน้าจึงมีค่าน้อยกว่าทางด้านใกล้ริมฝีปากมาก ส่วนในบริเวณฟันหลังการเรียงตัวของฟันค่อนข้างเป็นเส้นตรง ทำให้ระยะทางระหว่างแบร็กเกตใน บริเวณฟันหลังมากกว่าในบริเวณฟันหน้า และไม่แตกต่างจากเครื่องมือที่ติดบนผิวฟันด้านใกล้ริม ฝีปากมากนัก(Creekmore, 1976) ดังรูป



รูปที่ 7 แสดงระยะระหว่างแบร็กเกตทางด้านใกล้ริมฝีปาก และทางด้านใกล้ลิ้น

การยึดลวดกับแบร็กเกต

การยึดลวดให้อยู่ในสลอตของแบร็กเกต มีหลายวิธี ตามแต่คำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ได้แก่ วิธีดัดเบิลโอเวอร์ทาย ซึ่งใช้ยึดลวดบริเวณฟันเขี้ยวและฟันตัด ด้วยอีลาสติกเซน 3 วง เพื่อให้ลวด ยึดอยู่ในสลอตได้อย่างสมบูรณ์มากที่สุด(Gorman,1997) ดังรูป



รูปที่ 8 แสดงการยึดลวดในสลอตฟันหน้าโดยวิธีดัดเบิลโอเวอร์ทาย

พืกรวม และพืกรวมน้อย ใช้วงแหวนยางเฉพาะซี่(elastic o-ring) เช่นเดียวกับที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากทั่วไป

ในกรณีที่ต้องการยึดอย่างแน่นหนา อาจใช้ลวดสแตนเลสสตีลขนาดเล็กผูกแทนการใช้วงแหวนยางเฉพาะซี่ โดยฟันหลังผูกเป็นซี่เดี่ยว และฟันหน้าผูกในลักษณะดับเบิลโอเวอร์ทาย นอกจากนี้การยึดฟันหน้าไว้ด้วยกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง หรือเพื่อมิให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างซี่ฟันทำได้โดยใช้ลวดขนาดเล็กผูกเป็นลักษณะรูปเลขแปด (figure eight) (Garland-Parker et al, 1991)

ข้อดีของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

1. ความสวยงาม เนื่องจากเครื่องมือติดอยู่บนผิวฟันทางด้านลิ้น ซึ่งมองเห็นได้ยาก
2. ใช้ได้ดีในกรณีคนไข้ที่มีลักษณะฟันหน้าสบลึก (deepbite) เนื่องจากแบรacket บริเวณฟันหน้าบนมีไบท์เพลน ทำให้ฟันหลังบนและล่างแยกห่างจากกัน และมีระยะห่างพอที่จะติดเครื่องมือได้บนฟันทุกซี่
3. มองเห็นตำแหน่งของฟันได้อย่างชัดเจนรวมทั้งความอุ่มของใบหน้าด้วย (Creekmore, 1989)

ข้อเสียของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

1. การมองเห็นบริเวณที่จะทำงาน (ทางด้านใกล้ลิ้น) ทำได้ยาก ทำให้ลักษณะการทำงานมักเป็นวิธีอินไดเร็ค เช่น การติดเครื่องมือ
2. ตำแหน่งของแบรacket จะต้องถูกต้องอย่างมาก ซึ่งต้องอาศัยวิธีการในห้องปฏิบัติการ
3. ใช้เวลาการรักษาข้างแก้อีกมากกว่า และค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงกว่าวิธีการจัดฟันตามปกติ
4. เครื่องมือที่ติดอยู่บนตัวฟันทางด้านใกล้ลิ้นทำให้ขัดขวางต่อการพูด, การบดเคี้ยว, การกลืน รวมทั้งก่อให้เกิดความเจ็บปวด การระคายเคืองและเป็นแผลโดยเฉพาะลิ้น

การจัดฟันโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านลิ้น จำเป็นต้องติดเครื่องมือบนตัวฟันโดยวิธีอินไดเร็ค เนื่องจาก (Geron, 1999)

1. ความยากในการเข้าทำงาน และการมองเห็น
2. ลักษณะกายวิภาคทางด้านลิ้นของฟันแต่ละซี่มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยเฉพาะฟันหน้าบน และความหนาของฟันในแนวใกล้ริมฝีปากใกล้ลิ้นก็มีความแตกต่างกันมาก (ฟันตัดซี่ข้างหนาประมาณ 4.6 มม., ฟันเขี้ยวหนาประมาณ 9.2 มม.) ทำให้ขนาดของเฟิร์สออคเคอร์แบนด์มากขึ้น

3. ระยะทางระหว่างเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น กับผิวฟันด้านใกล้ริมฝีปากมีค่ามาก ทำให้การพิจารณาเทร็ดออกเดอร์เบนด์(third order bend) โดยตรงทำได้ยาก

4. ระยะทางระหว่างแบรคเกตสั้น โดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้าทำให้การตัดลวดเพื่อชดเชยตำแหน่งแบรคเกตในภายหลังทำได้ยาก

จากการที่ความแข็งดัด(bending stiffness) และความแข็งตึงบิด(torsion stiffness) ของลวดมีค่าผกผันกับความยาวลวด ดังนั้นการที่ระยะทางระหว่างแบรคเกตทางด้านใกล้ลิ้นมีค่าน้อยลง ทำให้ความแข็งดัดของลวดมากขึ้น มีผลให้แรงที่กระทำต่อฟันมีค่ามากขึ้น(Creekmore, 1976)

จากการศึกษาของ Moran(1987) พบว่าอัตราส่วนระหว่างระยะทางระหว่างแบรคเกตทางด้านใกล้ลิ้นกับระยะทางระหว่างแบรคเกตทางด้านใกล้ริมฝีปากบริเวณฟันหน้าบน 6 ซี่ มีค่าเท่ากับ 1:1.55 ในบริเวณฟันหน้าล่าง 6 ซี่ มีค่าเท่ากับ 1:1.39 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1:1.47 และจากการวัดค่าความแข็งดัดของลวดตามความยาวที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นเทียบกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก พบว่าความแข็งดัดของเฟิร์สออกเดอร์เบนด์ และเซคันด์ออกเดอร์เบนด์ มีค่าเพิ่มขึ้น 3.03 เท่า และความแข็งดัดของเทร็ดออกเดอร์เบนด์ มีค่าเพิ่มขึ้น 1.39 เท่า ดังนั้นเขาจึงแนะนำให้ใช้ลวดที่มีค่าความแข็งดัดต่ำกว่าสำหรับการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

ความไม่สบายที่เกิดขึ้นระหว่างการรักษา

Fillion(1997)กล่าวว่า เนื่องจากเครื่องมือจัดฟันชนิดนี้ติดอยู่บนผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้น ดังนั้นย่อมมีการสัมผัสระหว่างลิ้นกับเครื่องมือ ซึ่งทำให้เกิดความระคายเคืองต่อลิ้นได้มาก ความรุนแรงจะขึ้นอยู่กับลักษณะกายวิภาคของช่องปากคนไข้แต่ละคน และเนื่องจากตามปกติปลายลิ้นจะแตะอยู่ที่บริเวณอินไซซีฟปาปิลลา ในขณะพูด, เคี้ยวอาหาร และกลืน เมื่อมีแบรคเกตติดอยู่ที่ผิวฟันบริเวณนี้ย่อมเกิดการระคายเคืองได้ง่ายเนื่องจากลิ้นจะดันมาอยู่หน้าแบรคเกต โดยไม่รู้สึกรู้สิดู และคนไข้จะพบว่ามีการขูดของเครื่องมือบนขอบลิ้นเมื่อตื่นนอน ซึ่งพบเป็นเรื่องปกติ นอกจากนี้การเคี้ยวอาหารจะยากกว่าปกติ เนื่องจากฟันหลังจะไม่สบกัน และการรับรู้รสอาหารอาจเปลี่ยนไปในช่วง 2-3 เดือนแรกได้

การพูดออกเสียงจะไม่ชัดเจนโดยเฉพาะเสียง “S” “T” และ “D”(Artun, 1987)

ดังนั้นก่อนการติดเครื่องมือ ทันตแพทย์จัดฟันควรให้ความรู้แก่คนไข้ในเรื่องดังกล่าว รวมถึงเวลาที่ใช้ในการรักษาแต่ละครั้ง และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจในการรับการรักษา ซึ่งFillion(1997)พบว่า คนไข้ที่ไม่ได้รับความรู้อย่างเพียงพอก่อนการรักษามักจะเกิดการยอมรับได้ยากกว่า นอกจากนี้เขายังแนะนำให้ติดเครื่องมือครั้งละขากรรไกร โดยห่างกัน 2 เดือน เพื่อให้คนไข้สามารถปรับตัวให้เข้ากับเครื่องมือได้ดี ซึ่งจะทำให้รู้สึกสบายขึ้น และ

ทันตแพทย์จัดฟันควรแนะนำเรื่องการดูแลสุขภาพในช่องปากเป็นพิเศษแก่คนไข้ และอาจใช้เครื่องฉีดพ่นน้ำสำหรับในช่องปาก(oral irrigator)ช่วยกำจัดเศษอาหารที่ติดอยู่บริเวณแบรคเกตเนื่องจากการแปรงฟันทำได้ยาก

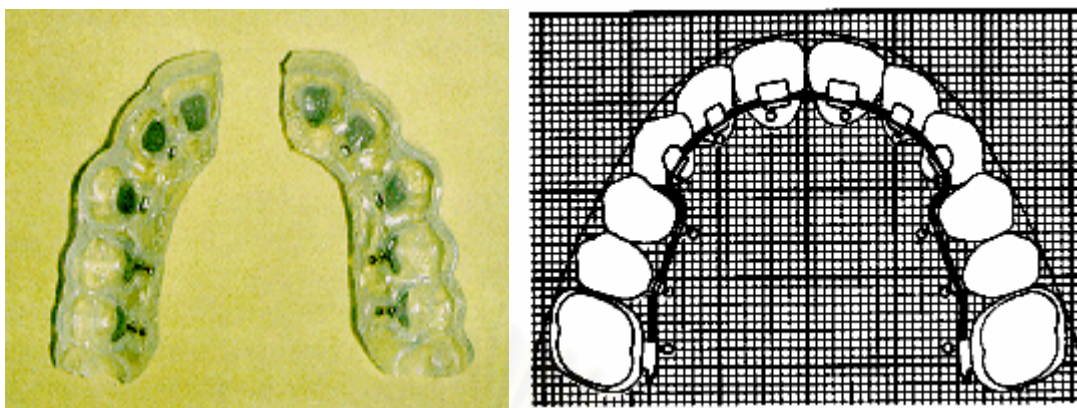
จากการศึกษาของ Artun(1987) พบว่า คนไข้ 7 คนจาก 10 คน มีการอักเสบของเหงือกและมีคราบจุลินทรีย์อยู่รอบแบรคเกตตลอดการรักษา

Miyawaki ,Yasuhara and Koh(1999) ศึกษาโดยใช้แบบสอบถามคนไข้ผู้ใหญ่ 111 รายซึ่งได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือชนิดนี้ และอยู่ในช่วงคงสภาพฟัน พบว่าแม้ว่าจะให้คำแนะนำแก่คนไข้ในการใช้ซี่ผึ้งชนิดอ่อนติดที่เครื่องมือเพื่อป้องกันความเจ็บปวดต่อลิ้น การแนะนำการรับประทาน อาหาร ฝึกพูดและ สอนการแปรงฟันแล้วก็ตาม ปัญหาที่พบมากที่สุด คืออาการเจ็บโดยเฉพาะที่ลิ้น ซึ่ง 70% ของคนไข้จะปรับตัวได้และหายใน 3 เดือนแรก ส่วนที่เหลือยังมีอาการจนเกือบ และ/หรือ สิ้นสุดการรักษา และการเจ็บลิ้นจะพบมากและรุนแรงในกรณีที่คนไข้มีขากรรไกรเล็ก กรณีที่คนไข้มีการสบฟันลึกจะพบว่ามักมีอาการเจ็บทั้งที่ลิ้นและฟัน เนื่องจากการสบฟันหน้าลงบนไบท์เพลนทำให้เคี้ยวอาหารลำบากด้วย ส่วนความลำบากในการเคี้ยวอาหารเชิงเหนียว รวมถึงการพูดออกเสียงนั้นไม่ได้ลดลงตามระยะเวลา ซึ่งต่างจากความเจ็บปวดที่ลิ้นและฟัน ซึ่งต่างจากการศึกษาของ Fillion(1997) ที่พบว่าการมีฟันสบลึกจะทำให้เคี้ยวอาหารได้ลำบาก แต่จะลดลงตามระยะเวลา เช่นเดียวกับการพูดออกเสียง “S”, “T” ที่ลำบากก็จะลดลงตามเวลาเช่นกัน ปัญหาที่พบมากในการศึกษานี้เช่นเดียวกันคือการเจ็บที่ลิ้น ซึ่ง 64% ของคนไข้สามารถปรับตัวได้ภายใน 3 สัปดาห์แรก แม้ว่าจะมีปัญหาดังกล่าว ทั้งสองการศึกษาสรุปว่ามีคนไข้จำนวนน้อยมาก 4 รายจาก 266 ราย และ 3 รายจากนับพันรายเท่านั้นที่ขอยกเลิกการรักษาเนื่องจากไม่สามารถปรับตัวได้

การยึดติดระหว่างเครื่องมือและผิวฟัน

ปัจจุบันมีห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างคัสตอมแพด ที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับฟันแต่ละซี่ และทำให้การติดเครื่องมือบนฟันมีความถูกต้องมากขึ้น มีช่องว่างระหว่างฟันและแบรคเกตน้อยลง ซึ่งนำไปสู่ความแข็งแรงของการยึดติดที่ดีที่สุด(Gorman, 1997:111-125)

โดยทั่วไปขั้นตอนการเตรียมภาคติดเครื่องมือ ได้แก่ การพิมพ์ปากคนไข้ และหล่อแบบจำลองเพื่อนำมาจัดเรียงฟัน แล้วกำหนดตำแหน่งที่ถูกต้องบนตัวฟันเพื่อติดแบรคเกตลงบนแบบจำลองนั้น โดยตำแหน่งของแบรคเกตเหล่านั้น จะต้องสัมพันธ์กันในลักษณะที่ทำให้ลวดจัดฟันที่ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายมีการตัดแค่เฟิร์สอเดอร์ เบนด์ เท่านั้น จากนั้นย้ายแบรคเกตกลับไปติดบนแบบจำลองเริ่มต้น และสร้างภาคติดเครื่องมือเพื่อการติดเครื่องมือโดยวิธีอินไดเรค พร้อมกับต้นแบบสำหรับการดัดลวด ดังรูป



รูปที่ 9 แสดงกรดติดเครื่องมือ และต้นแบบสำหรับการัดลด

Chumak et al.(1989) ทำการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดติดแบบเฉือน (shear bond strength) ระหว่าง แบริกเกตชนิดทางด้านใกล้ลิ้น กับแบริกเกตชนิดทางด้านใกล้ริมฝีปาก ที่ติดบริเวณฟันกรามน้อยบน ฟันกรามน้อยล่าง และฟันหน้าล่าง พบว่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างเครื่องมือทั้งสองชนิดกับผิวฟันไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าแบริกเกตที่มีการตกแต่งฐานให้มีความแนบกับผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้น จะทำให้ชั้นของวัสดุที่ยึดระหว่างแบริกเกตกับฟันบางลง ซึ่งนำไปสู่การยึดติดที่แข็งแรงมากขึ้น และมากกว่าแบริกเกตชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากอีกด้วย

Artun(1987)ทำการศึกษาโดยการติดเครื่องมือจัดฟันชนิดทางด้านใกล้ลิ้นในคนไข้ 10 คน พบว่าอัตราการเกิดความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างแบริกเกตกับผิวฟันเท่ากับ 2.8 % ซึ่งเนื่องมาจากการขยับของแบริกเกต ผลการศึกษานี้ยังสนับสนุนผลการศึกษานี้ที่ผ่านมามีพบความล้มเหลวของการยึดติดของแบริกเกตในอัตราต่ำ ซึ่งเนื่องมาจากการมีไบท์เพลนที่แบริกเกตฟันหน้าบน ซึ่งแรงจากการกดสบของฟันหน้าล่างลงบนไบท์เพลนดังกล่าวจะเปลี่ยนทิศทางจากแรงเฉือนไปเป็นแรงกดอัด(Kurz and Romano, 1998) ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเฉือนหลุดออกของแบริกเกต ทั้งนี้แบริกเกตส่วนใหญ่ที่เกิดการหลุดมักเกิดเนื่องจากการติดแบริกเกตผิดตำแหน่งไป ซึ่งควรจะทำ การติดใหม่มีฉะนั้นนี้อาจทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดฟันขั้นตอนสุดท้ายได้ ซึ่งการติดแบริกเกตใหม่ ในกรณีนี้ที่หลุดโดยที่ตำแหน่งของแบริกเกตถูกต้องทำได้โดยการใช้อัดติดเครื่องมือเดิม (ซึ่งจะต้องเก็บไว้) ซึ่งจะทำให้สามารถติดเครื่องมือลงบนตำแหน่งเดิมที่ถูกต้องของฟันได้ (Gorman,1987;Hong and Soh,1996) ในกรณีที่ตำแหน่งการติดแบริกเกตไม่ถูกต้อง เช่น การติดแบริกเกตสูงไม่เท่ากันย่อมทำให้ปลายฟันมีระดับต่างกัน หรือการที่ตำแหน่งแบริกเกตค่อนข้างไปทางใกล้กลาง หรือไกลกลางมากเกินไป จะทำให้เครื่องมือควบคุมการหมุนของฟันได้ยาก(Artun) ต้องอาศัยการัดลดเพื่อชดเชยกับตำแหน่งของแบริกเกตที่ผิดไปเหล่านี้ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยากมากกว่า จึงควรพิจารณาติดเครื่องมือใหม่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง

Gorman(1997) ได้เสนอ “12 กฎแห่งความสำเร็จ” สำหรับการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น ดังนี้

1. การกำหนดตำแหน่งของแบรคเกตอย่างถูกต้อง ทั้งความสูง และ ตำแหน่งในแนวใกล้ริมฝีปาก-ใกล้ลิ้น(หรือ ใกล้แก้ม-ใกล้ลิ้น) รวมทั้งแนวแกนของฟัน และทอร์กซึ่งควรจะทำในห้องปฏิบัติการ
2. การติดเครื่องมือบนผิวฟันโดยวิธีอินไดเร็ค เป็นสิ่งจำเป็นซึ่งจะทำให้ตำแหน่งการติดแบรคเกตถูกต้องแม่นยำมากที่สุด
3. ต้องติดเครื่องมือบนฟันทุกซี่ รวมทั้งฟันกรามซี่ที่สอง และฟันกรามซี่ที่สามที่ไม่ได้ถอน มิฉะนั้นจะเกิดการงอกยาวของฟันดังกล่าวได้ เนื่องจากผลของไบท์เพลนบริเวณฟันหน้าที่ทำให้ฟันหลังห่างจากกัน
4. การติดเครื่องมือบนฟันกรามที่มีตำแหน่งค่อนข้างไปทางเหงือกมากเกินไป จะทำให้เกิดการ งอกยาวของฟันกรามได้
5. แก้วการหมุนของฟันภายหลังจากหาช่องว่างสำหรับการเรียงฟันได้แล้ว
6. ควรรักษารูปร่างส่วนโค้งขากรรไกรที่ถูกต้องไว้เสมอ เนื่องจากไม่มีแรงบดเคี้ยวช่วยด้านทานการเปลี่ยนรูปร่างของส่วนโค้งขากรรไกร
7. ไม่ดึงฟันหน้าไปทางด้านหลังในขณะที่ใช้ลวดโค้งต่อเนื่องขนาดเล็ก เพราะจะทำให้ส่วนโค้งขากรรไกรเสียไปทั้งในแนวราบ และ แนวตั้ง
8. ควรทอร์กฟันก่อนที่ช่องว่างทั้งหมดจะปิด
9. ยึดลวดกับแบรคเกตฟันหน้าโดยวิธีดับเบิลโอเวอร์ทายเท่านั้น เพื่อให้ลวดยึดอยู่ในสลอตอย่างสมบูรณ์
10. การดึงฟันหน้าไปทางด้านหลังจะต้องยึดฟันหน้าทั้ง 6 ซี่ไว้ด้วยกัน และดึงไปพร้อมกัน
11. หลังจากฟันมีทอร์กที่ถูกต้องแล้ว การเก็บรายละเอียดที่เหลือจะต้องใช้ลวดเส้นเล็ก เนื่องจากระยะระหว่างแบรคเกตน้อย การใช้ลวดเล็กจะทำได้ง่ายกว่า
12. เนื่องจากการใช้ยางเพื่อดึงฟันให้เข้าตำแหน่งสบฟันที่ถูกต้องทำได้ยาก จึงควรใช้ โพซิชั่นเนอร์ เพื่อให้เกิดการสบฟันดังกล่าว

การเปรียบเทียบผลการรักษา ระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด

Fulmer และ Kuffinec(1989) ศึกษาย้อนหลังจากภาพถ่ายรังสีด้านข้างของกะโหลกศีรษะของคนไข้ซึ่งได้รับการจัดฟันโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น พบว่า ค่ามุมเอพเอ็มเอ มุมจีไอจีเอ็น-เอสเอ็นและค่าความสูงของไบท์หน้าส่วนล่างระหว่างกลุ่มที่ถอนฟันกรามน้อย 4 ซี่ กับกลุ่มที่ไม่ถอนฟัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่ม

จะเพิ่มขึ้นแต่เป็นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และไม่มีย่นัยสำคัญทางสถิติ ส่วนใหญ่ของคนไข้จะมีค่าเพิ่มขึ้น มีส่วนน้อยซึ่งค่าดังกล่าวลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการตอบสนองแตกต่างกันในแต่ละคนซึ่งทำนายไม่ได้ และจากการวัดแนวแกนของฟันหน้า พบว่า กลุ่มที่ไม่ถอนฟันมีค่าทอร์กของฟันหน้าใกล้เคียงปกติ ส่วนกลุ่มที่ถอนฟันจะมีแนวแกนฟันหน้าตั้งตรงกว่าปกติเล็กน้อย ซึ่งเขาสรุปว่าการควบคุมทอร์กบริเวณฟันหน้าด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นทำได้ดี นอกจากนี้เขายังพบว่าฟันหน้าล่างถูกกดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีการถอนฟันแต่จากการศึกษาเปรียบเทียบผลการรักษาระหว่างเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นกับทางด้านใกล้ริมฝีปากโดย Gorman และ Smith(1991) ซึ่งศึกษาจากภาพถ่ายรังสีด้านข้างของกะโหลกศีรษะเช่นกัน พบว่าค่ามุมเอสเอ็น-เอ็มพี และค่าความสูงของไบหน้าส่วนล่างมีค่ามากขึ้นทั้งในกลุ่มที่ถอนฟัน และกลุ่มที่ไม่ถอนฟัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเครื่องมือทั้งสองชนิด การเปรียบเทียบแนวแกนฟันหน้าบนและฟันหน้าล่าง ก็ไม่พบความแตกต่างเช่นกัน นอกจากนี้เขายังพบผลการกดฟันหน้าล่างเช่นเดียวกันกับการศึกษาข้างต้น และพบในการรักษาด้วยเครื่องมือทั้งสองชนิด แต่ไม่พบความแตกต่างกัน เขาจึงสรุปว่าผลการรักษาโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นไม่มีความแตกต่างจากผลการรักษาโดยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากแต่อย่างใด

การเปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด

Chaconas, Caputo and Brunetto (1990) ทำการศึกษาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นรอบรากฟันที่เกิดจากเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้น กับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปาก โดยใช้วิธีโฟโตอีลาสติก ซึ่งเมื่อให้แรงต่อฟันจะมองเห็นการกระจายความเค้นรอบรากฟันเป็นแถบสีที่มีความเข้มต่างกัน โดยที่ความเข้มและแถบสีปรากฏมากแสดงถึงปริมาณความเค้นที่มากกว่า บริเวณที่มีความเข้มและแถบสีปรากฏน้อย พบว่าเมื่อให้แรงในการเรียงฟันให้เรียบด้วยลวดเบตา-ไทเทเนียม ขนาด 0.016 นิ้ว และเมื่อให้แรงดึงฟันหน้า 4 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกันด้วยลวดบลูเอลจิลอยคอนแทรกชันอาร์ชชนิดเฮลิคัลเวอร์ติคัลลูป ขนาด 0.016 นิ้ว x 0.016 นิ้ว พบว่ารูปแบบการกระจายความเค้นมีความคล้ายคลึงกันมาก แต่ความเข้มของแถบสีที่เกิดจากเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นมากกว่า ซึ่งแสดงถึงขนาดของความเค้นที่มากกว่า โดยเฉพาะบริเวณฟันหน้าล่าง และฟันหน้าบน แต่ในบริเวณฟันหลังไม่มีความแตกต่างกันมากนักระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด ซึ่งอธิบายว่าเกิดเนื่องจากระยะระหว่างแบรคเกตของเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นสั้นกว่า โดยเฉพาะบริเวณฟันหน้าล่าง และความยาวของลวดสำหรับเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นก็สั้นกว่า เป็นผลให้การดึงลวดระยะทางที่เท่ากัน ทำให้เกิดขนาดของแรงที่ต่างกันระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด การเรียงฟันให้เรียบบริเวณฟันหน้าล่างในการจัดฟันด้วยเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น อาจทำให้เกิดแรงที่มาก

เกินไปกระทำต่อพื้นหน้าล่างได้ ดังนั้นจึงควรปรับแรงให้มีขนาดเหมาะสมต่อการเคลื่อนพื้นดังกล่าวด้วย เพื่อป้องกันการเกิดการละลายของรากฟัน

แต่จากการเปรียบเทียบแรงที่กระทำต่อฟันโดยมีจุดออกแรงอยู่บนผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้นกับจุดออกแรงบนผิวฟันทางด้านใกล้ริมฝีปากโดย Tanne ,Lu and Sakkuda(1992) โดยวิธีวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์ พบว่าเมื่อให้แรงขนาด 100 กรัมกระทำต่อพื้นหน้าบนในแนวขนานและมีทิศทางไปทางด้านลิ้น จะมีรูปแบบการกระจายแรงในเอ็นยึดปริทันต์ และการเคลื่อนที่ของฟันไม่แตกต่างกันระหว่างจุดออกแรงทางด้านใกล้ริมฝีปากและจุดออกแรงทางด้านใกล้ลิ้น นอกจากนี้แรงที่กระทำในแนวตั้งไปทางรากฟันซึ่งเกิดจากจุดออกแรงบนผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้นจะทำให้ฟันเคลื่อนที่และกระจายแรงได้ดีกว่าจุดออกแรงบนผิวฟันด้านริมฝีปาก ซึ่งเขาสรุปว่าแรงที่จุดออกแรงบนผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้นจะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันเหมาะสมกว่า

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันโดยวิธีเอดจ์ไวส์เทคนิคทั่วไปร่วมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก แบ่งได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้(Proffit and Fields, 1992)

1. ระยะเรียงฟัน และปรับระดับฟัน(alignment and leveling) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อจัดเรียงฟันให้อยู่ในแนวส่วนโค้งขากรรไกร และแก้ไขความผิดปกติในแนวตั้ง ได้แก่ การสบฟันลึก การสบฟันแบบเปิด โดยการปรับระดับฟันซึ่งไม่เพียงเป็นการเคลื่อนฟันที่อยู่ผิดตำแหน่งเข้ามาในส่วนโค้ง แต่ยังต้องควบคุมตำแหน่งในแนวหน้าหลังของฟันตัด ความกว้างของส่วนโค้งขากรรไกรในบริเวณฟันหลัง และรูปร่างของส่วนโค้งขากรรไกรด้วย

2. ระยะแก้ไขความสัมพันธ์ของฟันกราม และปิดช่องว่างจากการถอนฟัน การแก้ไขความสัมพันธ์ของฟันกรามและฟันหลังทั้งหมดเพื่อให้ได้การสบฟันปกติในแนวหน้าหลัง ซึ่งทำได้ 3 วิธี ดังนี้

2.1 ปรับการเจริญเติบโตของแต่ละขากรรไกรด้วยเครื่องมือจัดฟันนอกปาก หรือเครื่องมือฟังก์ชันนัล

2.2 ปรับเคลื่อนฟันหลังบน และล่าง ให้เข้าสู่ความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง โดยการใส่ช่องว่างจากการถอนฟัน

2.3 เคลื่อนฟันทั้งหมดในแนวหน้าหลังด้วยอีลาสติกแบบที่ 2 หรือแบบที่ 3 การปิดช่องว่างที่เหลืออยู่จากการถอนฟันจำเป็นต้องควบคุมสัดส่วนระหว่างการเคลื่อนพื้นหน้าไปทางด้านหลังกับการเคลื่อนฟันกรามน้อยและฟันกรามมาทางด้านหน้าให้ดี

3. ระยะสิ้นสุด(finishing) เป็นขั้นตอนการแก้ไขความไม่สมบูรณ์ที่ยังคงมีอยู่ ได้แก่ การปรับแนวรากฟันให้ขนานกัน การปรับทอรั๊กฟันตัด การแก้ไขฟันสบลึกหรือฟันสบเปิดที่คงอยู่เล็กน้อย การแก้ไขเส้นกึ่งกลางฟัน การแก้ไขขนาดฟันที่ไม่ได้สัดส่วนกัน เพื่อให้ได้การสบฟันที่ดี และมีความสวยงาม

การเคลื่อนพื้นเพื่อเปิดช่องว่างในกรณีที่มีการถอนพื้น

ในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันทั่วไปที่มีการถอนพื้น พื้นที่ถูกถอนมากที่สุดได้แก่ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง เนื่องจากทำให้ได้ช่องว่างสำหรับการแก้ไขการซ้อนเกหรือการยื่นของฟันหน้า ทันที ทำให้เวลาที่ใช้ในการรักษาลดลง นอกจากนี้การถอนฟันซี่ดังกล่าวยังทำให้รูปร่างส่วนโค้งขากรรไกรเปลี่ยนแปลงยาก ทำให้ผลการจัดฟันมีความคงที่

การเคลื่อนพื้นเพื่อเปิดช่องว่างจากการถอนฟันดังกล่าวทำได้โดยการเคลื่อนพื้นเข้าไปทางด้านหลังจนชิดกับฟันกรามน้อยซี่ที่สอง แล้วจึงเคลื่อนพื้นหน้าทั้ง 4 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลัง หรือการเคลื่อนพื้นหน้าทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกันเลยก็ได้

การเคลื่อนพื้นหน้า 4 ซี่ หรือ 6 ซี่ไปทางด้านหลังทำได้ 2 วิธี

1. วิธีมีแรงเสียดทาน(friction mechanics)หรือสไลด์ดิงแอมคานิกส์ ได้แก่ การเคลื่อนพื้นโดยให้เลื่อนแบรคเกตผ่านไปบนลวดโค้งต่อเนื่องตามส่วนโค้งขากรรไกร โดยแรงดึงพื้นมาจากขดลวดสปริงหรือยาง
2. วิธีปราศจากแรงเสียดทาน (frictionless mechanics) ได้แก่ การเคลื่อนพื้นโดยใช้ลวดคอนแทรกชันอาร์ช ซึ่งเป็นลวดโค้งตามรูปร่างส่วนโค้งขากรรไกร และมีโคลสซิงลูบอยู่ทางด้านใกล้กลางต่อแบรคเกตฟันตัดซี่ข้างหรือฟันเขี้ยว การปรับลวดเพื่อให้เกิดแรงดึงพื้นหน้ามาทางด้านหลัง ทำโดยการดึงปลายลวดหลังลอดโลหะบนฟันกรามซี่สุดท้ายไปทางด้านหลัง ระบบแรงที่เกิดขึ้น ได้แก่ แรงในแนวระนาบ แรงในแนวตั้ง และ โมเมนต์ ซึ่งในกรณีที่ต้องการเคลื่อนพื้นหน้าบนทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลังแบบบอดิลีนนั้นจะต้องมีขนาดแรงในแนวระนาบ 250-300 กรัมต่อข้าง และ อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงเท่ากับ 8.4 (Siatkowski, 1994)

ลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่มีโคลสซิงลูบควรเป็นลวดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อป้องกันการหมุนของลวดในสลอตของแบรคเกต และโคลสซิงลูบควรมีรูปร่างที่ง่ายต่อการตัด เนื่องจากทำให้ผู้ป่วยรู้สึกสบายมากกว่า และแตกหักบิดเบี้ยวยากกว่าลูบที่มีรูปร่างซับซ้อน(Proffit and Fields, 1992) ซึ่งลูบที่นิยม ได้แก่ ที่ลูบ เวอร์ติคัลลูบ เป็นต้น แต่ที่ลูบจะให้อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่สูงกว่าเวอร์ติคัลลูบในขนาดลูบที่สูงเท่ากัน(Siatkowski, 1997)

การเคลื่อนพื้นเพื่อเปิดช่องว่างด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

ในกรณีที่ต้องการหาช่องว่างโดยการถอนพื้น พื้นซี่ที่นิยมถอน ได้แก่ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งเช่นกันแต่ขั้นตอนการเปิดช่องว่างจากการถอนพื้นมีลักษณะต่างจากการจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปาก คือจะไม่เคลื่อนพื้นเข้าไปทางด้านหลังจนชิดกับฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ตั้งแต่แรก เนื่องจากข้อจำกัดจากรูปร่างลวดซึ่งมีรอยหยักระหว่างฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยทำให้การเคลื่อนพื้นเข้าไปชิดกับฟันกรามน้อยต้องถดถอยเปลี่ยนเสมอทำให้เกิดความยุ่งยาก และ

การจัดฟันด้วยเครื่องมือนี้มักต้องการหลีกเลี่ยงความไม่สวยงามจากการมีช่องห่างระหว่างฟันตัดซี่ข้างและฟันเขี้ยวซึ่งจะมองเห็นได้ชัดเจน แต่จะทำการดึงฟันเขี้ยวไปทางด้านหลังเพียงเล็กน้อยในช่วงแรกเพื่อให้ได้ช่องว่างเพียงพอสำหรับการเรียงฟันหน้าให้เรียบ และตั้งให้มีแนวแกนฟันทั้ง 6 ซี่ถูกต้องก่อน จึงทำการดึงฟันหน้าทั้งหมดไปทางด้านหลังพร้อมกัน โดยจะทำได้ 2 วิธีเช่นกัน ดังนี้(Takemoto, 1998)

1. วิธีมีแรงเสียดทาน หรือสไลด์ดึงแมคานิกส์ ซึ่งทำการเคลื่อนฟันให้เคลื่อนผ่านไปบนลวดโค้งต่อเนื่องด้วยแรงดึงจากยาง หรือขดลวดสปริงเช่นกัน ข้อดี คือ ทำได้ง่าย แต่ข้อเสีย คือ มีแรงเสียดทานระหว่างลวดกับแบรคเกตทำให้ควบคุมแรงดึงฟันหน้าได้ยาก และสูญเสียหลักยึดได้ง่าย

2. วิธีปราศจากแรงเสียดทาน หรือ วิธีที่ใช้ลูบ โดยมีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้ลวดคอนแทรกชันอาร์ชกับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก ข้อดี คือปราศจากแรงเสียดทานทำให้ปิดช่องว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อเสีย คือ ทำได้ยาก และต้องอาศัยความชำนาญมากกว่า

Takemoto(1998) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลการรักษาในผู้ป่วย 47 คน โดยใช้สไลด์ดึงที่แมคานิกส์ 14 คน กับใช้ลูบ 30 คนแบ่งเป็น เฮลิคัลลูบ 10 คน แอลลูบ 10 คน ทีลูบ 10 คน ไม่พบว่าแบบแผนโครงสร้างไบหน้าและเฟเซี่ยลแอกซิสระหว่างกลุ่มที่ใช้ลูบและสไลด์ดึงแมคานิกส์มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้การใช้ลวดที่ลูบคอนแทรกชันอาร์ชสามารถควบคุมทอร์คบริเวณฟันหน้าบนได้ดีกว่าสไลด์ดึงแมคานิกส์ และทำให้เกิดการกดฟันหน้าล่างน้อยกว่าด้วย และวิธีที่ใช้ลูบ ยังทำให้การควบคุมฟันหลักทำได้ดีกว่า รวมทั้งใช้เวลาในการเคลื่อนฟันหน้าไปทางด้านหลังน้อยกว่าด้วย

ลวดเบตา-ไททาเนียม

ลวดเบตา-ไททาเนียมมีประมาณ 20 ปีมาแล้ว และมีการผลิตออกมาหลายบริษัท ได้แก่ ทีเอ็มเอหรือไททาเนียม-โมลิบดีนัม อัลลอยด์(บริษัท ออร์มโก) ประกอบด้วยโลหะหลายชนิด ได้แก่ ไททาเนียม 77.8% โมลิบดีนัม 11.3% เซอร์โคเนียม 6.6% และดีบุก 4.3% การมีโมลิบดีนัมเป็นส่วนผสมทำให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นในการทำให้เป็นรูปร่าง(formability) ซึ่งต่างจากลวดนิกเกิล-ไททาเนียมที่ไม่สามารถดัดขึ้นรูปได้ และยังเป็นลวดชนิดเดียวที่สามารถเชื่อม(weld)ได้ ข้อดีอีกอย่างคือให้ขนาดแรงปานกลางอยู่ระหว่างลวดสแตนเลสสตีล และลวดนิกเกิล-ไททาเนียมที่มีขนาดเดียวกัน รวมทั้งมีค่าการดีดกลับ(springback)สูงแม้ว่าจะผ่านการดัดก็ตาม(Burstone and Goldberg, 1980) และเข้ากันกับเนื้อเยื่อได้ดี เนื่องจากมีไททาเนียมอยู่ในเปอร์เซ็นต์สูง แต่มีข้อเสียคือราคาแพง และมีความเสียดทานสูงระหว่างผิวลวดกับแบรคเกต(O'Brien, 1997)

จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ลวดทีเอ็มเอมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะโค้งหรือดัดเป็นส่วนที่มีลูบรูปร่างซับซ้อน ได้แก่ลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่มีลูบ ซึ่งให้แรงน้อยกว่าลวดสแตนเลสสตีลครึ่งหนึ่ง

จึงทำให้สามารถใช้ลวดขนาดใหญ่ได้เกือบเต็มสล็อต ซึ่งจะสามารถควบคุมตำแหน่งของรากฟันได้ดีกว่าลวดขนาดเล็ก(Proffit and Fields, 1992)

Takemoto (1998) แนะนำให้ใช้ลวดที่เอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ชในการเคลื่อนฟันหน้าไปทางด้านหลัง ด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น เนื่องจากลวดดังกล่าวมีความแข็งตั้งอยู่ระหว่างลวดสเตนเลสสตีล และลวดนิกเกิล-ไททาเนียม จึงให้แรงดึงน้อยกว่าลวดสเตนเลสสตีลครึ่งหนึ่ง และให้แรงขนาดเบาและต่อเนื่องที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถดัดเกเบิลเบนด์หรือเพิ่มความโค้งให้แก่ลวดได้มากกว่าในกรณีที่ต้องการกดฟันหน้าลงในแนวโค้ง (intrusion)

Burstone and Koenig(1976), Burstone(1982)ได้เสนอแนะการใช้ที่ลูบที่ทำจากลวดที่เอ็มเอขนาด 0.017 x 0.025 นิ้ว ในลักษณะของเซกเมนต์เดดอาร์ชเทคนิค ซึ่งต่อมามีการดัดแปลงมาใช้ในลักษณะของลวดโค้งต่อเนื่อง โดยNanda and Kuhlberg(1997) ได้แนะนำการใช้ลวดที่เอ็มเอขนาด 0.017 x 0.025 นิ้วเป็นลวดที่ลูบคอนแทรกชันอาร์ช โดยให้ที่ลูบมีขนาดสูง 6-7 มม. และความกว้างส่วนฐาน 10 มม.วางตัวอยู่หลังต่อฟันเขี้ยว และเขาแนะนำให้ดัดลวดเพิ่มอัลฟาโมเมนต์และเบตาโมเมนต์ด้านหน้า และหลังต่อขาในแนวโค้งของที่ลูบตามลักษณะของสถานการณ์หลักยึดได้แก่ เบตาโมเมนต์ 40 ,30 และ 20 องศาสำหรับหลักยึดแบบ เอ, บี และ ซี ตามลำดับ แต่ลวดนี้ไม่ได้ยึดอยู่กับฟันทุกซี่ โดยเว้นฟันกรามน้อยซี่ที่สองไป(ในกรณีที่ยึดฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง) นอกจากนี้เขายังแนะนำให้ตรวจผู้ป่วยทุกเดือน และปรับลวดทุก 2-3 เดือน

หลักการพื้นฐานของไฟโตอีลาสติกเทคนิค

ไฟโตอีลาสติกเทคนิค คือ วิธีการวิเคราะห์ความเค้น ที่เกิดขึ้นในสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่เรียกว่า ไบรีฟรินเจนต์ หรือ ดับเบิลรีแฟรกชัน ซึ่งสามารถทำให้แสงลำแสงเดี่ยวเมื่อเดินทางผ่านสารขณะที่มีความเค้นอยู่ภายใน เกิดการแยกเป็นสองลำแสงและเดินทางด้วยความเร็วต่างกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลัก (principle stress) ภายในวัตถุ เทคนิคนี้นิยมใช้ในการวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในวัตถุที่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตหรือมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ลักษณะของความเค้นศึกษาจากภาพถ่ายจากเครื่องมือโพลาไรสโคป(Caputo and Standlee, 1987)

ทางทันตกรรมมีการศึกษาการกระจายความเค้นโดยวิธีไฟโตอีลาสติกอย่างแพร่หลายทั้งการกระจายความเค้นจากฟันปลอมถอดได้บางส่วนไปยังฟันที่มีระดับเนื้อเยื่อปริทันต์รองรับแตกต่างกัน(Itoh et al.,1998) ทั้งการศึกษาการกระจายความเค้นจากรีเทนทีฟฟัน และการเปรียบเทียบการกระจายความเค้นจากรีเทนทีฟฟันต่างชนิดกัน(Caputo, Standlee and Collard, 1973 ; Standlee, Collard and Caputo, 1970)

Caputo, Chaconas and Hayashi(1974) ได้ใช้วิธีโฟโตอีลาสติกมาทำการศึกษาสปริง เคลื่อนที่ขึ้นในทางทันตกรรมจัดฟันโดยศึกษาผลของขนาดแรง รูปร่างของลูป และเกเบิลแบนด์ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ขึ้นของฟันโดยใช้แบบจำลองสองมิติของฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สองและฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ที่ฝังตัวในสารผสมโซลิตเทน 113 เรซินกับซี 113-300 เคียวริงเอเจนต์ ซึ่งเป็นสารไบรีฟรินเจนต์ชนิดหนึ่ง พบว่าแบบจำลองโฟโตอีลาสติกให้ผลเป็นที่น่าพอใจ และสารที่ใช้ก็สามารถเป็นตัวแทนที่ดีของอวัยวะรองรับฟันได้ โดยมีความไวพอที่จะเห็นการถ่ายทอดแรงจากเครื่องมือจัดฟันได้ชัดเจน

de Alba, Chaconas and Caputo(1976) หล่อแบบจำลองสามมิติของกะโหลกศีรษะเพื่อใช้ศึกษาผลการกระจายความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือชนิดที่มีต่อฟัน กระดูกขากรรไกรล่างและกระดูกโครงสร้างใบหน้าและกะโหลกศีรษะ โดยวิธีโฟโตอีลาสติก พบว่าการศึกษาโดยวิธีนี้ใช้ได้ดีกับแบบจำลองที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่นกะโหลกศีรษะ

Chaconas, Caputo and Davis(1974) ใช้แบบจำลองสามมิติของกะโหลกศีรษะเพื่อศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดจากการใช้เครื่องมือจัดฟันนอกปากชนิดไฮพูลเฮดเกียร์และเซอร์วิคัลเฮดเกียร์ ที่มีต่อฟันในขากรรไกรบน กระดูกขากรรไกรบน และกระดูกส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการศึกษาโดยวิธีโฟโตอีลาสติกสามารถแสดงให้เห็นถึงความเค้นที่ถ่ายทอดผ่านรอยต่อกระดูกในส่วนลึกของกะโหลกศีรษะได้อย่างดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Perez et al.(1980) ซึ่งใช้วิธีโฟโตอีลาสติกศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นของฟันเขี้ยวด้วยเครื่องมือจัดฟันนอกปากชนิดเจสคู และ Stefanac et al.(1993) ซึ่งใช้แบบจำลองโฟโตอีลาสติกสามมิติของกะโหลกศีรษะเพื่อศึกษาแรงที่เกิดขึ้นในโครงสร้างกะโหลกจากการกระตุ้นของเครื่องมือจัดฟันไบโอเนเตอร์

ในประเทศไทย ทศนีย์ บัณฑราภรณ์(2529) ใช้วิธีการทางโฟโตอีลาสติกศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือเคลื่อนที่ขึ้นเขี้ยวชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นการศึกษาในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจนต์ และ รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์(2535) ได้ทำการศึกษาการกระจายความเค้นจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตนอินทลูซีฟอาร์ช และริกเกตส์ยูทิลิตี้อาร์ช และพบว่าสามารถแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงของเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้อย่างชัดเจน

Brodsky, Caputo and Furstman(1975) ทำการศึกษาลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากการดึงฟันเขี้ยวในแบบจำลองโฟโตอีลาสติกเปรียบเทียบกับลักษณะที่พบทางฮิสโตวิทยาจากการดึงฟันเขี้ยวแมวในแบบเดียวกัน พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างแบบจำลองโฟโตอีลาสติก กับชิ้นเนื้อเยื่อที่ตรวจดั่งนี้ บริเวณที่พบแรงดึงในแบบจำลองโฟโตอีลาสติก จะตรงกับบริเวณที่พบการยืดของเอ็นยึดปริทันต์ในชิ้นเนื้อเยื่อ และบริเวณที่พบแรงกดในแบบจำลอง ตรงกับ

บริเวณที่พบว่าเอ็นยึดปริทันต์ถูกกดในชั้นเนื้อเยื่อ นอกจากนี้บริเวณที่พบพริ้นจ์ลำดับสูงในแบบจำลอง ก็พบการตายของเนื้อเยื่อแบบไฮยาลินในเซชันในบริเวณเดียวกันของชั้นเนื้อเยื่อเช่นกัน

Asundi and Kishen(2000) ศึกษาการกระจายความเค้นจากผิวดรากฟันไปยังกระดูกรองรับรากฟัน โดยการวัดด้วยสเตรนเกจ และวิธีโฟโตอีลาสติกพบว่าลักษณะการกระจายความเค้นที่พบโดยวิธีโฟโตอีลาสติก สอดคล้องกับผลที่พบจากการวัดด้วยเครื่องมือสเตรนเกจ

หลักการของโฟโตอีลาสติก ประกอบด้วย

1. แบบจำลอง
2. วิธีการวิเคราะห์
3. เครื่องมือโพลาไรสโคป

1. แบบจำลอง

การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีการโฟโตอีลาสติกจะต้องใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจนต์ ตามลักษณะของโครงสร้างที่ต้องการศึกษา คุณสมบัติของสารมีลักษณะโปร่งใส ยืดหยุ่นได้ และมีคุณสมบัติสมลักษณะทางแสง (isotropic material) เมื่อได้รับแรงจะเปลี่ยนเป็นอสมลักษณะทางแสง (anisotropic material) เมื่อมองผ่านเครื่องมือโพลาไรสโคป ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ จะพบการตอบสนองต่อแสงโดยคลื่นแสงเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลักภายในวัตถุ การเปลี่ยนแปลงของแสงโพลาไรซ์จากความเค้นภายในกลายเป็นสองลำแสง ซึ่งเดินทางด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นต่างกัน ความเร็วของแสงขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นและผลของความเค้นปรากฏเป็นแถบสีในสาร ถ้าใช้แสงสีขาว จะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบสีทุกสีของสเปกตรัม แต่ถ้าใช้แสงสีเดียว ที่มีความถี่และความยาวคลื่นแสงเดียวกัน จะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบมืดและแถบสว่างแทน

2. วิธีการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติกเทคนิค(Caputo and Standlee, 1987)

2.1 การวิเคราะห์แบบสองมิติ

เป็นการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่สร้างด้วยสารไบรีฟรินเจนต์ ซึ่งมีรูปทรงสองมิติ โดยศึกษาในระนาบเดียว เช่น ระนาบด้านข้างของฟัน แรงที่กระทำต่อแบบจำลองจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันกับแบบจำลองนั้น

ข้อดีของวิธีนี้ คือ การสร้างแบบจำลองไม่ยุ่งยาก และสามารถให้แรงกระทำในสภาวะที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งต่อแบบจำลองเดียวกัน โดยนำมาทดสอบในสภาวะใหม่ได้ เนื่องจากไม่มีกระบวนการตัดแบบจำลองออกเป็นชิ้นๆ ทำให้นำแบบจำลองเดิมมาใช้ใหม่ได้ เมื่อทำให้ปราศจากความเค้นหลงเหลือ ก่อนนำมาทดสอบในครั้งต่อไป

ข้อด้อยของวิธีนี้ คือ ไม่สามารถเลียนแบบลักษณะตามธรรมชาติของโครงสร้างที่มีรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากการทดสอบในระนาบเดียว

2.2 การวิเคราะห์แบบสามมิติ

เป็นการศึกษาความเค้นในแบบจำลองที่สร้างจากสารไปริฟรินเจนต์ซึ่งมีรูปทรงสามมิติ วิธีนี้ภายหลังให้แรงกระทำต่อแบบจำลองแล้วต้องนำแบบจำลองไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนในเตาอบโดยค่อยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อยจนถึงอุณหภูมิวิกฤตของสารแล้วรักษาอุณหภูมิไว้ 5 ชม. จึงลดอุณหภูมิลงเท่าอุณหภูมิห้องเพื่อคงสภาพความเค้นไว้ภายในแบบจำลอง เรียกว่า ขบวนการสเตรสฟรีซซิง จากนั้นจึงนำแบบจำลองไปตัดเป็นแผ่นบางแล้วนำแต่ละชิ้นไปวิเคราะห์ความเค้น

ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถวิเคราะห์ความเค้นในโครงสร้างรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์

ข้อด้อยของวิธีนี้ คือ ยุ่งยาก และ เสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากการทดสอบแต่ละครั้งต้องใช้แบบจำลองใหม่

2.3 การวิเคราะห์แบบกึ่งสามมิติ

เป็นการศึกษาที่พัฒนามาจากการวิเคราะห์แบบสองมิติและแบบสามมิติ โดยใช้แบบจำลองที่มีลักษณะถูกต้องเหมือนจริงทั้งสามมิติ แต่ต่างจากการวิเคราะห์แบบสามมิติ เนื่องจากทำการสังเกตความเค้น และบันทึกไว้โดยไม่ต้องตัดแบบจำลอง และต่างจากการวิเคราะห์แบบสองมิติตรงที่ไม่จำกัดระนาบของแรงและความเค้น

ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถสังเกตความเค้นที่เกิดขึ้นในระบบแรงที่ซับซ้อนได้โดยไม่ต้องยุ่งยากมาก

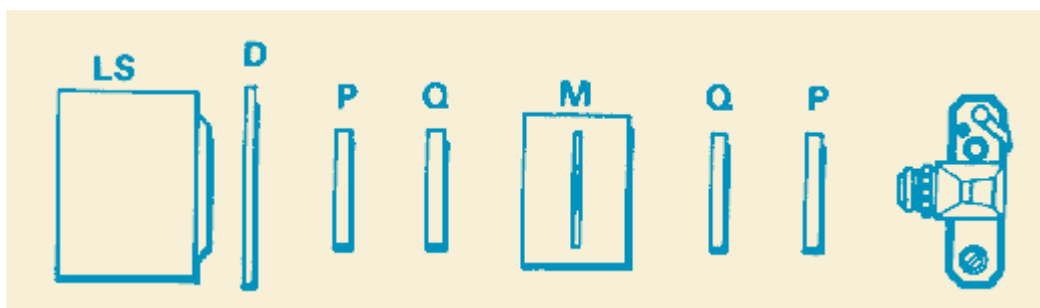
ข้อด้อยของวิธีนี้ คือ ไม่สามารถศึกษาการกระจายความเค้นได้เท่าวิธีวิเคราะห์แบบสามมิติ

2.4 การวิเคราะห์ร่วม

เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการแก้ปัญหาทางคลินิก โดยการใช่วิธีการหลายแบบร่วมกัน ได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสองมิติก่อน และนำไปเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์แบบสามมิติต่อไป

3. เครื่องมือโพลาไรสโคป

การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีโพโตอีลาสติก ใช้แสงในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ (visible light) โดยใช้เครื่องมือโพลาไรสโคป ซึ่งอาศัยกระบวนการโพลาไรเซชันและการรบกวน (interference) ของแสงที่เป็นคลื่นตามขวางมาอธิบาย ซึ่งส่วนของเครื่องมือประกอบด้วยดังรูป



รูปที่ 10 แสดงส่วนประกอบของเครื่องเซอร์คิวลารีโพลาไรสโคป

3.1 แหล่งกำเนิดแสง(LS) เป็นแสงสีขาวหรือแสงสีเดียว

3.2 โพลาริซเซอร์ (P) ทำหน้าที่กรองแสงจากแหล่งกำเนิดให้เหลือเพียง

ระนาบเดียว เรียกว่า แสงโพลาไรซ์ ในทางฟิสิกส์สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

3.2.1 แสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว (Plane polarized light)

3.2.2 แสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม (Circular polarized light)

3.2.3 แสงโพลาไรซ์เกลียววงรี (Elliptically polarized light)

ในทางปฏิบัติสามารถเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแบบเกลียววงกลมหรือเกลียววงรี หรือเปลี่ยนจากแบบเกลียวเป็นระนาบเดียวได้โดยใช้ควอเตอร์เวฟเพลต

3.3 ควอเตอร์เวฟเพลต (Q) คือแผ่นกรองแสงที่สามารถแยกระนาบการสั่นสะเทือนของลำแสงออกเป็น 2 ทิศทาง ทำมุมตั้งฉากต่อกัน และลำแสงทั้งสองมีความเร็วไม่เท่ากัน ในเครื่องมือเซอร์คิวลารีโพลาไรสโคป จะมีควอเตอร์เวฟเพลต 2 แผ่น ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

แผ่นที่ 1 วางต่อจากโพลาริซเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม เมื่อแสงผ่านแบบจำลองที่มีคุณสมบัติเป็นสารไบรีฟรินเจนต์ ซึ่งเมื่อได้รับแรงกระทำจะหักเหแสงออกเป็นสองลำแสงตั้งฉากกันตามแนวความเค้นหลักในวัตถุ แต่ละลำแสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามแกนที่เรียกว่า ฟาสแอกซิส และสโลว์แอกซิส

แผ่นที่ 2 ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลมกลับไปเป็นแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียวใหม่ โดยวางต่อจากแบบจำลองให้ฟาสแอกซิส ขนานกับ สโลว์แอกซิส ของควอเตอร์เวฟเพลต แผ่นแรก

3.4 อะนาไลเซอร์ เป็นโพลาริซเซอร์แผ่นที่ 2 วางต่อด้านหลังของควอเตอร์เวฟเพลตแผ่นที่ 2 การเปลี่ยนมุมของอะนาไลเซอร์ ให้ขนานหรือตั้งฉากกับ โพลาริซเซอร์แผ่นแรกและกับควอเตอร์เวฟเพลต จะให้ภาพเป็นภาพสว่างหรือภาพมืดก็ได้

การแปลผลพิจารณาดังต่อไปนี้

- จำนวนของแถบสีที่ปรากฏจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำ กล่าวคือ ถ้าจำนวนแถบมีมากกว่าแสดงถึงความรุนแรง (intensity) ของความเค้นที่สูงกว่า

- ความถี่ของไอโซโครมาติกพริન્ซ์ ถ้ายิ่งเข้าใกล้กันมากเท่าไร แสดงว่าความเข้มของความเค้น (stress concentration) ยิ่งมีค่าสูง
- การนับออดเดอร์ที่เกิดขึ้นจากการที่มีการให้แรงก็จะนับในลักษณะเป็น 1,2,3,4,..... และความเค้นในออดเดอร์ที่ 1 ก็จะเป็นการเกิดที่มีลักษณะที่มีความเค้นมากที่สุด

ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก

1. สามารถวัดความเค้นในแบบจำลองของโครงสร้างที่มีลักษณะซับซ้อนและมีรูปทรงไม่แน่นอนได้ เช่น โครงสร้างของอวัยวะต่างๆ ในช่องปาก กะโหลกศีรษะ เครื่องมือทางทันตกรรม ตลอดจนวัสดุบูรณะฟัน เช่น ฟันครอบ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม
2. สามารถวัดความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกระทำต่อโครงสร้างที่สนใจ เช่น แรงจากเครื่องมือจัดฟันต่อกระดูกเบ้าฟัน แรงจากการบิดเคี้ยวต่อวัสดุบูรณะฟันหรือใช้ในทางอุตสาหกรรมเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งและความเข้มของความเค้น ซึ่งสามารถบ่งชี้จุดอ่อนของโครงสร้างนั้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดความล้มเหลวจากการแตกหัก (brittle failure) ของวัตถุนั้น
3. สามารถวัดขนาดและตำแหน่งของความเค้นในแบบจำลองทั้งหมดได้ การวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก จะกระทำได้สำเร็จต้องประกอบไปด้วยการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสม วิธีการวิเคราะห์ และเครื่องมือโพลาไรสโคป ที่สอดคล้องและสัมพันธ์กัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

ประกอบด้วยแบบจำลองฟันและขากรรไกรบน ซึ่งจำลองลักษณะการเรียงตัวตามปกติของฟันในส่วนโค้งของขากรรไกรบน เมื่อถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไป โดยประกอบด้วย ฟันตัดซี่กลาง ฟันตัดซี่ข้าง ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามซี่ที่สอง โดยฟันทุกซี่เรียงตัวตามลักษณะส่วนโค้งขากรรไกรปกติ และฝังส่วนรากฟันอยู่ในสารไบรฟรินเจนต์ รูปโค้งตัวยู ซึ่งแทนลักษณะกระดูกเบ้าฟัน ฟันแต่ละซี่ติดเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก(Mini-diamond-Roth technic, Ormco) ฟรีแอดจัสท์สเตทไวร์แบรคเกต ขนาดสลอต 0.018 x 0.025 นิ้ว และเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น (Generation seven ,Ormco) ขนาดสลอต 0.018 x 0.025 นิ้ว

ลวดทีเอ็มเอทีลูบคอนแทรกชันอาร์ช ขนาด 0.017 x 0.025 นิ้ว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมแบบจำลองฟัน

1. ฟันสำเร็จรูป (B2-TA2,Nissin dental products Inc.) ทำจากยางอีพอกซี และแบบจำลองฟันและส่วนโค้งขากรรไกรสำเร็จรูป (i2D-400 C , Nissin dental products Inc.)
2. ลวดเบตา-ไททาเนียม(TMA, Ormco) ขนาดหน้าตัด 0.017 x 0.025 นิ้ว
3. แบรคเกตที่ใช้ติดบนผิวฟันด้านใกล้ริมฝีปากเฉพาะสำหรับฟันแต่ละซี่ และหลอดโลหะด้านใกล้แก้มขนาดเดียวกัน
4. แบรคเกตที่ใช้ติดบนผิวฟันด้านใกล้ลิ้นเฉพาะสำหรับฟันแต่ละซี่ และหลอดโลหะด้านใกล้ลิ้นแบบอินจ์แคปขนาดเดียวกัน
5. เรซินทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic resin) เพื่อยึดเครื่องมือติดบนผิวฟัน
6. เครื่องมือวัดตำแหน่งแบรคเกต ทีเออาร์จี (Torgue angulation reference guide)
7. วัสดุพิมพ์ปากซิลิโคน ชนิดพุดดี
8. แม่พิมพ์สเตนเลสสตีลสำหรับหล่อแบบจำลองฟันรูปโค้งตัวยูขนาดกว้าง 1.5 ซม. ความยาวส่วนโค้งรอบนอก 15 ซม. ความยาวส่วนโค้งรอบใน 11 ซม. ความสูง 5.5 ซม.
9. แม่พิมพ์พลาสติกขนาด 7x4x0.5 ซม.
10. โซลิเทน113 เรซิน เป็นของเหลวชั้นจำพวกยูรีเทนพรีโพลิเมอร์
11. ซี 113-300 เคียวริงเอเจนท์ เป็นของเหลวใส พวกโพลีเอทิลีน

12. เครื่องมือไล่ฟองอากาศระบบสูญญากาศ ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตรปรอท
13. เครื่องมือเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป
14. ไบมีตผ้าตัดเบอร์ 11 พร้อมด้ามจับ
15. วาสลิน
16. ฟูก้นเบอร์ 1
17. กระจกทวงความจุ 250 มิลลิลิตร
18. ขี้ผึ้งสีชมพู



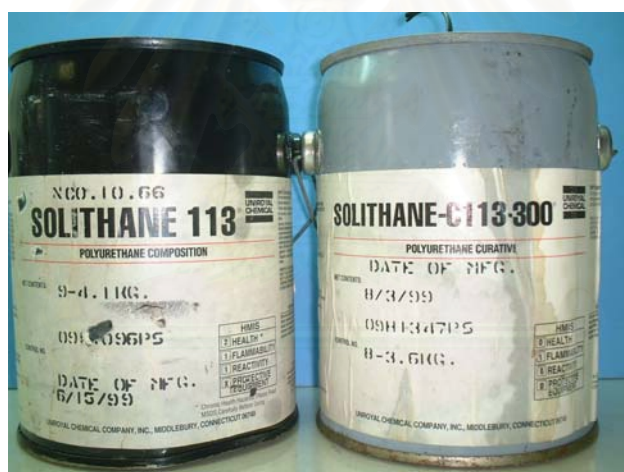
รูปที่ 11 แสดงแบบจำลองฟันสำเร็จรูป



รูปที่ 12 แสดงเครื่องมือวัดตำแหน่งแบรคเกต ที่เออาร์จี



รูปที่ 13 แสดงแม่พิมพ์สเตนเลสสตีลหล่อแบบจำลองฟัน



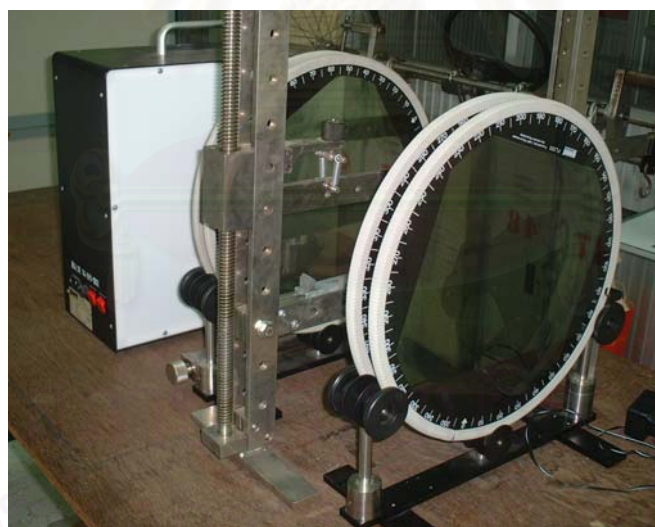
รูปที่ 14 แสดงสารโซลิเทน 113 เรซิน และซี 113-300 เคียวริงเอเจนท์ ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 15 แสดงอัตราส่วนระหว่างสารสองชนิด



รูปที่ 16 แสดงเครื่องมือไล่ง้ออากาศระบบสูญญากาศ



รูปที่ 17 แสดงเครื่องมือเซอร์คิวลาร์โพลาไรสโคป

ขั้นตอนการเตรียมลวด

1. พิมพ์แบบจำลองฟันสำเร็จรูปด้วยวัสดุพิมพ์ปากอัลจินเต
2. หล่อแบบจำลองฟันด้วยปูนหล่อแบบสำหรับจัดฟัน
3. นำแบบจำลองมาทำการติดแบรคเกตด้วยซี่ฝังสี่มุมโดยวิธี ดังนี้
 - 3.1 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก

3.1.1 บริเวณฟันตัดซี่กลาง ติดแบร็กเกตกึ่งกลางตัวฟัน โดยให้สลอตของแบร็กเกตขนานและห่างจากระนาบบดเคี้ยวประมาณ 4 มม.

3.1.2 บริเวณฟันตัดซี่ข้าง ติดแบร็กเกตกึ่งกลางตัวฟัน โดยให้สลอตของแบร็กเกตขนาน และห่างจากระนาบบดเคี้ยวประมาณ 3.5 มม.

3.1.3 บริเวณฟันเขี้ยว ติดแบร็กเกตกึ่งกลางตัวฟัน โดยให้สลอตของแบร็กเกตขนาน และห่างจากระนาบบดเคี้ยวประมาณ 4.5 มม.

3.1.4 บริเวณฟันกรามน้อย ติดแบร็กเกตกึ่งกลางตัวฟัน โดยให้สลอตของแบร็กเกตขนานและห่างจากระนาบบดเคี้ยว 3.5 มม.

3.1.5 บริเวณฟันกราม ติดหลอดโลหะด้านใกล้แก้ม ให้แนวแกนหลอดโลหะขนานและห่างจากระนาบบดเคี้ยวประมาณ 3.5 มม. และอยู่กึ่งกลางตัวฟัน

หลังการติดเครื่องมือ สลอตและแนวหลอดโลหะต้องอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน

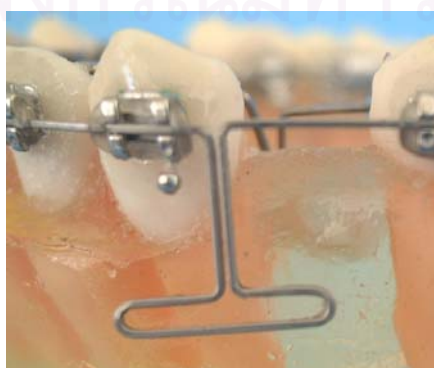
3.2 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

ใช้เครื่องมือ ทีเออาร์จี กำหนดระดับและมุมในการติดเครื่องมือบนผิวฟันด้านใกล้ลิ้นระดับที่เหมาะสมคือขอบด้านล่างของแบร็กเกต อยู่เหนือขอบเหงือกอย่างน้อย 1.5 มม. และระดับของไปท์เพลนห่างจากระนาบบดเคี้ยวประมาณ 2 มม. จากนั้นติดเครื่องมือจัดฟันลงบนผิวฟันด้วยซีเมนต์ซีเมนต์ โดยติดแบร็กเกตบริเวณฟันหน้า 6 ซี่ และฟันกรามน้อย ส่วนฟันกรามติดหลอดโลหะชนิดอินจ์แคป

4. หลังการติดเครื่องมือ สลอต และแนวหลอดโลหะต้องอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน จากนั้นตัดลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยลวดที่เอ็มเอหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.017×0.025 นิ้วตามแบบจำลอง โดยมีลักษณะ ดังนี้

4.1 ลวดที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก มีลักษณะเป็นส่วนโค้งต่อเนื่อง ที่มีที่ลูบ 2 อัน วางอยู่ห่างจากแบร็กเกตฟันเขี้ยว 1 มม.

และ ที่-ลูบดังกล่าว มีขนาดสูง 10 มม. ฐานกว้าง 10 มม. และรูปร่าง ดังรูป



รูปที่ 18 แสดงรูปร่าง และขนาดของที่ลูบ และลวดคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ริมฝีปาก

4.2 ลวดที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น มีลักษณะเป็นส่วนโค้งต่อเนื่อง ที่มี ที่ลูป 2 อันวางอยู่ห่างจากแบร็กเกตฟันเขี้ยว 1 มม.

และมี ที่-ลูปที่มีขนาดเท่ากับลูปทางด้านใกล้ริมฝีปาก ยกเว้นความยาวของขาทั้งสองข้างไม่เท่ากันเนื่องจากลักษณะกายวิภาคของผิวฟันบริเวณดังกล่าวมีความนูนแตกต่างกัน และลูปยังมีความเอียงตามลักษณะของเพดานปากบริเวณนั้นด้วย ดังรูป



รูปที่ 19 แสดงรูปร่าง และขนาดของที่ลูป และลวดคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ลิ้น

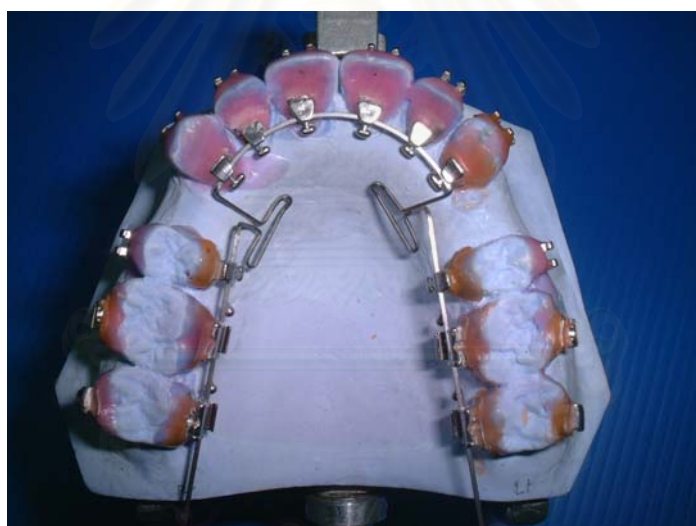


รูปที่ 20 แสดงแบบจำลองสำหรับการัดลวด

การัดลวดทำโดยผู้วิจัยคนเดียว โดยเริ่มจากการจำลองขนาดส่วนโค้งขากรรไกร และขนาดของลูปที่ถูกต้องบนกระดาษ และัดลวดตามแบบจนสามารถัดลวดได้รูปร่างที่ถูกต้อง จากนั้นัดลวดตามแบบจำลองรูปที่ 20 หลายครั้ง กระทั่งสามารถควบคุมขนาดของลวดได้ถูกต้องตามต้องการ



รูปที่ 21 แสดงการติดแบรacketด้วยเครื่องมือที่เออาร์จี



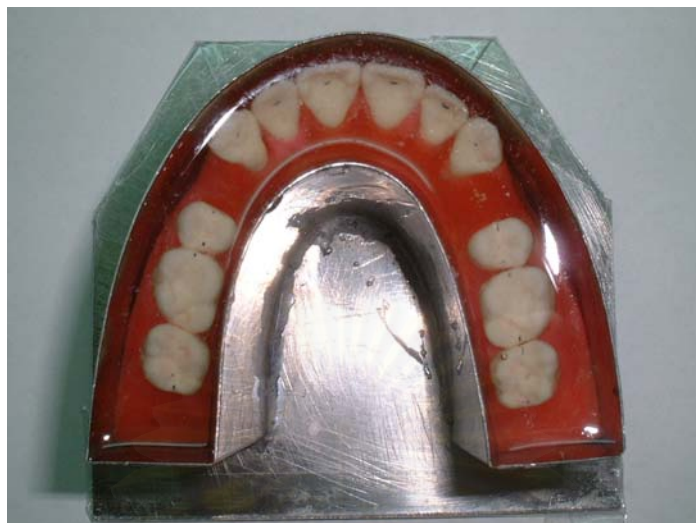
รูปที่ 22 แสดงแบบจำลองพร้อมลวดคอนแทรกชันอาร์ช

ขั้นตอนการเตรียมแบบจำลองฟัน

1. นำแบบจำลองฟันและส่วนโค้งขากรรไกรสำเร็จรูป มาถอดส่วนที่เป็นฟันออก และหล่อแบบด้วยวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคน ชนิดพุดตี รอยนแข็งตัว ดึงส่วนแบบจำลองออก
2. เทขี้ผึ้งสีชมพูเหลวลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน รอยนแข็งตัวจึงแกะออกจากแม่พิมพ์
3. เรียงฟันยางอีปอกซีลงในแบบจำลองขี้ผึ้งสีชมพูที่ได้ตามลักษณะดังกล่าวไว้ข้างต้น และแต่งรูปร่างของขี้ผึ้งให้เท่ากับขนาดของแม่พิมพ์สแตนเลสที่ตีและตกแต่งบริเวณขอบเหงือกให้พอดี
4. วางแบบจำลองขี้ผึ้งพร้อมลงในแม่พิมพ์สแตนเลสที่ทาวาลินไว้

ขั้นตอนการหล่อแบบจำลองฟันและขากรรไกร

1. นำโซลิตเทน 113 เรซิน ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และซี 113-300 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร มาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชม. แล้วผสมกันคนให้ทั่ว
 2. นำไปกำจัดฟองอากาศในเครื่องมือไล่ฟองอากาศจนกว่าจะหมดฟอง (ประมาณ 30 นาที)
 3. เทสารผสมลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้จนสารผสมคลุมส่วนตัวฟันหมดทุกซี่ แล้วทิ้งให้แข็งตัว 48 ชม. เป็นส่วนที่ยึดตัวฟันไว้ด้วยกันในตำแหน่งที่ถูกต้อง
 4. ไล้ซี 113 ออกจากแบบจำลองทั้งหมด
 5. ตวงโซลิตเทน 113 เรซิน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปไล่ฟองอากาศจนหมด (ประมาณ 30 นาที) และนำมาผสมกับซี 113-300 ปริมาตร 73 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิห้อง
 6. นำสารผสมไปกำจัดฟองอากาศจนหมด (ประมาณ 90 นาที)
 7. เทของเหลวที่ผสมไว้ลงในแม่พิมพ์สเตนเลส และแม่พิมพ์พลาสติกที่ทาวาสลินไว้ ช้าๆ โดยไม่ทำให้เกิดฟองอากาศจนเต็ม แล้วปล่อยให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม.
 8. แกะส่วนแม่พิมพ์ออก ค่อยๆ ตัดส่วนวัสดุที่ยึดตัวฟันไว้ด้วยกันออก และตัดแต่งส่วนเกินให้เรียบร้อย เช็ดผิวแบบจำลองให้สะอาดด้วยผ้าแห้งที่สะอาด จะได้แบบจำลอง 2 ชั้น โดยชั้นแรกเป็นแบบจำลองเฉพาะสารไปรีพรีนเจนต์ ซึ่งนำไปใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของสารเพื่อหาค่าเอฟเฟกต์เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเสื่อมของสารที่ใช้หล่อแบบจำลองฟันตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง และแบบจำลองอีก 1 ชั้น เป็นแบบจำลองซึ่งเลียนแบบลักษณะการเรียงตัวของฟัน และกระดูกขากรรไกรบน ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดลองโดยบนฟันแต่ละซี่ติดอุปกรณ์ได้แก่ แบร็กเกต และหลอดโลหะ ที่บริเวณกึ่งกลางตัวฟัน
 9. ติดแบร็กเกต และหลอดโลหะบนตัวฟันด้วยเรซินทางทันตกรรมจัดฟัน ให้มีตำแหน่งใกล้เคียงกับในแบบจำลองที่ใช้ตัดลวดมากที่สุด โดยใช้ลวดที่เอ็มเอคอนแทรกชันอาร์ชเป็นตัวนำตำแหน่งเครื่องมือ
 10. ใช้มีดตัดแบบจำลองบริเวณที่มีฟันกรามซี่ที่หนึ่งและซี่ที่สองฝั่งตัวอยู่ออกด้านหนึ่งเพื่อไม่ให้บังแสงขาวที่จะส่องผ่านแบบจำลองบริเวณที่จะศึกษา
- หลังการติดเครื่องมือ สลัดและแนวหลอดโลหะต้องอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน ซึ่งเมื่อใส่ลวดที่เอ็มเอคอนแทรกชันอาร์ช ชนิดที่ลูบ แล้ว โดยก่อนการปรับลวดให้มีแรงกระทำ ลวดดังกล่าวต้องมีลักษณะพาสซีฟคือไม่มีแรงกระทำต่อฟัน
- แบบจำลองที่ติดเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดเป็นแบบจำลองชุดเดียวกัน และนำมาใช้ศึกษาตลอดการทดลอง



รูปที่ 23 แสดงการทดสอบผสมเพื่อเป็นส่วนที่ยึดตัวฟันทุกซี่ไว้ด้วยกัน



รูปที่ 24 แสดงแบบจำลองฟันก่อนการแกะส่วนที่ยึดตัวฟัน



รูปที่ 25 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง

การจัดกระทำ

นำลวดคอนแทรกชันอาร์ช แต่ละชนิดมายึดบนแบบจำลองพื้นด้วยวงแหวนยางเฉพาะสำหรับลวดทางด้านใกล้ริมฝีปาก และสำหรับลวดทางด้านใกล้ลิ้นยึดโดยวิธีดับเบิลโอเวอร์ทาย โดยให้ขาด้านใกล้กลางของ ที่ลูปอยู่ห่างจากแบรคเกตพื้นเขี้ยว 1 มม. แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีโฟโตอีลาสติก ด้วยเครื่องมือเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป ในขณะที่ทำให้เครื่องมือมีแรงกระทำในแนวระนาบขนาด 0, 100, 200, 300, 400 กรัมต่อข้าง

การรวบรวมข้อมูล

1. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1.1 อุปกรณ์ของเครื่องเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป ประกอบด้วย

- แหล่งกำเนิดแสงขาว
- โพลาริเซอร์ และ อะนาไลเซอร์
- ควอเตอร์เวฟเพลต 2 แผ่น โดยที่แผ่นแรกกำหนดให้ทำมุม 45 องศา กับ

โพลาริเซอร์ และแผ่นที่สองทำมุม 90 องศา กับแผ่นแรก

- กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

1.2 แบบจำลองขากรรไกรบน พร้อมทั้งลวดคอนแทรกชันอาร์ช

2. วิธีการรวบรวมข้อมูล

2.1 ก่อนการทดสอบกับเครื่องเซอร์คิวลาร์โพลาริสโคป เพื่อศึกษาการกระจาย

ความเค้น ผู้วิจัยได้ตรวจสอบระยะทางในการปรับรูปเพื่อให้มีขนาดของแรงตามที่กำหนดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำลวดคอนแทรกชันอาร์ช ทั้ง 2 ชนิดไปใช้งานโดยมีขนาดของแรงที่ถูกต้องตามที่กำหนด(รายละเอียดศึกษาในภาคผนวก)

2.2 ศึกษารูปแบบการกระจายความเค้นมาตรฐานเมื่อให้แรงขนาด 0 ,100, 200 , 300, 400 กรัมต่อข้างตามลำดับ กระทำต่อพื้นหน้าทั้ง 6 ซี่ แล้วถ่ายภาพลำดับของแถบสีที่ปรากฏที่บริเวณพื้นเขี้ยว และพื้นกรามซี่ที่หนึ่ง

2.3 ศึกษาการกระจายของความเค้น ที่เกิดจากเครื่องมือแต่ละชนิด ที่ขนาดแรงต่างๆ ตามลำดับ โดยการนับจำนวนแถบสีที่เกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงขาว โดยการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ครั้งแรกสังเกตการเคลื่อนที่ของรูปแบบแถบสี และครั้งที่สองทำการทดลองซ้ำ และถ่ายภาพลำดับของแถบสีที่ปรากฏจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวเพื่อนำไปแปลผลต่อไป และลักษณะการกระจายความเค้นจะนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ข้อสรุปถึงรูปแบบการเคลื่อนที่พื้นด้วยเครื่องมือแต่ละชนิด

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์การกระจายความเค้นบริเวณพื้นหน้า กระทำที่บริเวณพื้นเขี้ยว เนื่องจากอยู่บริเวณด้านข้างของแบบจำลอง ทำให้เห็นการกระจายความเค้นได้ชัดเจน และศึกษาบริเวณพื้นที่ที่ 1 เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่แข็งแรงที่สุดในกลุ่มพื้นหลังทำให้ถูกพิจารณาเป็นพื้นที่หลักในการเคลื่อนที่

ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้น

1. การกระจายของความเค้นมาตรฐานซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบกระทำต่อพื้นเขี้ยว (รูปที่ 26)

1.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสีขาวด้านข้างของรากฟันตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟัน

พบแถบสีขาวและเหลืองที่บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง

แถบลีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง

1.2 ขนาดแรง 50 กรัม

ด้านไกลกลาง แถบสีขาวมีการกระจายไปทางด้านไกลกลาง และ ปลายรากมากขึ้นไปจนต่อเนื่องกับแถบสีเหลืองที่เกิดขึ้นบริเวณปลายรากฟัน ซึ่งแสดงถึงความเค้นดึงบริเวณปลายราก

แถบสีขาวบริเวณด้านใกล้กลางมีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง และปลายราก ซึ่งแสดงถึงความเค้นอัด

1.3 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสีเหลือง และแดง ในออกเดอรัที่ 1 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน ส่วนแถบสีขาวมีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านไกลกลาง ส่วนแถบสีเหลืองบริเวณปลายรากมีความกว้างมากขึ้นมาทางคอฟัน และทางด้านใกล้กลาง

ด้านใกล้กลางมีลักษณะการกระจายความเค้นคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 50 กรัม

1.4 ขนาดแรง 150 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสีฟ้าในออกเดอรัที่ 1 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน ส่วนแถบสีเหลือง, แดง กระจายต่อเนื่องกับแถบสีเหลืองบริเวณปลายรากฟันซึ่งมีความกว้างมากขึ้น

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองเข้มขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น

1.5 ขนาดแรง 200 กรัม

ด้านไถลกลางพบแถบสีแดงในออเดอร์ทที่ 2 เกิดที่บริเวณยอดกระดูกเข้าฟัน และแถบสีในออเดอร์ทที่ 1 มีการกระจายกว้างมากขึ้นไปทางด้านไถลกลางและปลายราก จนถึงปลายรากฟัน
ด้านไถลกลาง พบแถบสีต่างๆมากขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น

1.6 ขนาดแรง 250 กรัม

ด้านไถลกลาง แถบสีแดง และเหลืองในออเดอร์ทที่ 2 มีการกระจายลึกลงมาตามความยาว
ราก

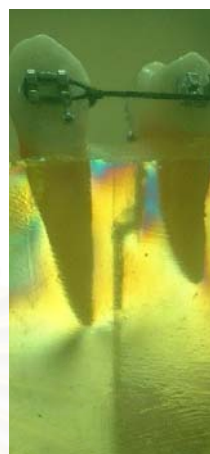
ด้านไถลกลางพบแถบสีต่างๆมากขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



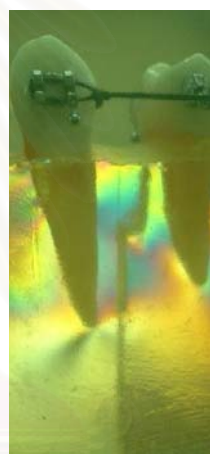
แรง 0 กรัม



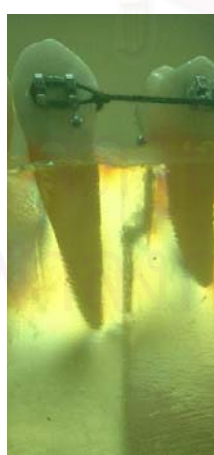
แรง 150 กรัม



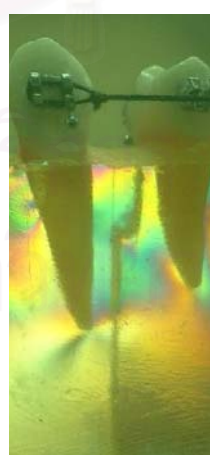
แรง 50 กรัม



แรง 200 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 250 กรัม

รูปที่ 26 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันเขียวในแนวระนาบ

2. การกระจายของความเค้นมาตรฐานซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งกระทำต่อพื้นเขียว(รูปที่ 27)

2.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านไถลกลางพบแถบสีขาวด้านข้างของรากฟันตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟัน

พบแถบสีขาวและเหลืองที่บริเวณปลายรากฟันด้านไถลกลาง

แถบลีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง

2.2 ขนาดแรง 50 กรัม

ด้านไถลกลางแถบสีขาวด้านข้างของรากฟันมีการกระจายไปทางด้านไถลกลาง

บริเวณปลายรากฟันด้านไถลกลางพบแถบสีม่วงซึ่งเกิดจากแถบสีแดงและฟ้าที่อยู่ชิดกัน

พบแถบสีขาว เหลือง แดง ที่บริเวณปลายรากฟัน แสดงถึงการเริ่มเกิดความเค้นอัดใน

แนวตั้ง

2.3 ขนาดแรง 100 กรัม

พบแถบสีฟ้าบริเวณปลายรากด้านไถลกลาง ต่อเนื่องตั้งแต่ปลายรากฟันขึ้นมาทางคอฟันเกือบถึงยอดกระดูกเบ้าฟัน

พบแถบสีฟ้าบริเวณปลายรากด้านไถลกลาง

แถบสี ขาว เหลืองบริเวณปลายรากฟันมีความกว้างมากขึ้นไปทางปลายรากฟันแสดงถึง

ความเค้นอัดในแนวตั้งที่มากขึ้น

2.4 ขนาดแรง 150 กรัม

แถบสีฟ้าบริเวณด้านไถลกลางมีการกระจายกว้างออกไปทางด้านไถลกลางมากขึ้น

แถบสีฟ้า และเหลือง บริเวณปลายรากด้านไถลกลางมีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านไถล

กลาง และคอฟัน

การกระจายความเค้นบริเวณปลายรากคล้ายกับที่ขนาดแรง 100 กรัมแต่มีความเข้มมาก

ขึ้น

2.5 ขนาดแรง 200 กรัม

พบแถบสีเหลืองในออกเตอร์ที่ 2 บริเวณตั้งแต่กึ่งกลางความยาวรากฟันจนถึงปลายรากฟันด้านไถลกลาง

แถบสีฟ้า และเหลืองบริเวณปลายรากด้านไถลกลาง มีการกระจายไปทางด้านไถลกลาง

ทางคอฟัน และทางรากฟันด้วย แสดงถึงความเค้นบริเวณปลายรากที่มากขึ้นและกระจายมาก

ขึ้นมาทางคอฟัน

บริเวณปลายรากฟันพบแถบสีเหลือง แดง ฟ้า ซึ่งต่อเนื่องมาจากแถบสีด้านไถลกลาง

ปรากฏชัดเจน ซึ่งแสดงถึงความเค้นอัดในแนวตั้งอย่างมาก

2.6 ขนาดแรง 250 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสีแดงในออเดอร์ที่ 2 บริเวณตั้งแต่กึ่งกลางความยาวรากฟัน จนถึง 3/4 ของความยาวรากฟัน แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 และแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีความกว้างมากขึ้นไปทางด้านไกลกลางและปลายราก

ด้านใกล้กลาง เกิดแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 และแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีการกระจายกว้างขึ้นมาทางด้านใกล้กลาง และกระจายไปทางด้านรากฟันด้วย แสดงถึงความเค้นอัดบริเวณปลายรากที่มากขึ้น

บริเวณปลายรากฟันพบการกระจายความเค้นคล้ายกับที่ขนาดแรง 200 กรัม แต่มีความเข้มมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แรง 0 กรัม



แรง 150 กรัม



แรง 50 กรัม



แรง 200 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 250 กรัม

รูปที่ 27 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันซี่ในแนวตั้ง

3. การกระจายของความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากแรงในแนวระนาบกระทำต่อพืนกราม(รูปที่ 28)

3.1 ขนาดแรง 0 กรัม

พบแถบสีขาวกระจายตลอดความยาวรากด้านใกล้กลาง และแถบสีเหลืองกระจายตั้งแต่ยอดกระดูกเข้าฟันถึง $2/3$ ของความยาวรากฟัน แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง

3.2 ขนาดแรง 50 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง และฟ้า บริเวณยอดกระดูกเข้าฟัน และลึกลงมาถึง $1/2$ ของความยาวรากฟัน แถบสีเหลืองเดิมกระจายลึกถึงปลายรากฟัน และกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง

3.3 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลือง, แดง, ฟ้า และเขียว ในออดเดอร์ที่ 1 กระจายจากยอดกระดูกเข้าฟันกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง และลึกลงไปทางรากฟัน

3.4.ขนาดแรง 150 กรัม

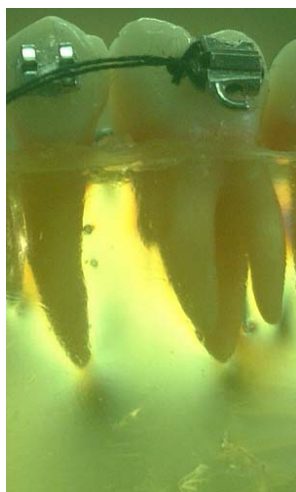
พบการกระจายความเค้นคล้ายคลึงกับที่แรง 100 กรัม แต่มีความเข้มมากขึ้น และการกระจายกว้างและลึกขึ้น

3.5 ขนาดแรง 200 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออดเดอร์ที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเข้าฟัน และแถบสี เหลือง แดง ฟ้า เขียวในออดเดอร์ที่ 1 กระจายไปทางด้านใกล้กลาง และลึกถึงปลายรากฟัน

3.6 ขนาดแรง 250 กรัม

พบการกระจายของแถบสีในออดเดอร์ที่ 1 กว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและอยู่ใกล้กันมาก แสดงถึงความเข้มของความเค้นมาก และแถบสีเหลืองในออดเดอร์ที่2 มีการกระจายตั้งแต่ยอดกระดูกเข้าฟันลึกถึง $2/3$ ของความยาวรากฟัน



แรง 0 กรัม



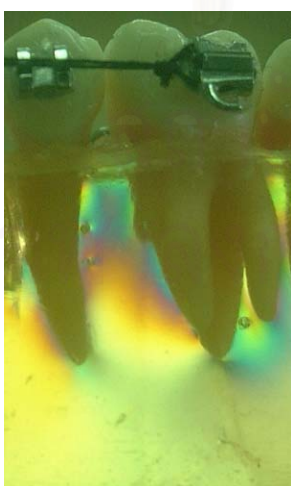
แรง 150 กรัม



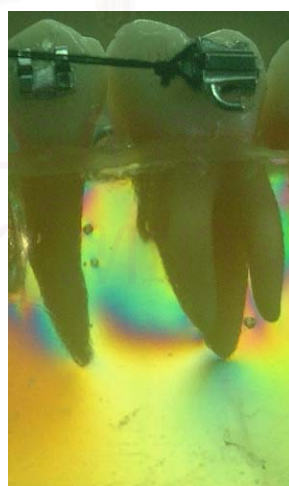
แรง 50 กรัม



แรง 200 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 250 กรัม

รูปที่ 28 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันกรามในแนวระนาบ

4. การกระจายของความเค้นมาตรฐานซึ่งเกิดจากแรงในแนวตั้งกระทำต่อพินกราม(รูปที่ 29)

4.1 ขนาดแรง 0 กรัม

พบแถบสีขาวกระจายตลอดความยาวรากด้านใกล้กลาง และแถบสีเหลืองกระจายตั้งแต่ยอดกระดูกเข้าฟันถึง $2/3$ ของความยาวรากฟัน แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง

4.2 ขนาดแรง 50 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสี แดง และ ฟ้ำในออเดอรัที่ 1 ที่บริเวณรอยต่อระหว่าง $1/3$ กับ $2/3$ ของความยาวรากฟัน แถบสีขาว และเหลืองเดิม มีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและลึกลงไปทางปลายรากฟัน

4.3 ขนาดแรง 100 กรัม

พบแถบสี แดง และ ฟ้ำในออเดอรัที่ 1 ที่บริเวณด้านข้างรากฟันด้านใกล้กลางตั้งแต่ $1/2$ ของความยาวรากฟันไปถึงปลายรากฟัน และแถบสีเขียวในออเดอรัที่ 1 ที่บริเวณรอยต่อระหว่าง $1/3$ กับ $2/3$ ของความยาวรากฟัน แถบสีขาวมีความกว้างมากขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง และปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นอัดในแนวตั้งที่ชัดเจน

4.4 ขนาดแรง 150 กรัม

พบแถบสีเขียวในออเดอรัที่ 1 และแถบสีเหลืองในออเดอรัที่ 2 เกิดที่บริเวณด้านข้างรากฟันด้านใกล้กลาง ตั้งแต่ $1/2$ ของความยาวรากจนถึงปลายรากฟัน และแถบสีต่างๆในออเดอรัที่ 1 เดิม มีการเคลื่อนตัวขึ้นมาทางคอฟันมากขึ้น และมีความกว้างมากขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นอัดในแนวตั้งที่มากขึ้น

4.5 ขนาดแรง 200 กรัม

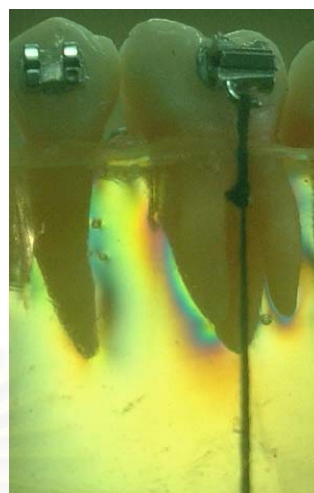
การกระจายความเค้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 150 กรัมแต่แถบสีมีการเคลื่อนตัวไปทางด้านคอฟันมากขึ้น และมีความกว้างมากขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟัน

4.6 ขนาดแรง 250 กรัม

การกระจายความเค้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 200 กรัมแต่แถบสีมีการเคลื่อนตัวไปทางด้านคอฟันมากขึ้น และมีความกว้างมากขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟัน



แรง 0 กรัม



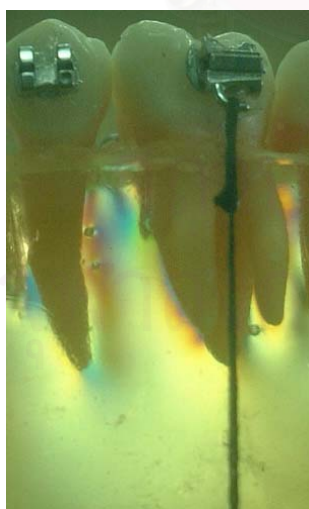
แรง 150 กรัม



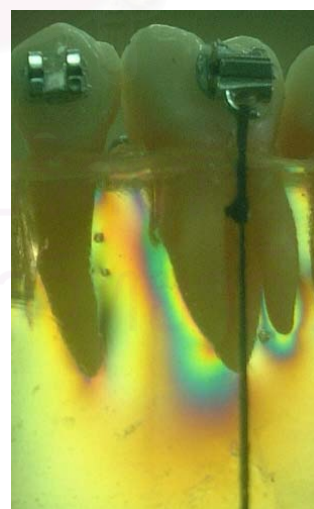
แรง 50 กรัม



แรง 200 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 250 กรัม

รูปที่ 29 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นมาตรฐานจากแรงที่เกิดขึ้นต่อฟันกรามในแนวตั้ง

5. การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวจากการดึงพื้นหน้า 6 ซึ่งพร้อมกันไปทางด้านหลัง ด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก(รูปที่ 30)

5.1.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านใกล้กลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเกิดขึ้นโดยพบแถบสีขาวในออกเดอรัที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายไปตามด้านข้างของรากฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟันและยังพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบปลายรากฟัน

แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

5.1.2 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออกเดอรัที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจนถึงบริเวณ 2/3 ของความยาวรากฟันและแถบสีขาวเดิมกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง แสดงถึงการเกิดความเค้นอัดโดยเฉพาะบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายรากด้านใกล้กลางมีการกระจายของแถบสีขาวกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลางแสดงถึงความเค้นดึง และลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณนี้มีการกระจายไปทางปลายรากฟันด้วยแสดงถึงแรงดึงในแนวตั้งร่วมด้วย

5.1.3 ขนาดแรง 200 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง, ม่วง, ฟ้ำ ในออกเดอรัที่ 1 เกิดตั้งแต่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายจนถึงบริเวณ 1/2 ของความยาวรากฟันส่วนแถบสีเหลืองกระจายลงมาจนถึงบริเวณ 3/4 ของความยาวรากฟัน และแถบสีขาวเดิมกระจายไปทางด้านใกล้กลางมากขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น

บริเวณปลายรากด้านใกล้กลางมีการกระจายของแถบสีขาวกว้างมากขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง และปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นดึงมากขึ้นและแรงดึงที่มากขึ้นด้วย

5.1.4 ขนาดแรง 300 กรัม

ด้านใกล้กลาง แถบสีฟ้ำ ในออกเดอรัที่ 1 มีการเคลื่อนตัวมาถึง 2/3 ของความยาวรากฟัน และพบแถบสีเขียวในออกเดอรัที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายลงมาด้านข้างของรากฟันจนถึง 1/2 ของความยาวรากฟัน ส่วนแถบสีเหลืองกระจายเกือบถึงปลายรากฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออกเดอรัที่ 1 กระจายไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นดึงและแรงดึงในแนวตั้งที่มากขึ้น

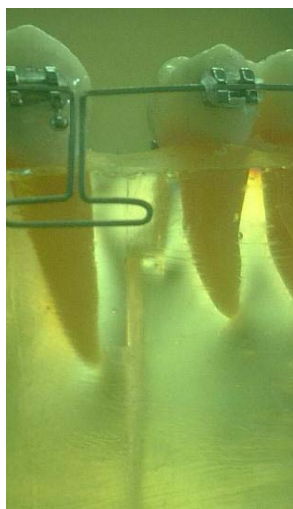
5.1.5 ขนาดแรง 400 กรัม

ด้านไถลกลางพบแถบสีเหลือง, แดง ในออเดอร์ทที่ 2 เกิดบริเวณยอดกระดูกบ้าฟัน และกระจายถึง 1/2 ของความยาวรากฟัน แถบสีในออเดอร์ทที่ 1 มีการกระจายมาทางปลายรากฟัน มากขึ้น

บริเวณปลายรากฟันด้านไถลกลางพบลักษณะการกระจายความเค้นคล้ายคลึงกับ ที่ขนาดแรง 300 กรัม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



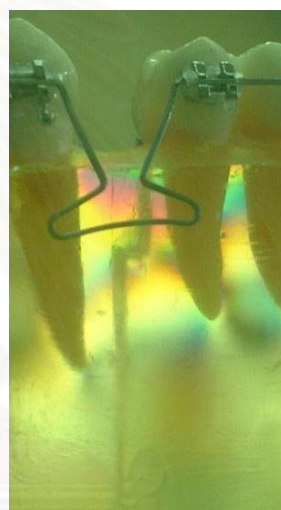
แรง 0 กรัม



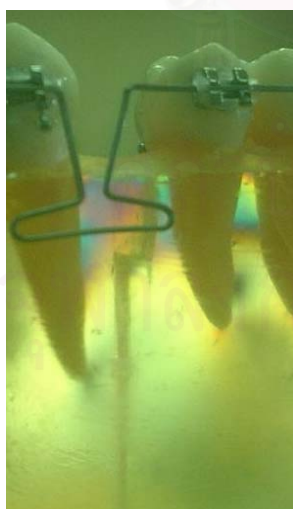
แรง 300 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 400 กรัม



แรง 200 กรัม

รูปที่ 30 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันซี่ยาวจากการดึงฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม

5.2 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น(รูปที่ 31)

5.2.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านไกลกลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเกิดขึ้นโดยพบแถบสีขาวในออดเตอร์ที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายไปตามด้านข้างของรากฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟันและยังพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบปลายรากฟัน

แถบลีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

5.2.2 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและแถบสีขาวเดิมกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านไกลกลาง แสดงถึงการเกิดความเค้นอัดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลือง, แดง, ฟ้า ในออดเตอร์ที่ 1 เกิดขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดอย่างมาก

5.2.3 ขนาดแรง 200 กรัม

ด้านไกลกลาง แถบสีเหลืองบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านไกลกลาง และปลายรากฟันถึงบริเวณ 1/3 ของความยาวรากฟัน และแถบสีขาวเดิมกระจายลงมาถึงบริเวณ 2/3 ของความยาวรากฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง พบแถบสีฟ้า ซึ่งแสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น เช่นเดียวกับแถบสีฟ้าที่เกิดบริเวณด้านไกลกลางของปลายรากฟัน ซึ่งแสดงถึงความเค้นดึง

5.2.4 ขนาดแรง 300 กรัม

ด้านไกลกลางพบแถบสี แดง, ฟ้า, เขียว ในออดเตอร์ที่ 1 บริเวณใกล้ยอดกระดูกเบ้าฟัน กระจายถึง 1/4 ของความยาวรากฟัน โดยมีการกระจายของแถบสีอยู่ค่อนข้างชิดกัน แสดงถึงความเข้มของความเค้นอัดมากที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีเหลืองและขาวมีการกระจายมาถึง 2/3 ของรากฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง พบแถบสีเขียวเกิดขึ้นแสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น เช่นเดียวกับบริเวณปลายรากฟันด้านไกลกลาง พบแถบสีฟ้า ที่เข้มมากขึ้นแสดงถึงความเค้นดึงที่มีความเข้มมาก

5.2.5 ขนาดแรง 400 กรัม

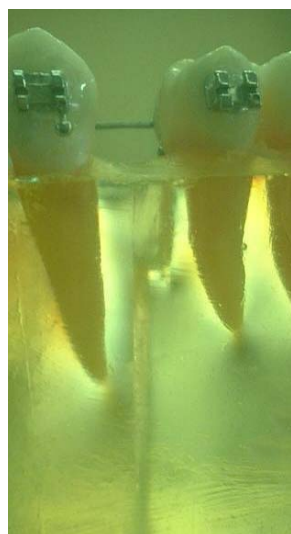
ด้านไกลกลาง พบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีในออดเตอร์ที่ 1 กระจายถึงบริเวณ 3/4 ของความยาวรากฟัน

บริเวณปลายรากฟัน มีลักษณะการกระจายความเค้นใกล้เคียงกับที่ขนาดแรง

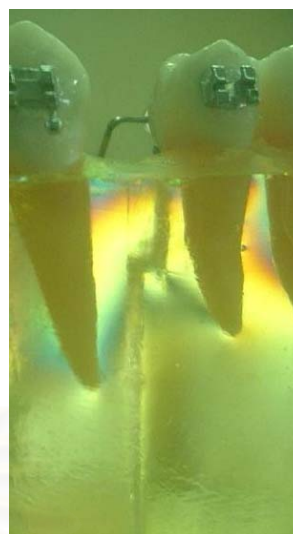
300 กรัม



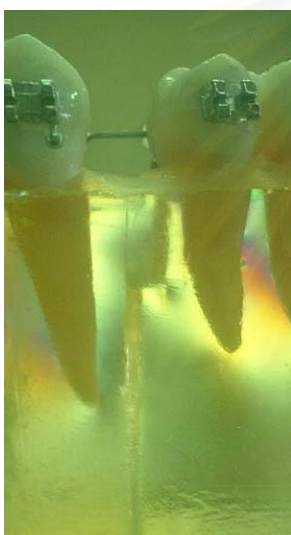
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แรง 0 กรัม



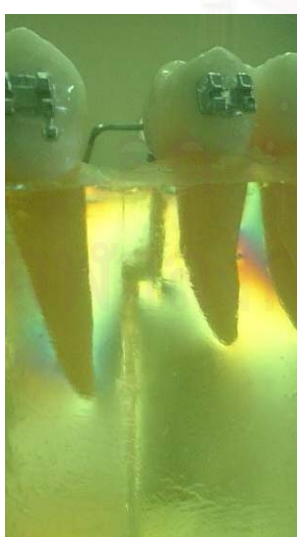
แรง 300 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 400 กรัม



แรง 200 กรัม

ศูนย์บริการ
รณัฒมหาวิทยาลัย

รูปที่ 31 แสดงลักษณะ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันซี่ยาวจากการดิ่งฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม

6. การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพินกรามซี่ที่หนึ่งจากการดึงพินหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก(รูปที่ 32)

6.1.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านใกล้กลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบรากฟัน และแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 ตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึง 1/2 ของรากฟัน

แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

6.1.2 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง และ ฟ้ำในออเดอร์ที่ 1 สะสมอยู่ที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีเหลืองเดิม มีความกว้างมากขึ้นและกระจายถึง 1/2 ของรากฟัน และแถบสีขาวมีการกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลาง แสดงถึงการเริ่มเกิดความเค้นอัด

6.1.3 ขนาดแรง 200 กรัม

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันลึกลงมาถึง 1/2 ของรากฟัน และแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีการกระจายถึงปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นอัดที่ยอดกระดูกเบ้าฟันมากขึ้น และพบแถบสีเหลืองค่อนข้างเข้มบริเวณปลายรากทางด้านใกล้กลางที่กว้างขึ้นแสดงถึงความเค้นดึง

บริเวณปลายของรากฟันทางด้านใกล้พบการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวซึ่งมีทิศทางการกระจายไปทางปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นจากแรงกดในแนวตั้ง

6.1.4 ขนาดแรง 300 กรัม

ด้านใกล้กลางพบการกระจายของแถบสีในออเดอร์ที่ 2 เข้มขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น และบริเวณปลายรากด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง และฟ้ำกระจายไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นดึง และแรงในแนวตั้งที่มากขึ้น

บริเวณปลายของรากฟันทางด้านใกล้พบการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวที่แผ่กว้างขึ้นโดยมีทิศทางการกระจายไปทางปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นจากแรงกดที่มากขึ้น

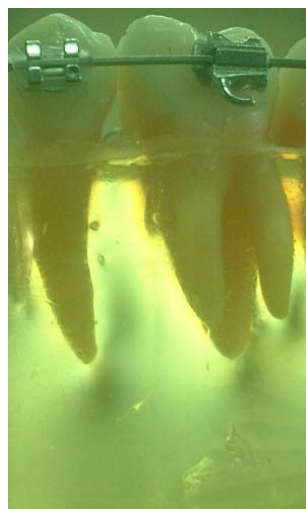
6.1.5 ขนาดแรง 400 กรัม

ด้านใกล้กลางพบการกระจายของแถบสีคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 300 กรัมแต่การกระจายของแถบสีเหลืองลึกลงมาทางปลายรากมากขึ้นถึง 1/3 ของความยาวรากฟัน

บริเวณปลายของรากฟันทางด้านใกล้เพดานพบการกระจายความเค้นเป็นแถบสีฟ้า และขาว กระจายไปทางปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นในแนวตั้งที่ชัดเจนมากขึ้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แรง 0 กรัม



แรง 300 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 400 กรัม



แรง 200 กรัม

รูปที่ 32 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งจากการดึงฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม

6.2 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น(รูปที่ 33)

6.2.1 ขนาดแรง 0 กรัม

ด้านใกล้กลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบรากฟัน และแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 1 ตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึง 1/2 ของรากฟัน

แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

6.2.2 ขนาดแรง 100 กรัม

ด้านใกล้กลางพบการกระจายของแถบสีเหลือง แดง ฟ้ำ และ เขียว ในออดเตอร์ที่ 1 กระจายลึกถึงปลายรากฟันแต่ความเข้มไม่มาก และพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 กระจายจากยอดกระดูกเบ้าฟันลงมาตามความยาวรากฟันจนถึง 2/3 ของความยาวรากฟัน แสดงถึงความเค้นอัดที่กระจายตลอดความยาวรากฟัน

6.2.3 ขนาดแรง 200 กรัม

การกระจายของแถบสีคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 100 กรัม แต่มีความเข้มมากขึ้น แสดงถึงปริมาณความเค้นที่มากขึ้น

6.2.4 ขนาดแรง 300 กรัม

พบการกระจายของแถบสีคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 200 กรัม แต่มีความเข้มมากขึ้นชัดเจนถึงตลอดความยาวรากฟัน และพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 สະสมบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายมาจนถึง 1/3 ของรากฟัน

6.2.5 ขนาดแรง 400 กรัม

พบการกระจายของแถบสีคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 200 กรัม แต่แถบสีเขียวในออดเตอร์ที่ 1 มีการกระจายลึกลงมาตามความยาวรากฟันมากขึ้น แถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีความกว้างมากขึ้นและกระจายลึกลงมาจนถึง 1/3 ของความยาวรากฟัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แรง 0 กรัม



แรง 300 กรัม



แรง 100 กรัม



แรง 400 กรัม



แรง 200 กรัม

รูปที่ 33 แสดงลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันกรามซี่ที่หนึ่งจากการดิ่งฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลังด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นร่วมกับลวด คอนแทกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 0-400 กรัม

7. การเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นเขี้ยวจากการดึงพื้นหน้า 6 ซี่พร้อมกัน ไปทางด้านหลังระหว่างเครื่องมือจัดฟัน 2 ชนิดร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรงขนาด 200, 400 กรัม (รูปที่ 34)

7.1 ขนาดแรง 0 กรัม

7.1.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเกิดขึ้นโดยพบแถบสีขาว ในออดเตอร์ที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายไปตามด้านข้างของรากฟันจนถึงบริเวณปลายรากฟันและพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบปลายรากฟัน

แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมีลักษณะ เหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

7.1.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

พบลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

7.2 ขนาดแรง 200 กรัม

7.2.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง, ม่วง, ฟ้ำ ในออดเตอร์ที่ 1 เกิดตั้งแต่บริเวณ ยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายจนถึงบริเวณ 1/2 ของความยาวรากฟัน แถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 1 กระจายลงมาจนถึงบริเวณ 3/4 ของความยาวรากฟัน และแถบสีขาวกระจายกว้างไปทางด้านใกล้ กลาง แสดงถึงความเค้นอัดกระจายจากยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายรากด้านใกล้กลางมีการกระจายของแถบสีขาวกว้างขึ้นไป ทางด้านใกล้กลางแสดงถึงความเค้นดึง และลักษณะการกระจายความเค้นบริเวณนี้มีการกระจาย ไปทางปลายรากฟันด้วยแสดงถึงแรงดึงในแนวตั้งร่วมด้วย

7.2.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 1 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้า ฟัน กระจายกว้างไปทางด้านใกล้กลาง และปลายรากฟันถึงบริเวณ 1/3 ของความยาวรากฟันและ แถบสีขาวกระจายกว้างขึ้นไปทางด้านใกล้กลางและลงมาถึงบริเวณ 2/3 ของความยาวรากฟัน แสดงถึงการเกิดความเค้นอัดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง แถบสีขาวมีการกระจายกว้างขึ้นไป ทางด้านใกล้กลาง และพบแถบสีฟ้า ในออดเตอร์ที่ 1 เกิดขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดอย่างมาก เช่นเดียวกับแถบสีฟ้าที่เกิดบริเวณด้านใกล้กลางของปลายรากฟัน ซึ่งแสดงถึงความเค้นดึง

7.3 ขนาดแรง 400 กรัม

7.3.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลือง, แดง ในออเดอริที่ 2 เกิดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และกระจายถึง 1/2 ของความยาวรากฟัน แถบสีในออเดอริที่ 1 มีการกระจายมาทางปลายรากฟันมากขึ้น

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออเดอริที่ 1 กระจายไปทางด้านใกล้กลางและปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นดึงและแรงดึงในแนวตั้งที่มากขึ้น

7.3.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอริที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีเหลือง แดง ฟ้ำ เขียวในออเดอริที่ 1 กระจายถึงบริเวณ 3/4ของความยาวรากฟัน

บริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง พบแถบสีเขียวก่เกิดขึ้นแสดงถึงความเค้นอัดที่มากขึ้น เช่นเดียวกับบริเวณปลายรากฟันด้านใกล้กลาง พบแถบสีฟ้า เข้มมากขึ้นแสดงถึงความเค้นดึงที่มีความเข้มมาก



รูปที่ 34 เปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันซี่ขวจากการดึงฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลัง ด้วยแรงขนาด 0, 200, 400 กรัม ระหว่างเครื่องมือสองชนิด

8. การเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นกรามซี่ที่ 1 จากการดึงพื้นหน้า 6 ซี่ พร้อมกันไปทางด้านหลังระหว่างเครื่องมือจัดฟัน 2 ชนิดร่วมกับลวดคอนแทรกชันอาร์ช ด้วยแรง ขนาด 200, 400 กรัม (รูปที่ 35)

8.1 ขนาดแรง 0 กรัม

8.1.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบลักษณะการกระจายความเค้นเป็นแถบสีขาวรอบราก ฟัน และ แถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 1 ตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึง 1/2 ของรากฟัน

แถบสีดังกล่าวแสดงถึงน้ำหนักของฟันที่กระทำต่อแบบจำลอง ซึ่งมี ลักษณะเหมือนกับในแบบจำลองขณะที่ไม่มีลวดอยู่

8.1.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

พบลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

8.2 ขนาดแรง 200 กรัม

8.2.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันลึก ลงมาถึง 1/2 ของรากฟัน และแถบสีเหลือง แดง ฟ้ำในออดเตอร์ที่ 1 มีการกระจายลึกถึงปลายรากฟัน แสดงถึงความเค้นอัดที่ยอดกระดูกเบ้าฟันมากขึ้น และพบแถบสีเหลืองค่อนข้างเข้มบริเวณปลาย รากทางด้านใกล้กลางแสดงถึงความเค้นดึง

บริเวณปลายของรากฟันทางด้านใกล้เพดานพบการกระจายความเค้นเป็นแถบสี ฟ้ำและขาวซึ่งมีทิศทางการกระจายไปทางปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นจากแรงกดในแนวตั้งที่ มากขึ้น

8.2.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

ด้านใกล้กลางพบการกระจายของแถบสีเหลือง แดง ฟ้ำ และ เขียว ในออดเตอร์ที่ 1 กระจายลึกถึงปลายรากฟัน และพบแถบสีเหลืองในออดเตอร์ที่ 2 กระจายจากยอดกระดูกเบ้าฟัน ลงมาตามความยาวรากฟันจนถึง 2/3 ของความยาวรากฟัน แสดงถึงความเค้นอัดที่กระจายตลอด ความยาวรากฟัน

8.3 ขนาดแรง 400 กรัม

8.3.1 เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ด้านใกล้กลางพบการกระจายของแถบสีในออดเตอร์ที่ 2 เข้มขึ้น แสดงถึงความ เค้นอัดที่มากขึ้น และบริเวณปลายรากด้านใกล้กลางพบแถบสีแดง และฟ้ำกระจายไปทางด้านใกล้ กลาง และปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นดึงและแรงในแนวตั้งที่มากขึ้น

บริเวณปลายของรากฟันทางด้านใกล้เพดานพบการกระจายความเค้นเป็นแถบสี

ฟ้า และขาวกระจายไปทางปลายรากฟันแสดงถึงความเค้นในแนวตั้งที่ชัดเจน

8.3.2 เครื่องมือทางด้านใกล้ขึ้น

พบการกระจายของแถบสีคล้ายคลึงกับที่ขนาดแรง 200 กรัม แต่แถบสีเขียวในออดเดอร์ที่ 2 มีการกระจายลึกลงมาตามความยาวรากฟันมากขึ้น แถบสีเหลืองในออดเดอร์ที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีความกว้างมากขึ้นและกระจายลึกลงมาจนถึง $1/3$ ของความยาวรากฟัน



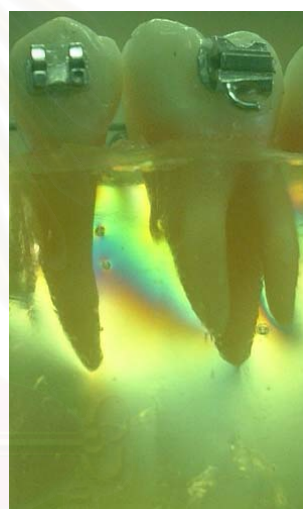
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. แรง 0 กรัม



ข. แรง 200 กรัม



ค. แรง 400 กรัม



รูปที่ 35 เปรียบเทียบลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันกรามซี่ที่ 1 จากการดึงฟันหน้า 6 ซี่พร้อมกันไปทางด้านหลัง ด้วยแรงขนาด 0, 200, 400 กรัมระหว่างเครื่องมือสองชนิด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยที่ได้ใช้วิธีการโฟโตอีลาสติกในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในแบบจำลองฟัน เมื่อดึงฟันหน้า 6 ซี่ไปทางด้านหลังพร้อมกันด้วยลวดคอนแทรกชันอาร์ช ชนิดที่ลู่ป รวมกับเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปากและทางด้านใกล้ลิ้น

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การกระจายความเค้นที่บริเวณฟันเขี้ยวเมื่อได้รับแรงดึงตั้งแต่ 0-400 กรัม

1.1 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก

พบว่าเริ่มมีการเคลื่อนแบบทึบปึงของตัวฟันไปทางด้านใกล้กลางตั้งแต่ที่ขนาดแรง 100 กรัม ร่วมกับแรงดึงลง(extrusion)ที่ชัดเจน และเมื่อให้แรงมากขึ้นเป็น 200,300,400 กรัมจะส่งผลให้เกิดทึบปึงของตัวฟันมาทางด้านใกล้กลางมากขึ้นรวมทั้งแรงดึงที่มากขึ้นด้วย

1.2 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

พบว่าเริ่มมีการเคลื่อนแบบทึบปึงของตัวฟันไปทางด้านใกล้กลาง และรากฟันไปทางด้านใกล้กลางตั้งแต่ที่ขนาดแรง 100 กรัม และเมื่อให้แรงขนาด 200 กรัม จะมีการเคลื่อนของตัวฟัน และรากฟันมากขึ้น เมื่อให้แรงมากขึ้นเป็น 300,400 กรัมจะส่งผลให้เกิดทึบปึงของตัวฟันมาทางด้านใกล้กลางมากขึ้น

1.3 เปรียบเทียบการกระจายความเค้นระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิดเมื่อได้รับแรงดึงฟันเท่ากัน

พบว่าเครื่องมือทั้ง 2 ชนิดทำให้เกิดการเคลื่อนตัวฟันแบบทึบปึงไปทางด้านใกล้กลางแต่เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้เกิดขนาดความเค้นมากกว่า และกระจายความเค้นไปตามความยาวรากฟันได้ดีกว่าและสม่ำเสมอมากกว่าจึงทำให้เกิดการทึบปึงน้อยกว่า คือมีการเคลื่อนที่เข้าใกล้ความเป็นบอดิสิมากกว่า และทำให้เกิดการเคลื่อนฟันได้ดีกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น ซึ่งมีการสะสมความเค้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมากกว่า และยังทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทึบปึงของรากฟันมาทางด้านใกล้กลาง นอกจากนี้เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้เกิดแรงดึงลงในแนวตั้งที่ชัดเจนมากกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

2. การกระจายความเค้นที่บริเวณฟันกรามเมื่อได้รับแรงดึงตั้งแต่ 0-400 กรัม

2.1 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก

พบว่าเริ่มมีการกระจายความเค้นในลักษณะที่ทำให้มีการเคลื่อนที่แบบทึบปึงของตัวฟันมาทางด้านใกล้กลาง และรากฟันไปทางด้านใกล้กลางตั้งแต่ที่ขนาดแรง 100 กรัม รวมทั้งมี

แรงกดฟันในแนวตั้ง และเมื่อให้แรงมากขึ้นเป็น 200-400 กรัมพบว่ามีการเคลื่อนที่แบบทวิปิงของ ตัวฟันและรากฟัน รวมทั้งแรงกดในแนวตั้งที่มากขึ้นด้วย

2.2 เครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

พบว่า เริ่มมีการกระจายความเค้นในลักษณะที่ทำให้มีการเคลื่อนที่แบบทวิปิงของ ตัวฟันมาทางด้านใกล้กลาง ตั้งแต่ที่ขนาดแรง 100 กรัมและเมื่อให้แรงมากขึ้นเป็น 200-400 กรัม พบว่ามีการเคลื่อนที่แบบทวิปิงของตัวฟันมากขึ้น โดยไม่พบลักษณะการเกิดแรงในแนวตั้งที่ชัดเจน

2.3 เปรียบเทียบการกระจายความเค้นระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิดเมื่อได้รับแรงดึง ฟันเท่ากัน

เครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดการกระจายความเค้นได้ดีกว่าเครื่องมือ จัดฟันชนิดทางด้านใกล้ริมฝีปาก ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่แบบทวิปิงของฟันที่เข้าใกล้ความเป็นบอดีลี มากกว่า แม้ว่าเครื่องมือทั้งสองชนิดทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทวิปิงของตัวฟันไปทางด้านใกล้ กลางเช่นเดียวกันแต่เครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากยังทำให้เกิดการทวิปิงของรากฟันไปทางด้าน ใกล้กลาง และทำให้เกิดแรงกดฟันหลังในแนวตั้งที่ชัดเจนมากกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น

อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการกระจายความเค้นในทางทันตกรรมกระทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีโฟโต - อีลาสติก และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีหลักการที่แตกต่างกันอย่างมาก ในทางทันตกรรมมี การศึกษาการกระจายความเค้นโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างแพร่หลายเช่น การกระจายความเค้น จากฟันปลอมถอดได้ (Itoh et al., 1998) การกระจายความเค้นจากรีเทนทีฟฟัน (Caputo, Standlee and Collard, 1973 ; Standlee, Collard and Caputo, 1970) ในทางทันตกรรมจัดฟันก็มี การศึกษาการกระจายความเค้นจากสปริงเคลื่อนฟันเขี้ยว (Caputo, Chaconas and Hayashi, 1974) จากเครื่องมือชนิดที่มีต่อฟัน กระดูกโครงสร้างใบหน้าและกะโหลกศีรษะ (de Alba, Chaconas and Caputo, 1976) จากเครื่องมือจัดฟันนอกช่องปากชนิดไฮพูลเฮดเกียร์และเซอร์วิ คัลเฮดเกียร์ (Chaconas, Caputo and Davis, 1974) และเครื่องมือจัดฟันนอกช่องปากชนิดเจสุค (Perez et al., 1980) และเครื่องมือจัดฟันไปโอเนเตอร์ (Stefanac et al., 1993)

ในประเทศไทย ทศนิยม บัณฑิตวารวิวัฒน์(2529) ใช้วิธีการทางไฟโตอีลาสติกศึกษาการ กระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นการศึกษาในแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นจากสารไปริฟรินเจนต์ และ รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์(2535) ได้ทำการศึกษาการกระจาย ความเค้นจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สเตนอินทลูซีฟอาร์ช และวิกเกตส์ยูทิลิตี้อาร์ช และพบว่า สามารถแสดงให้เห็นลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงของเครื่องมือชนิดต่างๆ ได้ อย่างชัดเจน

Brodsky, Caputo and Furstman(1975) ศึกษาลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากการดึงพื้นใยในแบบจำลองไฟโตอีลาสติกเปรียบเทียบกับลักษณะที่พบทางฮิสโตวิทยาจากการดึงพื้นใยแมวในแบบเดียวกัน พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างลักษณะการกระจายความเค้นที่พบในแบบจำลองไฟโตอีลาสติก กับลักษณะทางฮิสโตวิทยา โดยบริเวณที่พบแรงดึงในแบบจำลองไฟโตอีลาสติก จะตรงกับบริเวณที่พบการยืดของเอ็นยึดปริทันต์ในชั้นเนื้อเยื่อ และบริเวณที่พบแรงกดในแบบจำลอง ตรงกับบริเวณที่พบว่าเอ็นยึดปริทันต์ถูกกดในชั้นเนื้อเยื่อ นอกจากนี้บริเวณที่พบพริ้นจ์ลำดับสูงในแบบจำลอง ก็พบการตายของเนื้อเยื่อแบบไฮยาลินในเซชันในบริเวณเดียวกันของชั้นเนื้อเยื่อเช่นกัน

Chaconas, Caputo and Brunetto (1990) เปรียบเทียบการกระจายความเค้นรอบรากฟันที่เกิดจากเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้น กับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปาก โดยใช้วิธีไฟโตอีลาสติก โดยให้แรงดึงพื้นหน้า 4 ซีไปทางด้านหลังพร้อมกัน ด้วยเฮลิคัลเวอร์ติคัลลูปคอนแทรกชันอาร์ช พบว่ารูปแบบการกระจายความเค้นมีความคล้ายคลึงกันมาก แต่ความเข้มของแถบสีที่เกิดจากเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นมากกว่า ซึ่งแสดงถึงขนาดของความเค้นที่มากกว่า ซึ่งเขาอธิบายว่าเกิดเนื่องจากระยะระหว่างแบรเกตของเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นสั้นกว่า โดยเฉพาะบริเวณพื้นหน้าล่าง และความยาวของลวดสำหรับเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นก็สั้นกว่า เป็นผลให้การดึงลวดระยะทางที่เท่ากัน ทำให้เกิดขนาดของแรงที่แตกต่างกันระหว่างเครื่องมือ 2 ชนิด ซึ่งสนับสนุนโดยผลจากการศึกษาที่พบว่าลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดแรงน้อยกว่าลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากประมาณครึ่งหนึ่ง และพบว่าเมื่อควบคุมขนาดแรงดึงพื้นหน้าให้เท่ากัน เครื่องมือทั้งสองชนิดทำให้เกิดลักษณะการกระจายความเค้นแตกต่างกัน โดยที่เครื่องมือทางด้านลิ้นทำให้เกิดการเคลื่อนพื้นหน้าแบบทึบปึงมากกว่า

การศึกษานี้มุ่งศึกษาถึงผลจากความแตกต่างของกายวิภาคพื้นทางด้านใกล้ลิ้นและทางด้านใกล้ริมฝีปากและอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเคลื่อนพื้น ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Tanne ,Lu and Sakkuda(1992) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยสร้างแบบจำลองฟันตัดหนึ่งซี่ เพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่และการกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงซึ่งกระทำไปทางด้านลิ้นที่จุดออกแรงต่างๆกันในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนฟัน และแรงในแนวตั้งขนานกับแนวแกนฟัน โดยไม่คำนึงถึงลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ออกแรงกระทำต่อฟัน ซึ่งเมื่อคำนวณโดยวิธีดังกล่าวเขาพบว่ารูปแบบการกระจายแรงในเอ็นยึดปริทันต์ และการเคลื่อนที่ของฟันไม่แตกต่างกันระหว่างจุดออกแรงทางด้านใกล้ริมฝีปากและจุดออกแรงทางด้านใกล้ลิ้น นอกจากนี้แรงที่กระทำในแนวตั้งไปทางรากฟันซึ่งเกิดจากจุดออกแรงบนผิวพื้นทางด้านใกล้ลิ้นจะทำให้ฟันเคลื่อนที่และกระจายแรงได้ดีกว่าจุดออกแรงบนผิวพื้นด้านใกล้ริมฝีปาก

การใช้คอนแทรกชันลูปเพื่อเคลื่อนพื้นหน้าพร้อมกันทั้ง 6 ซี่ไปทางด้านหลัง มีข้อดี คือ ปราศจากแรงเสียดทานระหว่างลวดกับแบร็กเก็ตจึงมีโอกาสควบคุมหลักยึดได้ง่ายกว่า และใช้เวลาในการเคลื่อนพื้นน้อยกว่า แต่มีข้อด้อยคือ กระจ่างได้ยากกว่าสไลด์ดิงแมคานิกส์ และต้องอาศัยความชำนาญมากกว่า นอกจากนี้การใช้ที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชสามารถควบคุมทอร์กบริเวณพื้นหน้าบนได้ดีกว่าสไลด์ดิงแมคานิกส์ และทำให้เกิดการกดพื้นหน้าล่างน้อยกว่าด้วย (Takemoto, 1998)

การใช้ลวดทีเอ็มเอ มีข้อดีคือมีความแข็งแรงตั้งอยู่ระหว่างลวดสเตนเลสสตีล และลวดนิกเกิล-ไททาเนียม จึงให้แรงดึงน้อยกว่าลวดสเตนเลสสตีลครึ่งหนึ่ง และให้แรงขนาดเบาและต่อเนื่องที่ดีกว่า และลวดทีเอ็มเอมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะโค้งหรือดัดเป็นส่วนที่มีลูปรูปร่างซับซ้อน เช่น ลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่มีลูป การที่ลวดทีเอ็มเอให้แรงน้อยกว่าลวดสเตนเลสสตีลครึ่งหนึ่ง จึงทำให้สามารถใช้ลวดขนาดใหญ่ได้เกือบเต็มสล็อต ซึ่งจะสามารถควบคุมตำแหน่งของรากฟันได้ดีกว่าลวดขนาดเล็ก (Proffit and Fields, 1992) นอกจากนี้ยังสามารถดัดเปิดเบนด์หรือเพิ่มความโค้งให้แก่ลวดได้มากกว่าในกรณีที่ต้องการกดพื้นหน้าลงในแนวตั้ง ซึ่ง Takemoto, 1998 ได้แนะนำให้ใช้ลวดทีเอ็มเอขนาด 0.017x0.025 นิ้วดัดเป็นลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชในการเคลื่อนพื้นหน้าไปทางด้านหลัง ด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้นในกรณีที่ต้องเคลื่อนพื้นหน้าไปในระยะทางมากพร้อมกับคงสภาพทอร์กบริเวณพื้นหน้าไว้

การใช้ที่ลูปมีข้อดี คือลูปดังกล่าวให้อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับลูปอื่นที่ใช้ทั่วไปในขนาดลูปที่สูงเท่ากัน ได้แก่ เฮอร์ติคัลลูป (Siatkowski, 1997) และ ดับเบิลเดลตา (นิรมล อธิรัตน์, 2535) เนื่องจากรูปร่างของที่ลูปซึ่งเมื่อถูกดึงให้มีแรงกระทำต่อพื้น ลวดจะเอียงทำมุมในลักษณะคล้ายเกเบิลเบนด์ขึ้นโดยอัตโนมัติทำให้เกิดโมเมนต์กระทำต่อพื้นขึ้น และการที่ที่ลูปมีปริมาณลวดรวมทั้งลวดในแนวระนาบมากทำให้เป็นที่ยอมรับว่าทำให้เกิดอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่สูง ซึ่ง Siatkowski, 1997 พบว่ารูปร่างลักษณะของที่ลูปมีผลต่ออัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรง โดยความสูงลูปมีผลมากที่สุด รองลงมาคือความกว้างของฐานฐานในแนวระนาบ ส่วนรัศมีของลูป และความชิดของขาในแนวตั้งมีผลน้อย ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าที่ลูปที่ทำให้เกิดอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงสูง คือจะต้องมีความสูงมาก และมีความกว้างของฐานลูปในแนวระนาบมาก จากการศึกษาของเขาพบว่าที่ลูปที่ทำจากลวดสเตนเลสสตีลขนาดความสูง 10 มม. และฐานกว้าง 10 มม. ที่มีขนาดเท่ากับในการศึกษานี้มีค่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรง 7.7 ซึ่งมากกว่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงของทีเอ็มเอที่ลูปที่คำนวณได้ในการศึกษา (ภาคผนวก ก ตารางที่ 3) ซึ่งเนื่องมาจากระยะทางระหว่างแบร็กเก็ตในการศึกษานี้สั้นกว่าคือมีระยะ 12 มม. เทียบกับการศึกษาของ Siatkowski, 1997 ซึ่งมีระยะ 13 มม.

เป็นที่ทราบดีว่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงมีความสำคัญต่อลักษณะการเคลื่อนฟัน การเคลื่อนฟันแบบบอดิลีต้องให้แรงพร้อมแรงคู่ควบที่ทำให้ได้อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงประมาณ 8-10 ในกรณีฟันรากเดี่ยว ส่วนการเคลื่อนฟันหน้าบนทั้ง 6 ที่แบบบอดิลีต้องมีอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรง 8.4 (Siatkowski, 1997) แม้ว่าการทดลองนี้ไม่สามารถวัดค่าโมเมนต์ทั้งหมดที่กระทำต่อฟันทั้งส่วนโค้งขากรรไกร แต่จากการคำนวณโมเมนต์ที่เกิดในบริเวณที่ลูบยึดอยู่โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ เช่นเดียวกับการศึกษาโดย Siatkowski, 1997 พบว่าลูบทั้งทางด้านใกล้ลิ้นและทางด้านใกล้ริมฝีปากให้ค่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงไม่ถึง 8.4 (ภาคผนวก ก ตารางที่ 3 และ 4) ในทางปฏิบัติเมื่อต้องการใช้ลูบประเภทนี้ในการดึงฟันหน้าแบบบอดิลีจึงควรตัดเกเบิลเบนด์ที่ขาของลูบเพื่อเพิ่มโมเมนต์ให้แก่ลูบ (Burstone and Koenig, 1976 ;Burstone, 1982 ; Proffit and Fields, 1992) แต่การศึกษานี้ต้องการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของลวดที่ลูบคอนแทรกชันอาร์ชและเพื่อเปรียบเทียบลูบที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันทั้งสองชนิดที่ถูกบังคับรูปร่างโดยลักษณะทางกายวิภาคของช่องปากและฟันบริเวณที่เครื่องมือยึดอยู่จึงมิได้ตัดเกเบิลเบนด์

ลักษณะพริ้นท์ที่พบในการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการกระจายความเค้นที่เกิดจากลวดที่ลูบคอนแทรกชันอาร์ชร่วมกับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปากและทางด้านใกล้ลิ้นที่ชัดเจน 2 ประการ ประการแรกพบว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้ฟันหน้าเคลื่อนที่เกือบเป็นบอดิลีมากกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ที่พบว่า อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงบริเวณฟันหน้าของลูบทางด้านใกล้ริมฝีปากมีค่ามากกว่าเช่นกันโดยอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงของลูบทางด้านใกล้ริมฝีปากมีค่า 6.8 และของลูบทางด้านใกล้ลิ้นมีค่า 4.9 (ภาคผนวก ก ตารางที่ 3 และ 4) แสดงให้เห็นว่าความนุ่มของผิวฟันทางด้านใกล้ลิ้นของฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยที่แตกต่างกัน ทำให้ลูบทางด้านใกล้ลิ้นมีรูปร่างแตกต่างจากลวดลูบทางด้านใกล้ริมฝีปาก คือมีขาในแนวตั้งด้านใกล้กลางสั้นกว่าปกติซึ่งมีผลให้อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงลดลง ซึ่งสนับสนุนโดยผลการศึกษาโดย Siatkowski, 1997 ที่พบว่าความสูงของลูบมีผลต่ออัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงมากที่สุด นอกจากนี้การศึกษานี้ยังพบว่ารูปร่างลักษณะของลูบมีผลต่อขนาดแรงที่เกิดขึ้นจากการปรับลูบด้วย เนื่องจากการที่ลูบทางด้านใกล้ลิ้นมีขาสั้นลงข้างหนึ่งทำให้ปริมาณลวดในลูบลดลง อัตราส่วนโพลติเฟลกชันจึงสูงขึ้น ดังนั้นลูบทางด้านใกล้ลิ้นจึงทำให้เกิดแรงมากกว่าเมื่อปรับลวดในระยะทางเท่ากัน การศึกษานี้พบว่าขนาดแรงจากลูบทางด้านใกล้ลิ้นมากกว่าลูบทางด้านใกล้ริมฝีปากประมาณเท่าหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaconas, Caputo and Brunetto (1990) ซึ่งเปรียบเทียบการกระจายความเค้นรอบรากฟันที่เกิดจากลวดบลูเอลจิลอยคอนแทรกชันอาร์ชชนิดเฮลิคัลเวอริติคัลลูบร่วมกับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้น กับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปาก ด้วยวิธีไฟไนต์อีลาสติก โดยการปรับลวดด้วยระยะทางที่เท่ากัน พบว่าขนาดความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นมากกว่า

ประการที่สอง พบว่านอกจากแรงในแนวระนาบแล้ว ลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้เกิดแรงในแนวตั้งในลักษณะที่ดึงพื้นหน้าลง(extrusion) และกดพื้นหลังขึ้น(intrusion)ที่ชัดเจนมากกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณแรงในแนวตั้งที่เกิดขึ้น โดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ซึ่งพบว่า ที่ลูปทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้เกิดแรงในแนวตั้งขนาดครึ่งหนึ่งของแรงในแนวระนาบ ส่วนลูปทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดแรงในแนวตั้งขนาดเล็กน้อยเพียง 10% ของแรงในแนวระนาบเท่านั้น เนื่องจากเหตุผลสองข้อ ข้อแรกคือ โมเมนต์ที่แตกต่างกันระหว่างพื้นสองกลุ่มทำให้เกิดแรงในแนวตั้งขึ้นกับพื้นแต่ละกลุ่มในทิศทางตรงข้ามกัน และขนาดของแรงขึ้นกับความแตกต่างนี้ ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่าความแตกต่างระหว่างโมเมนต์ของพื้นหน้าและพื้นหลังในเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากมีค่าเท่ากับ 5.9 โดยพื้นหน้ามีค่าเท่ากับ 6.8 และพื้นหลังเท่ากับ 0.9(ภาคผนวก ก ตารางที่ 3) ซึ่งมากกว่าเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นที่มีความแตกต่างเพียง 3.9 โดยพื้นหน้ามีค่าเท่ากับ 4.9 และพื้นหลังเท่ากับ 1(ภาคผนวก ก ตารางที่ 4) จึงพบแรงในแนวตั้งกับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากมากกว่า และโมเมนต์ที่ต่างกันนี้เกิดเนื่องจากการวางตัวลูปคอนแทรกชันไปทางใดทางหนึ่ง หรือที่เรียกว่าออฟเซตเตอร์ ซึ่งจะทำให้พื้นที่อยู่ใกล้ลูปได้รับโมเมนต์มากกว่า(Siatkowski, 1997; Burstone and Koenig, 1976)และสนับสนุนด้วยผลการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ในการศึกษานี้ เหตุผลข้อสองคือ ปริมาณลวดในลูปทางด้านใกล้ลิ้นมีน้อยกว่าลูปทางด้านใกล้ริมฝีปากทำให้อัตราส่วนโหนดดีเฟลคชันสูงกว่า คือเมื่อปรับให้มีแรงกระทำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่ารวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแนวตั้งน้อยกว่าด้วย จึงทำให้แรงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นน้อยกว่า ซึ่งสนับสนุนโดยผลการคำนวณโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ที่พบว่าเมื่อยึดปลายด้านหนึ่งของลูปไว้ และดึงที่ปลายอีกด้านด้วยแรงในแนวระนาบขนาดเท่ากัน ลูปทั้งสองชนิดจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะที่ปลายข้างที่ไม่ได้ถูกยึดมีการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้เกิดแรงในแนวตั้ง แต่ลูปทางด้านใกล้ลิ้นจะเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นน้อยกว่า(ภาคผนวก ข รูปที่ 39 และ 40)

จากความแตกต่างทั้งสองประการที่พบ จึงควรพิจารณาดัดเกเบิลเบนด์บริเวณพื้นหน้าในลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นให้มากขึ้นกว่าลวดที่ใช้กับเครื่องมือทางด้านใกล้ริมฝีปากเพื่อเพิ่มอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่มากพอทำให้ได้ลักษณะการเคลื่อนพื้นหน้าแบบบอดีลีที่ต้องการ

ลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชกับเครื่องมือจัดฟันติดแน่นทั้งสองชนิดยังทำให้เกิดการกระจายความเค้นบริเวณพื้นหลังแตกต่างกันอีกด้วยโดยเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดการกระจายความเค้นได้ดีกว่าเครื่องมือจัดฟันชนิดทางด้านใกล้ริมฝีปาก แม้ว่าเครื่องมือทั้งสองชนิดทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทวิปิงเช่นเดียวกัน แต่เครื่องมือจัดฟันชนิดทางด้านใกล้ลิ้นทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่เกือบเป็นบอดีลีมากกว่าโดยจะเห็นว่าลักษณะของพริ้นจ์จากเครื่องมือ

ทางด้านไกล์ลีนจะมีการกระจายที่สม่ำเสมอเหมือนเทียบกับเครื่องมือทางด้านไกล์ริมฝีปากที่มีลักษณะของพริ้นจ์สะสมอยู่ไกล์กันมากกว่า นอกจากนี้เครื่องมือจัดฟันชนิดทางด้านไกล์ริมฝีปากทำให้เกิดแรงกดฟันหลังขึ้นในแนวตั้งมากกว่าเครื่องมือทางด้านไกล์ลีนซึ่งสอดคล้องกับแรงในแนวตั้งที่เกิดขึ้นบริเวณฟันหน้าที่เกิดในลักษณะของแรงตั้งด้วย การที่เครื่องมือทางด้านไกล์ลีนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไกล์เคียงบอดิสีมากกว่าแม้ว่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงบริเวณฟันหลังที่ได้จากการคำนวณไม่มากและมีค่าไกล์เคียงกับค่าของเครื่องมือทางด้านไกล์ริมฝีปาก เนื่องจากจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันกรามในแนวตั้ง อยู่ที่ระดับรอยแยกของรากฟันและจุดออกแรงของเครื่องมือทางด้านไกล์ลีนซึ่งก็คือแบรกเกตทางด้านไกล์ลีนซึ่งอยู่ไกล์เหนือจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันมากกว่าแบรกเกตทางด้านไกล์ริมฝีปาก ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนฟันที่ไกล์เคียง บอดิสีมากกว่า ซึ่งสนับสนุนโดยการศึกษาของ Tanne ,Lu and Sakuda(1992) ที่กล่าวว่า ระยะทางจากจุดออกแรงไปยังจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันมีผลอย่างมากต่อลักษณะการเคลื่อนฟันที่เกิดจากแรงในแนวระนาบ ดังนั้นตำแหน่งแบรกเกตที่อยู่ไกล์คอฟฟันมากกว่าทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่สม่ำเสมอและการเคลื่อนฟันที่เข้าสู่บอดิสีมากกว่าเนื่องจากในทางปฏิบัติตำแหน่งของลูบในลวดคอนแทรกชันอาร์ชมักอยู่ไกล์ฟันหน้าที่สุดท้ายมากที่สุดเพื่อให้สามารถปรับลูบให้มีแรงกระทำได้หลายครั้งโดยไม่ต้องดัดลวดใหม่ แต่ทำให้โมเมนต์ที่ฟันหลังมีค่าน้อยลงดังผลการคำนวณในการศึกษานี้ ซึ่งทำให้คุณสมบัติการเป็นหลักยึดของฟันหลังลดลง แม้ว่าฟันหลังจะมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับเป็นหลักยึดในการเคลื่อนฟันเพราะมีพื้นที่ผิวรากฟันมากและมีความแข็งแรง (Proffit and Fields, 1992) แต่ควรมีการเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟันหลัง ได้แก่ ทรานส์พาลาทัลดาร์ช เชื่อมระหว่างฟันกรามซี่ที่หนึ่งสองข้างทั้งในกรณีเครื่องมือจัดฟันทางด้านไกล์ริมฝีปาก(Nanda and Kuhlberg, 1997) และเครื่องมือจัดฟันทางด้านไกล์ลีนซึ่งจะช่วยลดการโก่งเสียรูปของลวดได้ด้วย(Takemoto, 1998)

Tanne ,Lu and Sakkuda(1992) ซึ่งเปรียบเทียบการเคลื่อนที่และการกระจายความเค้นที่เกิดจากจุดออกแรงบนผิวฟันด้านไกล์ริมฝีปาก และผิวฟันด้านไกล์ลีนด้วยวิธีไฟไนต์อิเลิเมนต์ และพบว่ารูปแบบการกระจายแรงในเอ็นยึดปริทันต์ และการเคลื่อนที่ของฟันไม่แตกต่างกัน โดยการศึกษาดังกล่าวไม่พิจารณาเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องมือที่ใช้เลยซึ่งต่างจากการศึกษาที่มุ่งศึกษาผลจากลักษณะเครื่องมือที่ถูกบังคับโดยลักษณะฟัน และพบผลการกระจายความเค้นที่แตกต่างกันระหว่างเครื่องมือสองชนิดนอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องมือทางด้านไกล์ลีนทำให้เกิดการถ่ายทอดแรงบริเวณฟันหน้าได้ไม่ดีเท่ากับเครื่องมือทางด้านริมฝีปาก โดยพบขนาดของความเค้นบริเวณปลายรากน้อยกว่าซึ่งน่าจะมาจากลักษณะของเครื่องมือทางด้านไกล์ลีนที่ลวดคอนแทรกชันอาร์ชวางตัวอยู่ทางไกล์ลีนของแบรกเกต และเมื่อปรับลวดให้มีแรงกระทำลวดจะเคลื่อนในลักษณะ

ที่ถูกดึงออกจากพื้นทำให้แรงทั้งหมดไม่ได้ถูกถ่ายทอดไปที่พื้น จึงควรพิจารณาการยึดลวดกับสลอตให้แน่นขึ้น เช่น การมัดด้วยลวดขนาดเล็กให้แน่น เป็นต้น

มีหลายปัจจัยที่ทำให้การจัดฟันด้วยเครื่องมือทางด้านใกล้ลิ้น มีข้อที่ต้องพิจารณาแตกต่างจากเครื่องมือทางด้านริมฝีปาก ได้แก่ ปัจจัยที่ระยะทางระหว่างแบรคเกตทางด้านลิ้นสั้นกว่าทางด้านริมฝีปากซึ่งทำให้แรงที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือชนิดนี้มากกว่าซึ่ง Chaconas, Caputo and Brunetto (1990) และ Gorman (1997) แนะนำว่าในระยะการปรับระดับฟันและระยะสิ้นสุดควรใช้ลวดที่มีความแข็งต่าซึ่งจะทำให้ปรับตำแหน่งฟันได้ง่ายกว่าและไม่ทำให้เกิดการละลายของรากฟันมากเกินไป และข้อมูลจากการศึกษานี้สนับสนุนการใช้ลวดที่มีอัตราส่วนโพลดีฟเลกชันต่ำกับเครื่องมือจัดฟันทางด้านใกล้ลิ้นโดยเฉพาะลวดคอนแทรกชันอาร์ชที่มีลูปซึ่งสามารถปรับอัตราโพลดีฟเลกชันได้โดยการเลือกชนิดของลวดซึ่งลวดที่เอ็มเอเป็นลวดชนิดหนึ่งที่ให้อัตราโพลดีฟเลกชันน้อยกว่าสแตนเลสสตีลทำให้ได้แรงกระทำต่อเอ็นยึดปริทันต์ที่คงที่มากกว่า (Ferreira, 1999) หรือการเพิ่มปริมาณลวดในลูป ได้แก่ การเพิ่มขนาดของทีลูปแต่ควรพิจารณาถึงความไม่สบายที่เกิดขึ้นกับคนไข้ด้วย เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวจะสัมผัสกับลิ้นอยู่เสมอทำให้คนไข้เกิดความรำคาญได้มาก

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากลวดที่เอ็มเอทีลูปคอนแทรกชันอาร์ชที่ใช้ในการทดลองให้ค่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่น้อยกว่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงสำหรับการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี ดังนั้นจึงอาจใช้ข้อมูลจากการศึกษานี้เพื่อเป็นพื้นฐานการศึกษาต่อไปถึงผลของเกเบิลแบนด์ขนาดต่างๆที่ทำให้เกิดอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนฟันแบบบอดิลี และอาจขยายผลการศึกษาไปยังรูปแบบอื่นที่ใช้กับคอนแทรกชันอาร์ช

2. วิถีไฟไนต์อีลิเมนต์เป็นอีกวิธีที่สามารถใช้วิเคราะห์การกระจายความเค้นได้อย่างรวดเร็วโดยการใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์แต่มีข้อเสียคือการสร้างแบบจำลองที่มีลักษณะซับซ้อนทำได้ยากการพัฒนาเครื่องมือวัดและจำลองรูปทรงสามมิติในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดคือใช้ได้กับวัตถุขนาดใหญ่ในการวัดและจำลองฟันและแบบจำลองช่องปากซึ่งเป็นวัตถุขนาดเล็กยังไม่สามารถให้รายละเอียดที่ชัดเจนเพียงพอ ในอนาคตหากเครื่องมือวัดและจำลองวัตถุขนาดเล็กสามารถให้รายละเอียดที่ดีขึ้นจะสามารถขยายขอบเขตการวิจัยด้วยวิถีไฟไนต์อีลิเมนต์ในทางทันตกรรมได้มากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ทัศนีย์ บัณฑกรวิวัฒน์. 2529. การวิเคราะห์การกระจายความเค้นจากการเคลื่อนฟันเขี้ยวโดยวิธีไฟโตอีลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิรมล อธิฐรัตน์. 2535. การศึกษาขนาดและทิศทางของแรงกระทำต่อฟันหน้าบนจากลวดคอนแทรกชั่น อาร์ชต่างชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัชฎาภรณ์ ศรีमानนท์. 2535. การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์ดโตอินเทอร์พาร์ช และริกเก็ตส์ยูทิลิตี้อาร์ช. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Alexander, C. M., et al. 1983. Lingual orthodontics: A status report part 5 lingual mechanotherapy. J. Clin. Orthod. 17: 99-115.
- Artun, J. 1987. A past treatment evaluation of multibanded lingual appliances in orthodontics. Eur. J. Orthod. 6: 204-210.
- Asundi, A., and Kishen, A. 2000. A strain gauge and photoelastic analysis of in vivo strain and in vitro stress distribution in human dental supporting structures. Archs. Oral. Biol. 45: 543-550.
- Brodsky, J. F., Caputo, A. A., and Furstman, L. L. 1975. Root tipping: A photoelastic-histopathologic correlation. Am. J. Orthod. 67: 1-10.
- Burstone, C. J. 1982. The segmented arch approach to space closure. Am. J. Orthod. 82: 361-378.
- Burstone, C. J., and Goldberg, A. J. 1980. Beta titanium: A new orthodontic alloy. Am. J. Orthod. 77: 121-132.
- Burstone, C. J., and Koenig, H. A. 1976. Optimizing anterior and canine retraction. Am. J. Orthod. 70: 1-19.
- Caputo, A. A., Chaconas, S. J., and Hayashi, R. K. 1974. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. Am. J. Orthod. 65: 250-259.

- Caputo, A. A., and Standley, J. P. 1987. Biomechanics in clinical dentistry. United States of America: Quintessence.
- Caputo, A. A., Standley, J. P., and Collard, E. W. 1973. The mechanics of load transfer by retentive pins. J. Prosthet. Dent. 29: 442-449.
- Chaconas, S. J., Caputo, A. A., and Brunetto, A. R. 1990. Force transmission characteristics of lingual appliances. J. Clin. Orthod. 24: 36-43.
- Chaconas, S. J., Caputo, A. A., and Davis, J. C. 1976. The effects of orthopedic forces on the craniofacial complex utilizing cervical and headgear appliances. Am. J. Orthod. 69: 527-539.
- Chumak, L., Galil, K. A., Way, D. C., Johnson, L. N., and Hunter, W. S. 1989. An in vitro investigation of lingual bonding. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 95: 20-28.
- Creekmore, T. D. The importance of interbracket width in orthodontic tooth movement. 1976. J. Clin. Orthod. 10: 530-534.
- Creekmore, T.D. 1989. Lingual orthodontics-its renaissance. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 96: 120-137.
- De Alba, J. A., Chaconas, S. J., and Caputo, A. A. 1976. Orthopedic effect of extraoral chin cup appliance on the mandible. Am. J. Orthod. 69: 29-41.
- Ferreira, M. A. 1999. The wire material and cross-section effect on double delta closing loops regarding load and spring rate magnitude: an in vitro study. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 115: 275-282.
- Fillion, D. 1997. Improving patient comfort with lingual brackets. J. Clin. Orthod. 31: 689-94.
- Fujita, K. 1979. New orthodontic treatment with lingual mushroom arch wire appliance. Am. J. Orthod. 76: 657-675.
- Fulmer, D.T., and Kufnec, M. M. 1989. Cephalometric appraisal of patients treated with fixed lingual orthodontic appliances: historic review and analysis of cases. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 95: 514-520.
- Garland-Parker, L., Bennett, R. K., Cohen, J. M., and Stacey, D. M. 1991. The complete lingual orthodontic training manual. 2 nd ed. (n.p.).
- Geron, S. 1999. The lingual bracket jig. J. Clin. Orthod. 33: 457-463.
- Gorman, J. C. 1997. Lingual orthodontics. Dent. Clin. Nor. Amer. 41: 111-125.

- Gorman, J. C. 1987. Treatment with lingual appliances: the alternative for adult patients. Int. J. Adult. Orthod. Orthog. Surg. 3: 131-149.
- Gorman, J. C., and Smith, R. J. 1991. Comparison of treatment effects with labial and lingual fixed appliances. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 99: 202-209.
- Hendry, A. W. 1983. Elements of experimental stress analysis. United States of America: Pergamon press.
- Hong, R. K., and Soh, B. C. 1996. Customized indirect bonding method for lingual orthodontics. J. Clin. Orthod. 30: 650-652.
- Itoh, H., Caputo, A. A., Wylie, R., and Berg, T. 1998. Effects of periodontal support and fixed splinting on load transfer by removable partial dentures. J. Prosthet. Dent. 79: 465-471.
- Kurz, C., and Romano, R. 1998. Lingual orthodontics: Historical perspective. In R. Romano (ed.), Lingual orthodontics, pp. 3-19. Hamilton: B. C. Decker.
- Miyawaki, S., Yasuhara, M., and Koh, Y. 1999. Discomfort caused by bonded lingual orthodontic appliances in adult patients as examined by retrospective questionnaire. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 115: 83-88.
- Moran, K. I. 1987. Relative Wire Stiffness due to lingual versus labial interbracket distance. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 92: 24-32.
- Nanda, R., and Kuhlberg, A. 1997. Biomechanical basis of extraction space closure. In R. Nanda (ed.), Biomechanics in clinical orthodontics, pp.156-187. Philadelphia: W. B. Saunders.
- O'Brien, W. J. 1997. Dental material and their selection. 2 nd ed. Chicago: Quintessence.
- Perez, C. A., de Alba, J. A., Caputo, A. A., and Chaconas, S. J. 1980. Canine retraction with j hook headgear. Am. J. Orthod. 78: 438-547.
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Ackerman, J. L., Sinclair, P. M., Thomas, P. M., and Tulloch, J. F. 1992. Contemporary orthodontics. 2 nd ed. St. Louis: Mosby.
- Ronchin, M. 1998. Present clinical reality. In R. Romano (ed.), Lingual orthodontics, pp. 21-34. Hamilton: B. C. Decker.
- Siatkowski, R. E. 1994. Force system analysis of V-bend sliding mechanics. J. Clin. Orthod. 28: 539-546.

- Siatkowski, R. E. 1997. Continuous arch wire closing loop design , optimization, and verification.part I. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 112: 393-402.
- Standlee, J. P., Collard, E. W., and Caputo, A. A. 1970. Dentinal defects caused by some twist drills and retentive pins. J. Pros. Dent. 24: 185-192.
- Stefenac, J., Chaconas, S. J., Caputo, A. A., and Griffith, J. 1993. Photoelastic evaluation of standard bionator appliance. J. Oral. Rehab. 20: 549-559.
- Takemoto, K. 1998. Sliding mechanics versus loop mechanics during en masse retraction in extraction cases. In R. Romano (ed.), Lingual orthodontics, pp. 109-115. Hamilton: B. C. Decker.
- Tanne, K. ,Lu, Y. C., Sakuda, M. 1992. Biomechanical responses of tooth to orthodontic force applied at the lingual brackat position. J. Osaka. Univer. Dent. School. 32 : 6-13.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

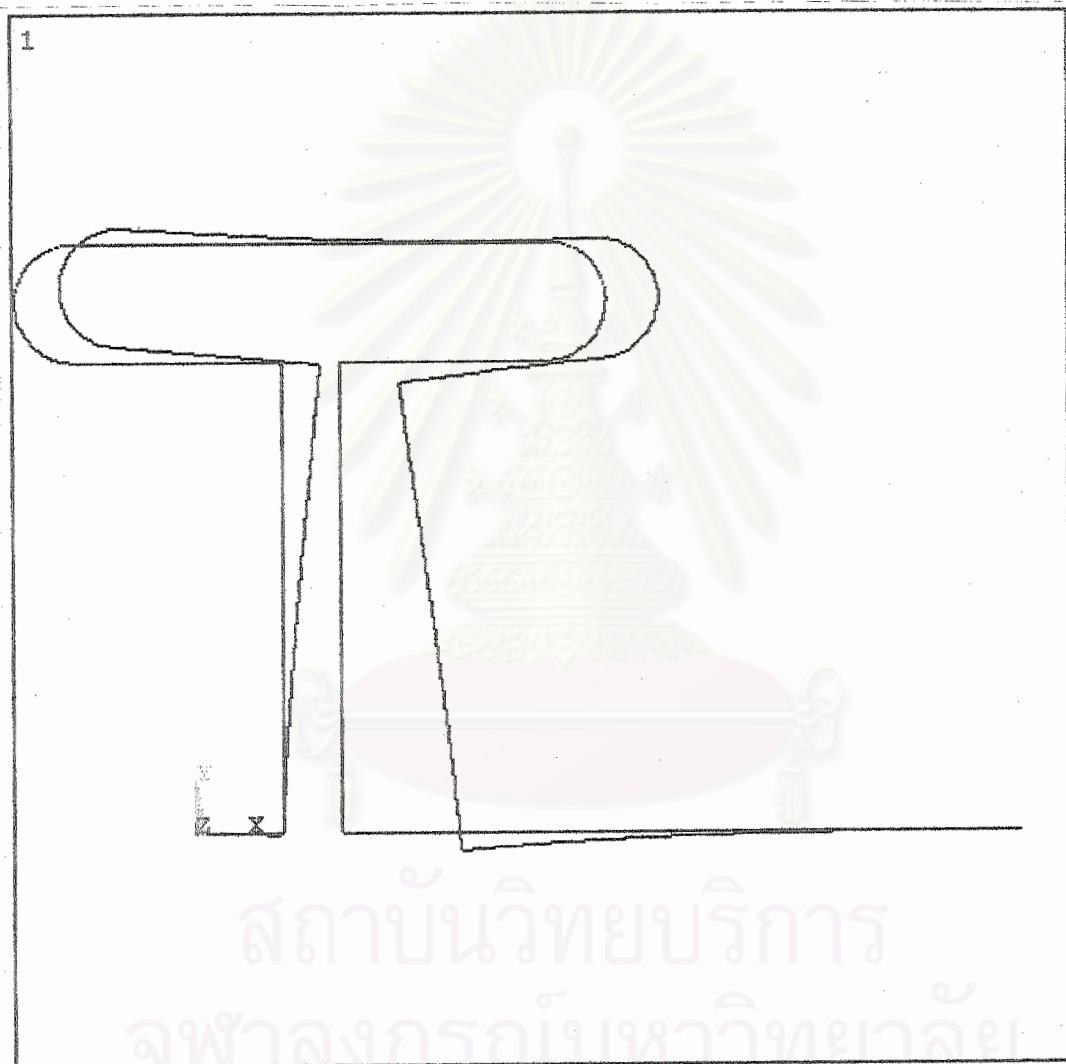


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการปรับลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชกับขนาดของแรง
ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์อีลิเมนต์ของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก



รูปที่ 36 ภาพรูปร่างของลูปก่อน(สีดำ) และหลัง(สีน้ำเงิน)การให้แรงกระทำ

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณระยะการปรับลดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ริมฝีปากกับ
ขนาดของแรง

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1

TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

FORCE	NODE	UX	UY	UZ	ROTX	ROTY	ROTZ
0.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	.99829	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
1	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	1.9966	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
1.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	2.9949	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
2	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	3.9932	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
2.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	4.9915	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
3	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	5.9897	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
3.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	6.9880	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
4	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	7.9863	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000

หมายเหตุ ขนาดของแรงหน่วยเป็นนิวตัน

NODE 1 หมายถึงปลายลวดด้านซ้ายของลูป ดังรูปที่ 18

NODE 2 หมายถึงปลายลวดด้านขวาของลูป ดังรูปที่ 18 โดยมีระยะทางระหว่าง NODE
1 และ 2 เท่ากับระยะระหว่างแบรคเก็ตเป็น 12 มม.

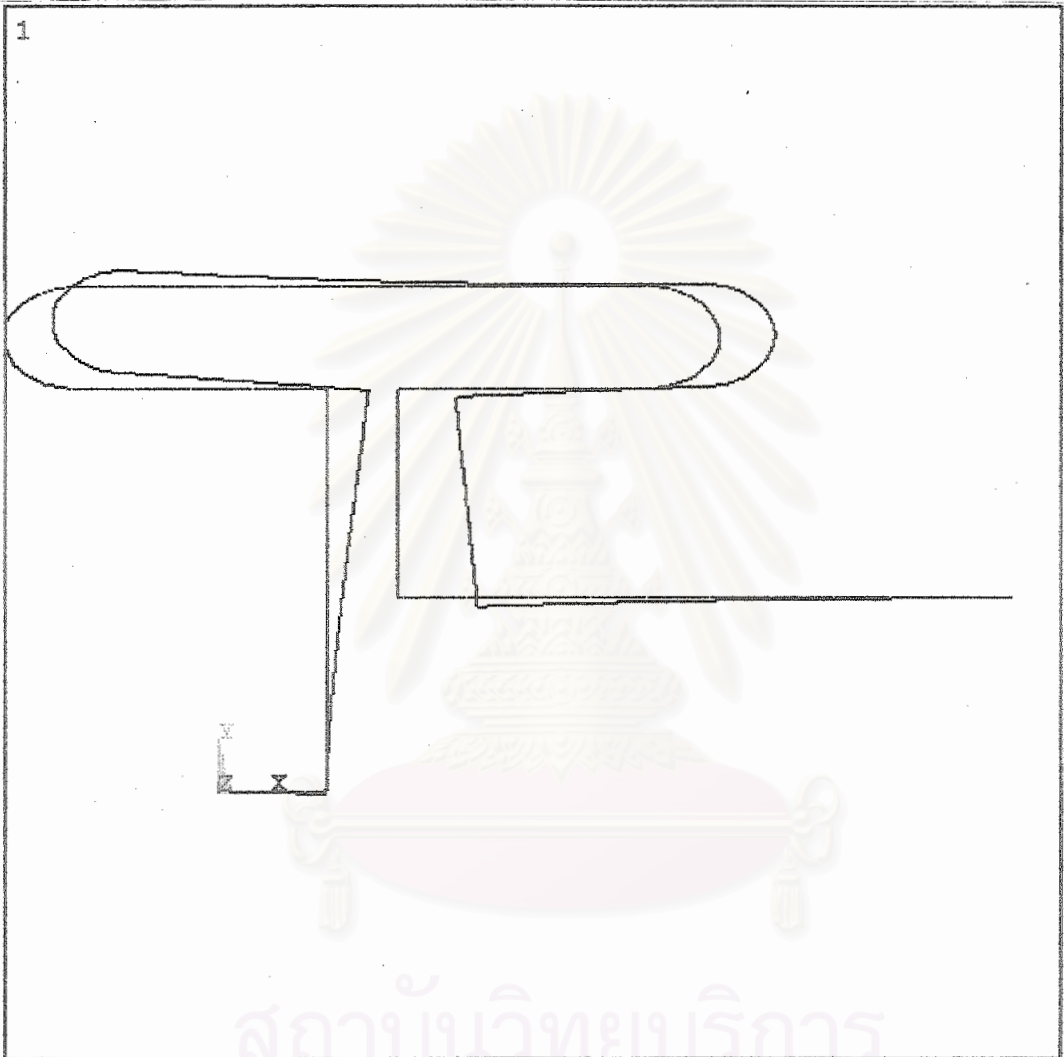
UX, UY, UZ หมายถึง ระยะทางที่เคลื่อนในแนวแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็น มิลลิเมตร ตามลำดับ

ROTX, ROTY, ROTZ หมายถึงการหมุนรอบแกนเอ็กซ์, วาย, แซด ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการปรับลดที่ลูกคอนแทรกชันอาร์ชกับขนาดของแรง
ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น



รูปที่ 37 ภาพรูปร่างของลูกปกก่อน(สีดำ) และหลัง(สีน้ำเงิน)การให้แรงกระทำเมื่อมองทางด้านหน้า



รูปที่ 38 ภาพรูปร่างของรูปก่อน(สีดำ) และหลัง(สีน้ำเงิน)การให้แรงกระทำเมื่อมองทางด้านข้าง

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณระยะการปรับลวดที่ลูปคอนแทกชั้นอาร์ชทางด้านใกล้ลึ้นกับขนาดของแรง

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1

TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

FORCE	NODE	UX	UY	UZ	ROTX	ROTY	ROTZ
0.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	.52926	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
1	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	1.0585	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
1.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	1.5878	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
2	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	2.1170	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
2.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	2.6463	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
3	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	3.1756	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
3.5	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	3.7048	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
4	1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
	2	4.2341	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000

หมายเหตุ ขนาดของแรงหน่วยเป็นนิวตัน

NODE 1 หมายถึงปลายลวดด้านซ้ายของลูป ดังรูปที่ 19

NODE 2 หมายถึงปลายลวดด้านขวาของลูป ดังรูปที่ 19 โดยมีระยะทางระหว่าง NODE 1 และ 2 เท่ากับระยะระหว่างแบรคเกตเป็น 10 มม.

UX, UY, UZ หมายถึง ระยะทางที่เคลื่อนในแนวแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็น มิลลิเมตร ตามลำดับ

ROTX, ROTY, ROTZ หมายถึงการหมุนรอบแกนเอ็กซ์, วาย, แซด ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกับขนาดของโมเมนต์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ไฟไนต์อีลิเมนต์ของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ริมฝีปาก

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณขนาดแรงและโมเมนต์ของลวดที่ลูปคอนแทกชั้นอาร์ชทางด้านใกล้
 ริมฝีปาก

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1

TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	MZ/F
1	-.50000	.24863	.00000	.00000	.00000	3.4034	6.8068
2		-.24863	.00000	.00000	.00000	-.41974	-.83948
1	-1.0000	.49727	.00000	.00000	.00000	6.8067	6.8067
2		-.49727	.00000	.00000	.00000	-.83949	-.83949
1	-1.5000	.74590	.00000	.00000	.00000	10.210	6.8066
2		-.74590	.00000	.00000	.00000	-1.2592	-.83946
1	-2.0000	.99454	.00000	.00000	.00000	13.613	6.8065
2		-.99454	.00000	.00000	.00000	-1.6790	-.83950
1	-2.5000	1.2432	.00000	.00000	.00000	17.017	6.8068
2		-1.2432	.00000	.00000	.00000	-2.0987	-.83948
1	-3.0000	1.4918	.00000	.00000	.00000	20.420	6.8066
2		-1.4918	.00000	.00000	.00000	-2.5185	-.83950
1	-3.5000	1.7404	.00000	.00000	.00000	23.823	6.8065
2		-1.7404	.00000	.00000	.00000	-2.9382	-.83948
1	-4.0000	1.9891	.00000	.00000	.00000	27.227	6.8067
2		-1.9891	.00000	.00000	.00000	-3.3580	-.83950

หมายเหตุ NODE 1 หมายถึงปลายลวดด้านซ้ายของลูป ดังรูปที่ 18

NODE 2 หมายถึงปลายลวดด้านขวาของลูป ดังรูปที่ 18 โดยมีระยะทางระหว่าง NODE 1 และ 2 เท่ากับระยะระหว่างแบรคเกตเป็น 12 มม.

FX, FY, FZ หมายถึง แรงที่กระทำในแนวแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็นนิวตัน ตามลำดับ

MX, MY, MZ หมายถึงค่าโมเมนต์รอบแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็น นิวตันมิลลิเมตร ตามลำดับ

MZ/F หมายถึง อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่เกิดขึ้นรอบแกนเอ็กซ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงกับขนาดของโมเมนต์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ไฟไนต์อีลิเมนต์ของเครื่องมือจัดฟันชนิดติดแน่นทางด้านใกล้ลิ้น

ตารางที่ 4 แสดงผลการคำนวณขนาดแรงและโมเมนต์ของลวดที่ลูปคอนแทรกชันอาร์ชทางด้านใกล้ลิ้น

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1

TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	MZ/F
1	-0.50000	.62164E-01	-.76974E-01	-.92930E-01	2.2199	2.4832	4.9666
2		-.62164E-01	.76974E-01	-.37543E-01	-.81624	-.50214	-1.0042
1	-1.0000	.12433	-.15395	-.18586	4.4398	4.9665	4.9665
2		-.12433	.15395	-.75085E-01	-1.6325	-1.0043	-1.0043
1	-1.5000	.18649	-.23092	-.27879	6.6597	7.4497	4.9964
2		-.18649	.23092	-.11263	-2.4487	-1.5064	-1.0042
1	-2.0000	.24866	-.30790	-.37172	8.8796	9.9330	4.9665
2		-.24866	.30790	-.15017	-3.2650	-2.0086	-1.0043
1	-2.5000	.31082	-.38487	-.46465	11.100	12.416	4.9664
2		-.31082	.38487	-.18771	-4.0812	-2.5107	-1.0042
1	-3.0000	.37299	-.46185	-.55758	13.319	14.899	4.9663
2		-.37299	.46185	-.22526	-4.8974	-3.0129	-1.0043
1	-3.5000	.43515	-.53882	-.65051	15.539	17.383	4.9665
2		-.43515	.53882	-.26280	-5.7137	-3.5150	-1.0042
1	-4.0000	.49731	-.61579	-.74344	17.759	19.866	4.9665
2		-.49731	.61579	-.30034	-6.5299	-4.0171	-1.0042

หมายเหตุ NODE 1 หมายถึงปลายลวดด้านซ้ายของลูป ดังรูปที่ 19

NODE 2 หมายถึงปลายลวดด้านขวาของลูป ดังรูปที่ 19 โดยมีระยะทางระหว่าง NODE 1 และ 2 เท่ากับระยะระหว่างแบริกเกตเป็น 10 มม.

FX, FY, FZ หมายถึง แรงที่กระทำในแนวแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็นนิวตัน ตามลำดับ

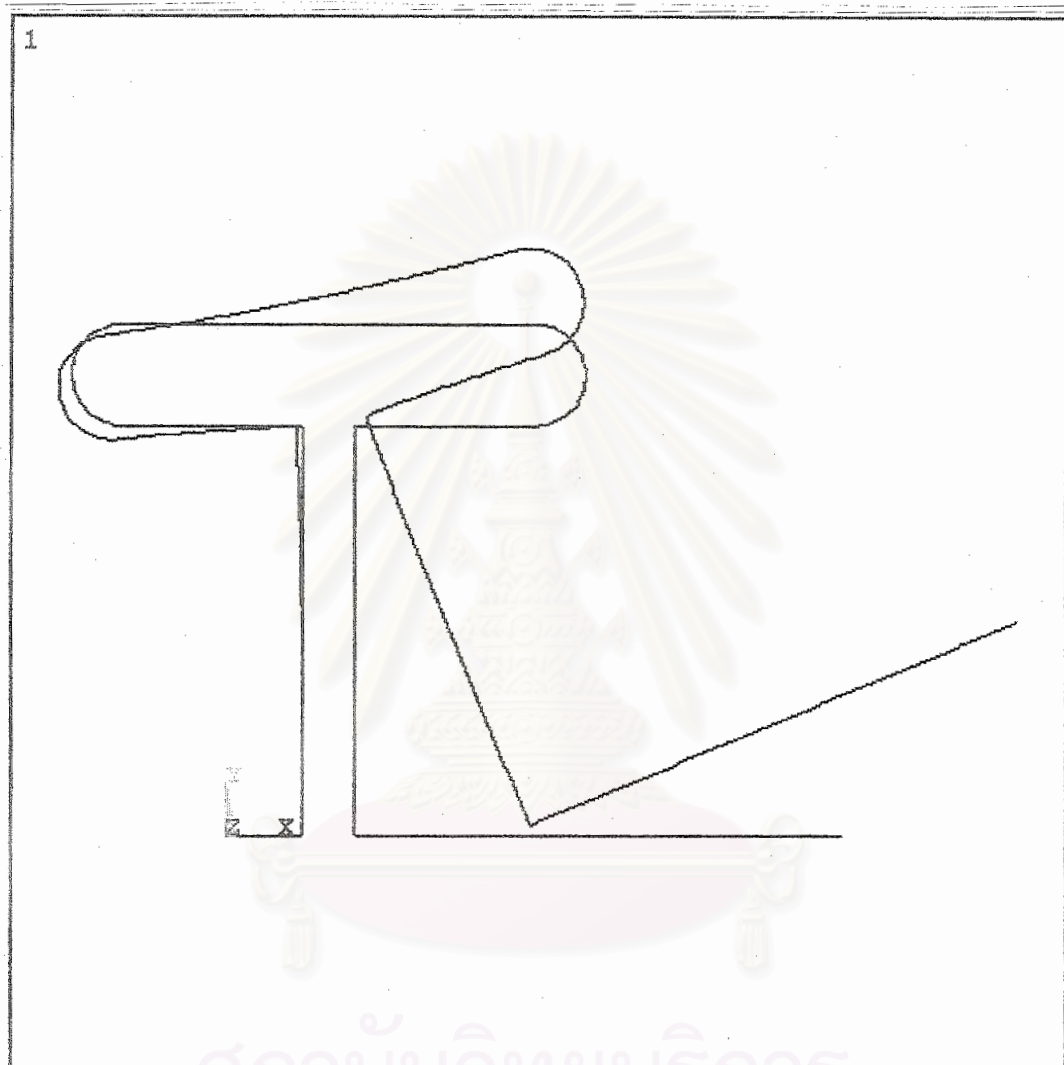
MX, MY, MZ หมายถึง ค่าโมเมนต์รอบแกนเอ็กซ์, วาย, แซด หน่วยเป็น นิวตันมิลลิเมตร ตามลำดับ

MZ/F หมายถึง อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่เกิดขึ้นรอบแกนเอ็กซ์

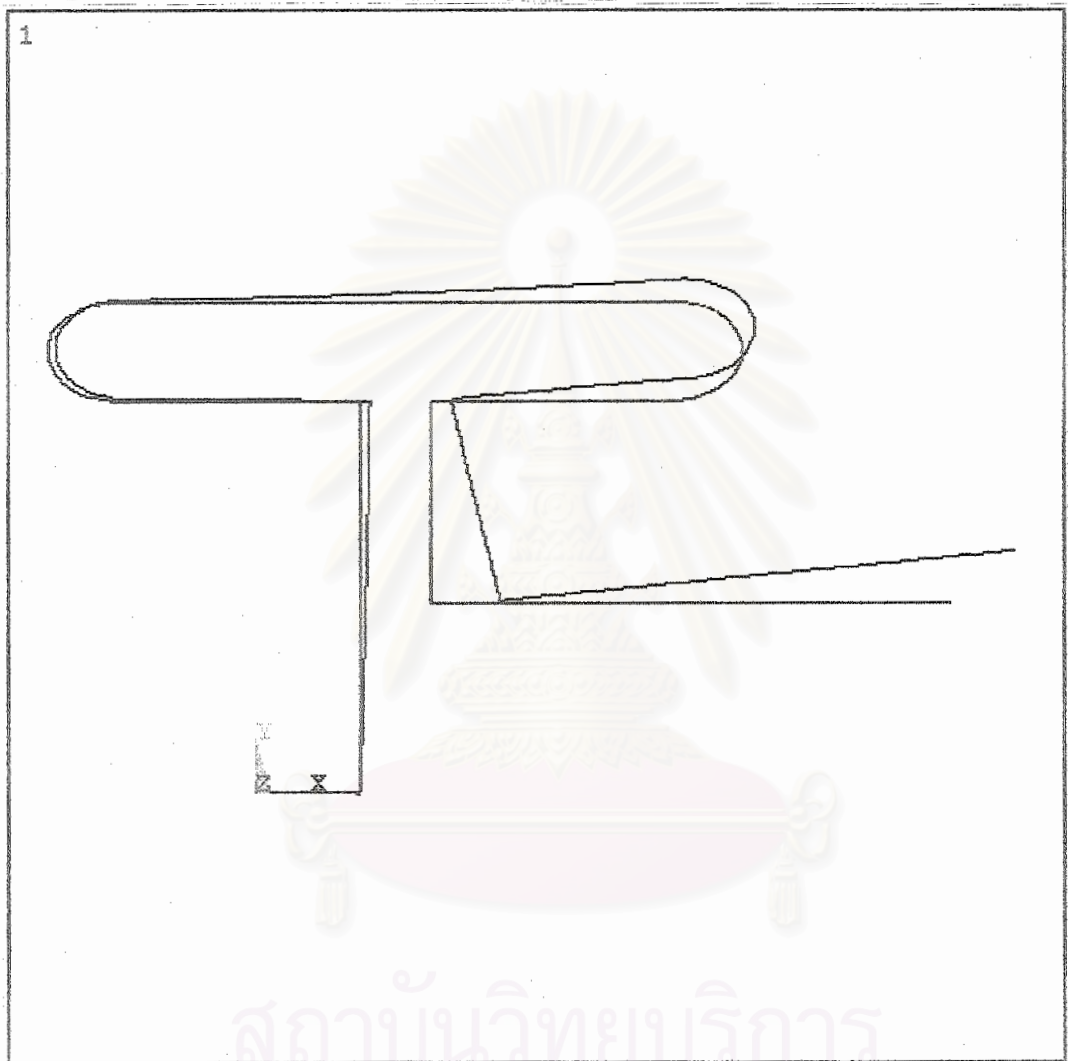


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข



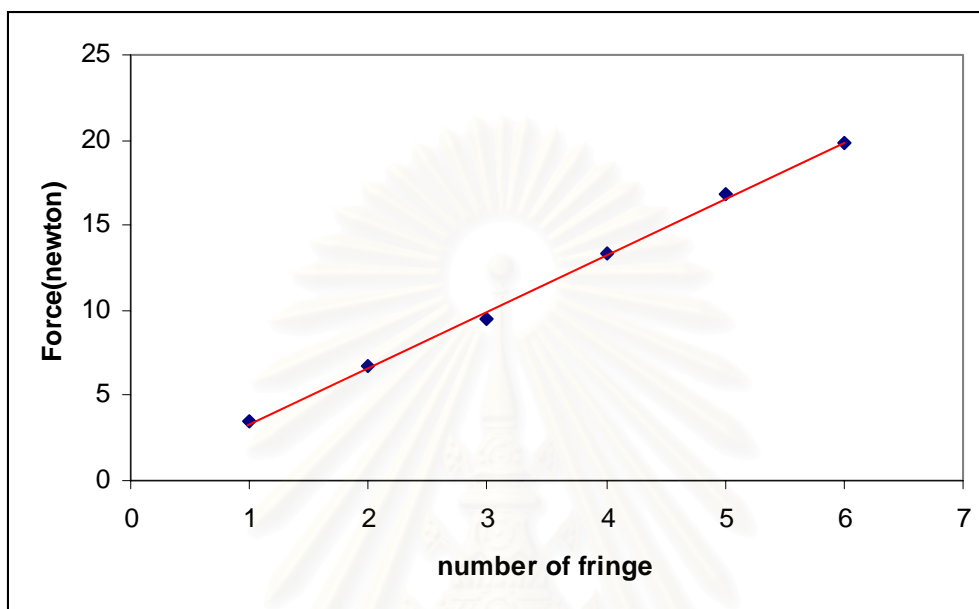
รูปที่ 39 แสดงรูปร่างของลูปก่อน(สีดำ) และหลัง(สีน้ำเงิน)การให้แรงกระทำโดยมีจุดยึดที่ด้านหน้าของลูปเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนระยะในแนวตั้งของปลายด้านหลัง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟไนต์อีลิเมนต์ของทีลูปทางด้านใกล้ริมฝีปาก



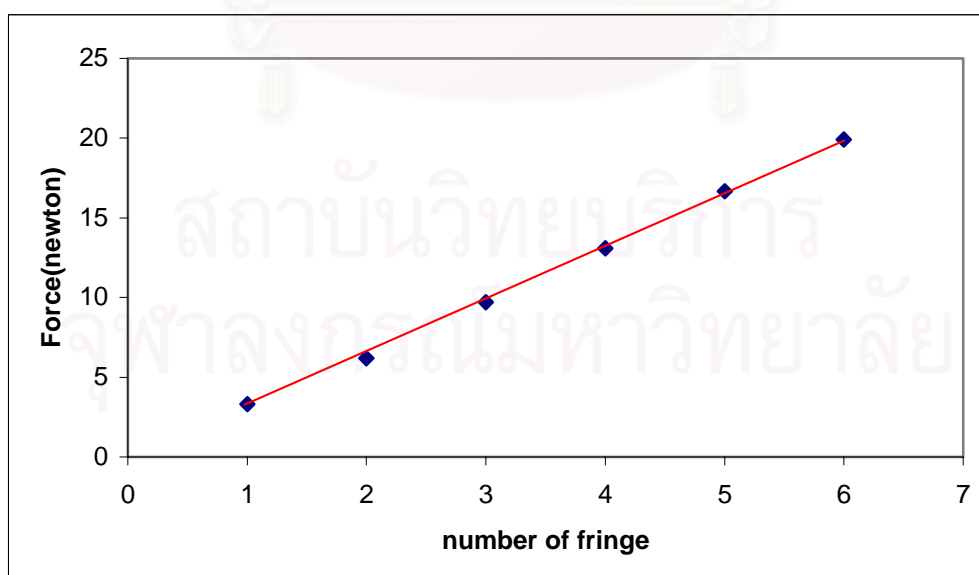
รูปที่ 40 แสดงรูปร่างของลูปก่อน(สีดำ) และหลัง(สีน้ำเงิน)การให้แรงกระทำโดยมีจุดยึดที่ด้านหน้าของลูปเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนระยะในแนวตั้งของปลายด้านหลัง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไฟในติอิลิเมนต์ของทีลูปทางด้านใกล้ลีน

ภาคผนวก ค

การทดสอบคุณสมบัติของสารที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 41 กราฟแสดงค่าเอฟ แวล्यूของสารก่อนการทดลอง



รูปที่ 42 กราฟแสดงค่าเอฟ แวล्यूของสารภายหลังการทดลอง

ภาคผนวก ง

ตารางที่ 5 แสดงสเปกตรัมสีที่เกิดขึ้นจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงขาว(Hendry, 1983)

COLOR EXTINGUISHED	COLOR OBSERVED	ORDER
-	GREY	} 1ST
-	WHITE	
VIOLET	YELLOW	
BLUE	ORANGE	
GREEN	RED	
YELLOW	PURPLE	
ORANGE	BLUE	
RED	GREEN	
DEEP RED(1 st)VIOLET(2 nd)	YELLOW	} 2ND
BLUE	ORANGE	
GREEN	RED	
YELLOW(2 nd)VIOLET(3 RD)	PURPLE	
ORANGE-RED(2 ND)INDIGO(3 RD)	EMERALD GREEN	
RED(2 nd)BLUE(3 rd)	PALE YELLOW	} 3RD
DEEP RED(2 nd)GREEN(3 rd)		
VIOLET(4 th)	PINK	
YELLOW(3 rd)INDIGO(4 th)	PALE GREEN	
ORANGE(3 rd)BLUE(4 th)	WHITE	
RED(3 rd)GREEN(4 th)VIOLET(5 th)	PALE PINK	} 4TH
DEEP RED(3th)YELLOW(4 th)		
BLUE(5 th)VIOLET(6 th)	PALE GREEN	
ORANGE(4 th)GREEN(5 th)INDIGO(6 th)	WHITE	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางวลีรัชฎ์ บุญโสธรสถิตย์ เกิดเมื่อวันที่ 7 กรกฎาคม 2514 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2538 เข้าทำงานในตำแหน่งทันตแพทย์ระดับ 4 กองทันตสาธารณสุข สำนักอนามัย กรุงเทพมหานคร เป็นเวลา 2 ปีก่อนเข้าศึกษาในสาขาวิชาเอนโดดอนต์ ภาควิชาทันตกรรม หัตถการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย