การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 3 ชนิด

นาย บัญชา สำรวจเบญจกุล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-865-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING 3 CANINE RETRACTION SPRINGS

MR. BANCHA SAMRUAJBENJAKUN

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Academic Year 1999

ISBN 974-333-865-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 3 ชนิด
โดย	นาย บัญชา สำรวจเบญจกุล
ภาควิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

--คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-- ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัชระ เพชรคุปต์)

-- อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร)

-- อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา)

-- กรรมการ

(ศาสตราจารย์ทันตแพทย์ วัฒนะ มธุราสัย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชา สำรวจเบญจกุล : การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 3 ชนิด (COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING 3 CANINE RETRACTION SPRINGS) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ทพญ. สมรตรี วิถีพร , อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. วิรัตน์ จอมขวา ; 80 หน้า. ISBN 974-333-865-9

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการกระจายความเค้นบริเวณฟันเขี้ยว ซึ่งเกิดจากการใช้สปริงสำเร็จรูป3ชนิดได้แก่พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง,แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่นสปริง,เบอร์สโตน รีแทรกชั่นสปริง และเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดเมื่อใช้สปริงดังกล่าวตามคำแนะนำของผู้ผลิต

กลุ่มตัวอย่างเป็นสปริงดึงฟันเขี้ยวสำเร็จรูป 3 ชนิดได้แก่ พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง, แมนดิบูลาร์คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง, และ เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง การกระจายความเค้นศึกษาโดยวิธีโฟโตอีลาสติก ในแบบจำลองฟัน ของขากรรไกรล่างด้านซ้าย ซึ่งถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ประกอบด้วย ฟันเขี้ยว,ฟันกรามล่างน้อยซี่ที่สอง,ฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง

ผลการวิจัยสรุปว่า มีความแตกต่างกันของการกระจายความเค้น โดยสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ที่แรงน้อยกว่า 100 กรัมทำให้เกิดการเคลื่อนที่เฉพาะด้านตัวฟันแบบทิปปิง มาทางด้านไกลกลาง และที่แรงในช่วง 100-200 กรัมพบการเคลื่อนที่ของฟัน เกือบเป็นบอดิลี และเมื่อให้แรงที่มากกว่า200 กรัม ตัวฟันเคลื่อนมาทางด้านไกลกลางมากขึ้น สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง พบว่าที่แรงน้อยกว่า 100 กรัมทำให้ตัวฟันเคลื่อนที่มาทางด้านไกลกลางและปลายรากฟันเคลื่อนมาทางด้านใกล้กลาง และในช่วง 100-200 กรัม การเคลื่อนที่ของตัวฟันเกือบเป็นบอดิลี เมื่อให้แรงที่มากกว่า 200 กรัม ตัวฟันเคลื่อนมาทางด้านไกลกลางและรากฟันเคลื่อนมาทางด้านใกล้กลางมากขึ้น สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง พบว่าแรงน้อยกว่า 100 กรัมเกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันมาทางด้านใกล้กลาง และปลายรากมาทางด้านไกลกลาง เมื่อให้แรงในช่วง100-200 กรัม ตัวฟันเคลื่อนมาทางด้านไกลกลางมากขึ้น และเมื่อให้แรงที่มากกว่า 200 กรัม การเคลื่อนที่ของตัวฟันยังคงมากกว่ารากฟัน เมื่อดึงสปริงทั้ง 3 ชนิดตามคำแนะนำของผู้ผลิตพบว่า สปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ดึงที่ระยะ 1 ม.ม. และ สปริงชนิด แมนดิบูลาร์คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ดึงที่ระยะ 2 ม.ม. ทำให้ฟันเขี้ยวเคลื่อนที่ในลักษณะใกล้เคียงกันคือ เกือบเป็นลักษณะแบบบอดิลี ส่วนสปริงดึงชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง ดึงที่ระยะ 6 ม.ม. พบว่าลักษณะของการเคลื่อนที่เป็นแบบตัวฟันเคลื่อนที่มากกว่ารากฟัน

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่อนิสิต..........................
สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........................
ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..........................

4076107232 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: PREFORMED CUSPID RETRACTION SPRING / STRESS PATTERN , PHOTOELASTIC TECHNIQUE

BANCHA SAMRUAJBENJAKUN : COMPARATIVE STUDY OF STRESS DISTRIBUTIONS FOLLOWING 3 CANINE RETRACTION SPRINGS.

THESIS ADVISOR : PROF. SMORNTREE VITEPORN , COADVISOR: ASSIST.PROF.VIRAT CHOMKWAH , Ph.D. 80 pp. ISBN. 974-333-865-9

The purposes of this study were to describe stress distributions created by 3 canine retraction springs (preformed PG universal retraction spring , preformed mandibular cuspid retraction spring , preformed Burstone retraction spring) at different levels of force, and to compare stress distributions of the three springs activated as recommendation.

The samples composed of PG universal retraction spring , mandibular cuspid retraction spring and Burstone retraction spring. Stress distributions produced by the 3 canine retractors were studied by photoelastic technique on a birefringent model of the left mandibular arch where the first premolar was extracted. The model composed of canine , second premolar and first molar teeth.

The result indicated that stress distributions were different . The PG universal retraction spring at the force level less than 100 grams produced distal crown tipping . At force level between 100-200 grams the canine movement was almost bodily . Forced above 200 grams,the canine movement became severe distal crown tipping . The mandibular cuspid retraction spring at force level less than 100 grams produced distal crown movement and mesial root movement .At force between 100-200 grams the canine movement was almost bodily . Forced above 200 grams tipping movement with distal crown movement and mesial root movement became remarkable.The Burstone retraction spring at force less than 100 grams produced mesial crown tipping and distal root movement . At force level between 100-200 grams produced distal crown tipping .Forced above 200 grams still produced remarkable distal crown tipping. Stress distributions when activated the 3 springs as recommended by the manufacturers were as follows: the PG universal retraction spring at 1 mm activation and mandibular cuspid retraction spring at 2 mm activation produced similar stress patterns indicating nearly bodily movement of the canine. The Burstone retraction spring at 6 mm activation produced distal crown tipping .

ภาควิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่อนิสิต....................................

สาขาวิชา ทันตกรรมจัดฟัน ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา....................................

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม....................................

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือทางด้านวิชาการจาก ศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิง สมรตรี วิถีพร รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. สมพร สวัสดิสรรพ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จอมขวา ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ในด้านการรวบรวมข้อมูลและการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อการทดลองผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ อาจารย์ มาสยส มั่งมี อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ นาย ยสินทร์ ขานทอง นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัท แอคคอร์ด จำกัด บริษัท รอกกี เมาเทนต์ จำกัด ที่สนับสนุนสปริงที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณ นฤมล พิมลแสงสุริยา ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเรียงข้อมูลและน.ส. เริงฤทัย อุดมศิลป์ ที่ช่วยในการพิมพ์งานวิจัย ไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต่อการสนับสนุนด้านเงินอุดหนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ออมโก จำกัด และบริษัท รอกกี เมาเทนต์ จำกัด ที่ช่วยเหลือทางด้าน วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดาที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการทำงานเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาและขอขอบคุณ ทันตแพทย์หญิง กุสุมา ศุภกร นทพ. อรอุมา สันติสุขนิรันดร์ที่ช่วยเหลือทางด้านการตรวจทานข้อมูลอีกทั้งผู้ที่คอยช่วยเหลือที่ไม่สามารถกล่าวได้หมด ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

บัญชา สำรวจเบญจกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ซ
สารบัญภาพ		ฌ
บทที่		
1	บทนำ	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.3	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4	ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5	ข้อตกลงเบื้องต้น	4
1.6	ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย	5
1.7	คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	6
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1	หลักการพื้นฐานของโฟโตอีลาสติก เทคนิก	7
2.2	หลักการสร้างแบบจำลอง	9
2.3	วิธีการวิเคราะห์ทางโฟโตอีลาสติก	9
2.4	ประโยชน์ของการวิเคราะห์โดยวิธีทางโฟโตอีลาสติก	17
2.5	ชีวกลศาสตร์พื้นฐาน	18
2.6	สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง	25
2.7	สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง	30
2.8	สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิดรีแทรกชั่น สปริง	34

สารบัญ (ต่อ)

3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 กลุ่มตัวอย่าง 38

3.2 เครื่องมือในการเคลื่อนฟันเขี้ยว 39

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 40

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การกระจายความเค้นมาตรฐานซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบ 45

4.2 การกระจายความเค้นมาตรฐานซึ่งเกิดจากแรงในแนวดิ่ง 47

4.3 การกระจายความเค้นสปริง พีจียูนิเวอร์ซัลรีแทรกชั่น สปริงที่แรง0-300กรัม.... 51

4.4 การกระจายความเค้นสปริงแมนดิบูลาร์คัสปิดรีแทรกชั่นสปริงที่แรง0-300กรัม. 54

4.5 การกระจายความเค้นสปริงเบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริงที่แรง 0-300 กรัม 57

4.6 การกระจายความเค้นสปริง พีจียูนิเวอร์ซัลรีแทรกชั่น สปริงที่ระยะ 1 มม....... 60

4.7 การกระจายความเค้นสปริงแมนดิบูลาร์คัสปิดรีแทรกชั่นสปริงที่ระยะ 2 มม.... 62

4.8 การกระจายความเค้นสปริงเบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริงที่ระยะ 6 มม........... 64

5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 66

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 67

5.3 ข้อเสนอแนะ 70

รายการอ้างอิง 71

ภาคผนวก 75

ภาคผนวก ก 75

ภาคผนวก ข 76

ประวัติผู้วิจัย 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. แสดงลำดับของแถบสีที่เกิดขึ้นในแต่ละออเดอร์ที่สังเกตได้ 16
2. แสดงค่าความยาวของรากฟันที่มีรากยาว,ปานกลาง,สั้น 20
3. แสดงค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ของสปริง ที-ลูปกลุ่ม เอ 26
4. แสดงค่าแรงและโมเมนต์ของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี สปริง 31
5. แสดงการเปรียบเทียบของรูปแบบของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ.......... 32
6. แสดงค่าความยาวของลวด อัลจิลอยด์ กับขนาดของแรงที่เกิดขึ้น 35
7. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยว
พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง 75
8. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยว
แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง 76
9. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยว
เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง 77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.	แสดงรูปแบบของความเค้นในแบบจำลองฟันซึ่งได้รับแรงกระทำในบริเวณต่างๆวิเคราะห์โดยวิธีโฟโตอีลาสติก	9
2.	แบบจำลองสารไบรีฟรินเจนท์รูปทรงสองมิติ	11
3.	แบบจำลองสารไบรีฟรินเจนท์รูปทรงสามมิติ	11
4.	แสดงสารโพลาไรเซชั่นระนาบเดียว จุดยอดของคลื่นแสงที่ไปตามระนาบของโพลาไรเซชั่น	12
5.	แสดงโพลาไรเซชั่นเกลียววงกลม	13
6.	แสดงการจัดเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป	14
7.	แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคประนาบเดียว โดยวางโพลาไรเซอร์ตั้งฉากกันให้ภาพมืด	15
8.	แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคประนาบเดียว โดยวางโพลาไรเซอร์ขนานกันให้ภาพสว่าง	15
9.	แสดงการให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางของความต้านทานซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทรานสเลท	19
10.	แสดงแอนติทิปและแอนติโรเตชั่นที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันเขี้ยว	19
11.	แสดงการเคลื่อนที่ของฟันประเภทต่างๆ ก. การเคลื่อนที่แบบ อันคอนโทรลทิปปิง ข. การเคลื่อนที่แบบ คอนโทรลทิปปิง ค. การเคลื่อนที่แบบทรานสเลชั่น ง. การเคลื่อนที่แบบ รูทมูฟเมนต์	22
12.	แสดงรูปร่างของสปริงชนิด เบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริง	25
13.	แสดงตำแหน่งของการดัดสปริงชนิด ที-ลูป	26
14.	แสดงเทมเพลตของสปริง ที-ลูปกลุ่ม เอ	27
15.	แสดงค่าโหลด-ดีเฟรกชั่นของสปริง ที-ลูป กลุ่มเอ	28
16.	แสดงรูปร่างของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง	30
17.	แสดงตำแหน่งของสปริงเมื่ออยู่ในปาก ก. ตำแหน่งในแนวหน้า ข. ตำแหน่งในแนวใกล้แก้ม-ไกลกลาง ค. ขนาดแรงและรูปร่างของสปริงเมื่อเริ่มใช้งาน	31

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

18. แสดงรูปร่างของสปริงดึงฟันเขี้ยว ชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง.. 34
19. แสดงการดัดสปริงที่ทำเป็นเกเบิล ของสปริง 34
20. แสดงการใส่สปริงในฟันเขี้ยวเข้ากับฟันทางด้านหลัง 35
21. แสดงสปริงที่ช่วยในการตั้งรากฟันหลังจากที่มีการล้มเอียงของฟันเขี้ยว...... 35
22. แสดงการดัดลวดเป็นลูปชนิดต่างๆและค่าของแรงเป็นกรัม/มม............... 36
23. แสดงการใช้ ยูทิริตี อาร์ชร่วมกับการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 36
24. แสดงเครื่องมือโพลาริสโคป ที่ใช้ในการทดลอง 41
25. แสดงเตาอบที่ใช้ในการทดลอง 42
26. แสดงเครื่องมือไล่ฟองอากาศระบบสูญญากาศที่ใช้ในการทดลอง 42
27. แสดงสารโซริเทน-113และ ซี113-300เรซินที่ใช้ในการทดลอง 43
28. แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัย 43
29. แสดงรูปร่างของสปริงที่ใช้ในการทดลอง 44
ก. พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง
ข. แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง
ค. เบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริง
30. แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงในแนวระนาบที่แรง 0-300 กรัม ... 49
31. แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดจากแรงในแนวดิ่งที่แรง 0-300 กรัม.......... 50
32. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง
พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ที่แรง 0-300 กรัม 53
33. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง
แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ที่แรง 0-300 กรัม.......................... 56
34. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง
เบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริง 59
35. แสดงการดึงสปริงชนิด พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ที่ 1 มม............. 61
36 แสดงการดึงสปริงชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ที่ 2มม.......... 63
37. แสดงการดึงสปริงชนิดเบอร์สโตนรีแทรกชั่น สปริงที่ 6 มม.................. 65
38. กราฟแสดงค่า เอฟแวลยูของแบบจำลองก่อนทำการทดลอง 78
39. กราฟแสดงค่า เอฟแวลยูของแบบจำลองหลังทำการทดลอง 79

บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเป็นการแก้ไขความผิดปกติของการเรียงตัวของฟัน การสบฟัน การเจริญเติบโตของใบหน้าและขากรรไกร ความสัมพันธ์ของขากรรไกรบนล่าง รวมทั้งการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือความสวยงาม การทำงานที่มีประสิทธิภาพ และมีความคงตัวของการรักษา ผู้ป่วยที่มารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันส่วนใหญ่มักมีปัญหาเกี่ยวกับความสวยงามอันเนื่องมาจากการเรียงตัวของฟัน เช่นฟันยื่น หรือฟันซ้อนเก ซึ่งหลักของการแก้ไขคือหาเนื้อที่ในขากรรไกรเพื่อใช้ในการแก้ไขให้ฟันมีตำแหน่งปกติ วิธีการหาเนื้อที่อาจจะเป็นการขยายขากรรไกร การถอยฟันกราม การปรับแนวแกนของฟันหน้าให้ผายออก และการถอนฟัน ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีความเหมาะสมที่จะใช้แก้ไขความผิดปกติของการสบฟันแตกต่างกัน ในกรณีที่ต้องการเนื้อที่มาก วิธีหนึ่งที่นำมาพิจารณา ใช้คือการถอนฟัน โดยมักจะเลือกถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 เนื่องจากเนื้อที่ที่ได้สามารถนำมาใช้แก้ไขลักษณะฟันยื่นและฟันซ้อนเกได้ทันที

วิธีการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสำหรับผู้ป่วยซึ่งถอนฟันกรามน้อย โดย เทคนิกของ เอดจ์ไวส์ (edgewise technique) มีขั้นตอนของการรักษาแบ่งเป็น 4 ระยะ คือ

1. ระยะปรับระดับฟัน (leveling phase) เป็นขั้นตอนการปรับระดับฟันให้อยู่ในระดับเดียวกัน รวมทั้งแก้ไขการหมุนตัวและการซ้อนเกของฟัน
2. ระยะการเคลื่อนฟันเขี้ยวถอยหลัง (canine retraction phase) เป็นขั้นตอนเคลื่อนฟันเขี้ยวไปทางด้านไกลกลาง (distal) เพื่อแทนที่ฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 ที่ถูกถอนไป
3. ระยะเคลื่อนฟันหน้าถอยหลัง(contraction phase) เป็นขั้นตอนเคลื่อนฟันตัดทั้ง 4 ซี่ (central and lateral incisor) ไปทางด้านไกลกลางเพื่อปิดช่องว่างที่เหลือ
4. ระยะการจัดเรียงตัวของฟัน (adjustment phase)เป็นขั้นตอนการปรับเปลี่ยนแนวแกนฟัน รวมทั้งปิดช่องว่างที่ยังเหลืออยู่ ให้มีการสบฟันที่ใกล้เคียงกับสภาพปกติมากที่สุด

ตำแหน่งของฟันเขี้ยวภายหลังการเคลื่อนฟันเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการบดเคี้ยว เสถียรภาพ และความสวยงาม (Gjessing,1985) และจากตำแหน่งของฟันเขี้ยวที่อยู่ตรงมุมปากคั่นระหว่างฟันหน้าและฟันหลัง รวมทั้งมีขนาดของรากที่แตกต่างจากฟันหน้าซี่อื่นคือ มีรากฟันยาวและแคบในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง ทำให้การเคลื่อนฟันเขี้ยวแบบบอดิลี(bodily movement) กระทำได้ยาก โดยเฉพาะในรายที่ต้องการควบคุมมิให้ฟันหลังเคลื่อนที่ (maximum anchorage) ดังนั้นจึงมีผู้สนใจศึกษากระบวนการเคลื่อนฟันเขี้ยวอย่างกว้างขวาง (BoesterและJohnston,1974;Burstone,1985;CarrและBlafer,1971; EdenและWaters,1994;Halslerและคณะ,1997;Nicoliai,1975;Raboundและคณะ,1997)

หลักการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปทางด้านไกลกลางตามเทคนิกเอดจ์ไวส์ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ (Gjessing1985,1994)

1. ระบบมีแรงเสียดทาน (frictional system) คือการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปตามลวดโค้งต่อเนื่อง (contineous arch wire) โดยแรงดึงฟันมาจาก ขดลวดสปริง (coil spring) หรือจากยาง(elastic) ข้อดีของการเคลื่อนฟันเขี้ยวแบบนี้คือสามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวได้เนื่องจากมีลวดโค้งต่อเนื่องควบคุมอยู่ แต่มีข้อด้อยที่ไม่พึงประสงค์คือถ้าหากใช้ลวดต่อเนื่องขนาดเล็ก เมื่อมีการเคลื่อนฟันจะทำให้ฟันล้มเอียง (tipping movement) ลวดจะเสียรูปร่างและมีผลกระทบต่อฟันซี่อื่นๆ เช่นฟันหน้ายื่นยาว และการสูญเสียหลักยึด ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ลวดที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้แรงเสียดทานระหว่างลวดกับแบรกเกตมากขึ้นตามมาซึ่งอาจส่งผลในการยับยั้งการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยว และทำให้มีการสูญเสียหลักยึด นอกจากนี้ขนาดของแรงอาจไม่แน่นอนเนื่องจากไม่ทราบขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น(Burstone และ Koenig,1976)

2. ระบบปราศจากแรงเสียดทาน (non-frictional,frictionless system)หรือระบบแยกส่วน (segmented system) ระบบนี้จะมีข้อดีได้แก่ สามารถควบคุมขนาดของแรง และโมเมนต์ได้ดี ไม่มีผลกระทบของการใช้ลวดโค้งต่อฟันซี่อื่นๆ ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างลวดกับแบรกเกต นอกจากนี้ยังเป็นที่พอใจของผู้ป่วยที่ยังไม่มีเครื่องมือติดในฟันหน้าขณะเคลื่อนฟันเขี้ยวส่วนข้อด้อยของระบบนี้คือระบบของแรงและโมเมนต์ มาจากการออกแบบเครื่องมือที่ถูกต้องและผู้ใช้สปริง ต้องเข้าใจในระบบของแรงและโมเมนต์ในสปริงแต่ละชนิดเป็นอย่างดี

จึงได้มีนักวิจัยได้ศึกษาการออกแบบสปริง ชนิดต่างๆที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยว (Burstone 1962,1966,1976,1980,1982;Giessing1985,1994; Shaw1992) หรือศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสปริงจากในห้องทดลอง (Ziegler 1989;Dincer 1994; Hoenigl 1995) มีเพียงงานวิจัยกลุ่มน้อยที่ ศึกษาถึงความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรากฟันจากการใช้สปริงเคลื่อนฟันเขี้ยว(Baeten1975; Caputo1974; ทัศนีย์ บัณฑราภิวัฒน์ 2529)ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ศึกษาถึงการกระจายแรงเค้นที่เกิดจากการเคลื่อนฟันเขี้ยวที่ปราศจากแรงเสียดทานจากสปริงรูปแบบต่างๆ จึงมีประโยชน์ในการบรรยายการกระจายของความเค้นที่เกิดบริเวณรากฟันจากการดึงฟันเขี้ยว และจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลือกใช้สปริงและขนาดแรงที่เหมาะสมกับสปริงในแต่ละชนิดต่อไป

สมมุติฐานของการวิจัย

สปริงดึงฟันเขี้ยวแต่ละชนิดทำให้เกิดการกระจายของความเค้นรอบปลายรากฟันเขี้ยวแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการกระจายความเค้นซึ่งเกิดจากการใช้สปริงสำเร็จรูปชนิดต่างๆในการเคลื่อนฟันเขี้ยว
2. เพื่อเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรากฟันเขี้ยว จากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ

ประโยชน์ของการวิจัย

ทราบลักษณะการกระจายความเค้นที่เกิดจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว
เป็นแนวทางในการเลือกใช้สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดและขนาดต่างๆในการดึงฟันเขี้ยว

ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาเฉพาะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันเขี้ยว จากการเคลื่อนฟันเขี้ยวในแบบจำลองฟันซึ่งประกอบด้วย ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และฟันกรามซี่ที่หนึ่ง เรียงตัวอยู่ในสารไบฟรินเจนท์ซึ่งทำหน้าที่แทนเนื้อเยื่อและอวัยวะรองรับฟัน

แหล่งกำเนิดของความเค้น ได้แก่

สปริงประเภท เซคชั่นนัล อาร์ช สปริง (sectional arch spring) 3 แบบ

2.1 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง (burstone retraction spring) ชนิดสำเร็จรูป ของบริษัท ออมโก จำกัด (Ormco corporation)

2.2 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พี จี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง (PG universal retraction spring) ชนิดสำเร็จรูป ของบริษัท รอกกี้ เมาเทนต์ (Rocky mountain orthodontic company)

2.3 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง (Mandibular cuspid retraction spring)ชนิดสำเร็จรูป ของบริษัท รอกกี้ เมาเทนต์ (Rocky mountain orthodontic company)

3. ตัวแปรของการวิจัย แบ่งเป็น

3.1 ตัวแปรอิสระ (independent variables) ได้แก่ ขนาดของแรง และรูปร่างของสปริง

3.2 ตัวแปรตาม(dependent variables) ได้แก่ ลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันเขี้ยวในแบบจำลองเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีโฟโตอีลาสติก ซึ่งจะปรากฏเป็นแถบสว่างของสีสเปกตรัม (spectrum fringe order)ลำดับของฟรินจ์และความลึกของแถบมืด

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. แบบจำลองฟันมีขนาดเท่ากันตลอด และไม่มีความเค้นหลงเหลืออยู่ภายหลังการทดลองแต่ละครั้ง
2. การกระจายของความเค้นเมื่อมีแรงกระทำต่อฟันเขี้ยววิเคราะห์จากลำดับที่และความลึกของแถบมืดเมื่อเปรียบเทียบกับระนาบอ้างอิงโดย
   2.1 ระนาบอ้างอิง คือระนาบสมมุติซึ่งลากผ่านสลอต (slot) ของแบรกเกต(bracket)ของฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อย และจุดศูนย์กลางของบัคเคิลทิว (buccal tube) ของฟันกราม
   2.2 ลำดับของแถบสี แสดงขนาดของความเค้นจากน้อยไปหามากตามลำดับ คือ 0 1 2 3 ......(n) เมื่อนับลำดับจากการวิเคราะห์ในดาร์คฟิล (Dark field)หรือในแบบที่เป็นแถบสี และ ½, 3/2 , 5/2 , ...$\left[n+(1/2)\right]$ในไลท์ฟิล (light field)
   2.3 ความลึกของแถบสีคือระยะที่วัดระหว่างจุดกึ่งกลางขอบบนสุดและขอบล่างสุดของแถบมืดกับระนาบอ้างอิง

การเคลื่อนที่ทั้งซี่ฟันตัดสินจากลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวรากฟันที่เกิดขึ้นทั้งด้านใกล้กลางและไกลกลาง

ฟันที่ใช้ในการศึกษาหล่อด้วยอะคริลิกเรซิน (acrylic resin)มีรูปร่างลักษณะและขนาดเท่ากับฟันจริง เพื่อให้ฟันยึดติดแน่นกับสารโฟโตอีลาสติกได้ดียิ่งขึ้น แรงที่กระทำต่อฟันถ่ายทอดแรงไปที่สารที่ใช้เป็นตัวแทนของเนื้อเยื่อรองรับฟันได้อย่างสม่ำเสมอ

โพลาริสโคป ที่ใช้เป็นชนิดเซอร์คูลาร์โพลาริสโคป (circular Polaliscope)

ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย

การศึกษาทางด้านโฟโตอีลาสติกเทคนิก ให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการกระจายของแรง ขนาดของแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันในแบบจำลองฟันไม่สามารถอ้างอิงไปยังมนุษย์ได้โดยตรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำจำกัดความ

ดับเบิลรีแฟรกชั่นหรือไบรีฟรินเจนท์ (double refraction or birefrigence)	เป็นปรากฏการณ์ที่ลำแสงเดี่ยวหักเหออกเป็นสองลำแสง เมื่อเคลื่อนจาก ตัวกลางหนึ่งผ่านเข้าไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง
สารสมลักษณ์ทางแสง (isotropic material)	คือสารที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทางในเนื้อสาร
สารอสมลักษณ์ทางแสง (anisotropic material)	คือสารที่มีคุณสมบัติขึ้นกับทิศทางในเนื้อสาร
โพลาไรเซชั่น (polarization)	เป็นปรากฏการณ์ที่เนื่องมาจากความเป็นคลื่นตามขวางของแสงเมื่อผ่านโพลาไรเซอร์ (polarizer) แล้วลำแสงจะมีทิศทางของการสั่นเหลือ เพียงทิศ ทางเดียวซึ่งขนานกับแกนของโพลาไรเซอร์
โฟโตอีลาสติกเทคนิก (photoelastic technique)	เป็นการทดลองเพื่อวัด ความเค้นที่เกิดขึ้นในสาร โดยการอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่เรียกว่าไบริฟรินเจนท์ ซึ่ง สามารถแยกลำแสงหักเหออกเป็นสองแนว
ดาร์คฟิล (dark field)	เป็นสภาวะการจัดเครื่องมือแบบที่ภาพมืดหมดเมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไปในกรณีที่นำแบบจำลองซึ่งมีแรงกระทำมาวางอยู่ระหว่างเครื่องมือชนิดนี้ จะปรากฏแถบมืด แสดงถึงปริมาณของความเค้นที่เกิดขึ้นแถบมืดที่ปรากฏอันดับแรกเรียกว่า ซีโร ออเดอร์ (zero order)เมื่อมีความ เค้นเพิ่มจะมีแถบมืดเพิ่มขึ้นเป็นลำดับที่ 1, 2, 3, …..(n) ตามลำดับ
ไลท์ฟิล (light field)	เป็นการจัดสภาวะเครื่องมือแบบที่ภาพสว่างหมด เมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไปในกรณีที่นำแบบจำลองซึ่งมีแรงกระทำมาวางอยู่ระหว่างเครื่องมือชนิดนี้ จะพบแถบสว่างแสดงถึงปริมาณของความเค้นที่เกิดขึ้นเช่นกัน ส่วนของแถบมืดใน ดาร์ค ฟิล จะปรากฏเป็นแถบสว่างในไลท์ ฟิล ที่ตำแหน่งเดียวกัน และสำหรับส่วนของแถบมืดใน ไลท์ ฟิล จะปรากฏเป็นแถบสว่างใน ดาร์ค ฟิล สำหรับแถบมืดอันดับแรก จะเป็น ฮาร์ฟ ออเดอร์ (half order) และต่อมาจะเป็น ½,3/2, 5/2, 7/2,……..[n+(1/2)]ตามลำดับ

ความเค้น (stress)

คือค่าของแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่แรงนั้นกระทำต่อวัสดุ ชนิดของความเค้นจากแรงต้านทานที่เกี่ยวข้องกับงานทางทันตกรรมจัดฟัน ได้แก่

ก. ความเค้นเชิงดึง (tensile stress) คือแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่พยายามยืดวัสดุ

ข. ความเค้นเชิงอัด (compressive stress) คือแรงต่อหน่วยพื้นที่ที่พยายามกดให้วัสดุหดสั้นหรือหดตัวลง

ความเครียด (strain)

คือค่าอัตราการยืดตัวหรือหดตัวต่อหน่วยความยาวเดิม

การเคลื่อนที่แบบบอดิลี (bodily movement)

การเคลื่อนที่แบบบอดิลีในทางโฟโตอีลาสติกจะพบลักษณะรูปแบบของฟรินจ์เพียงรูปแบบเดียว คือจะมีการกระจายบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันไปจนถึงบริเวณปลายรากฟัน หรือรูปแบบของการเกิดความเค้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและที่บริเวณปลายรากมีขนาดของความเค้นที่เท่ากัน

(Caputo 1974,Baeten 1975,Broadsky1975)

การเคลื่อนที่แบบทิปปิง (tipping movement)

การเคลื่อนที่แบบทิปปิงในทางโฟโตอีลาสติกลักษณะรูปแบบของฟรินจ์จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือในบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และที่บริเวณปลายรากฟันจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันและความเค้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน จะมีค่าความเค้นมากกว่าที่บริเวณรากฟัน

(Caputo 1974,Baeten 1975,Broadsky1975)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

หลักการพื้นฐานของโฟโตอีลาสติก เทคนิก

(Basic Principle of Photoelastic Technique)

โฟโตอีลาสติกเทคนิค คือ วิธีการวิเคราะห์ความเค้นและความเครียด (strain) ที่เกิดขึ้นในสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของสารที่เรียกว่า ไบรีฟรินเจนท์ หรือ ดับเบิลรีแฟรกชั่น ซึ่งสามารถทำให้แสงลำแสงเดียว เมื่อเดินทางผ่านสารขณะที่มีความเค้นอยู่ภายในแยกเป็นสองลำแสงและเดินทางด้วยความเร็วต่างกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลัก (principle stress) ภายในวัตถุ นิยมใช้ในการวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในวัตถุที่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตหรือมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ลักษณะของความเค้นศึกษาจากภาพถ่ายจากเครื่องมือโพลาริสโคป(DallyและRiley,1965 DurelliและRiley,1965;Hendry,1993;Srinat,1993)

โฟโตอีลาสติกเทคนิกเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบเครื่องจักรกลทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม (Heawood , 1969) สำหรับในวงการทันตแพทย์นั้น Zak เป็นคนแรกที่นำวิธีการโฟโตอีลาสติกมาใช้ศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากกลไกการจัดฟัน (orthodontic mechanics) ในกระดูกเบ้าฟันในปี ค.ศ.1935 ต่อมาได้มีนักวิจัยอีกหลายท่าน (Caputo,Chaconas และ Hayashi , 1974 ; Chaconas,CaputoและDelvis,1976;De alba,chaconasและCaputo,1982;Glickmanและคณะ,1970;Kenney และRichards1998;Stefanac,ChaconasและCaputo,1993,Nicolai,1974) ใช้วิธีการโฟโตอีลาสติกทดสอบและวิเคราะห์การกระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือทางทันตกรรม เพื่อปรับปรุงคุณภาพและออกแบบเครื่องมือตลอดจนวัสดุที่ใช้ในทางทันตกรรมให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังนำมาใช้ศึกษาลักษณะการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นในโครงสร้างทางชีวภาพ (biologic structure) เช่น กระดูกขากรรไกรบน – ล่าง รวมไปถึงอวัยวะในช่องปากต่อการตอบสนองของแรงจากการบดเคี้ยว (masticatory force) และแรงดึงของกล้ามเนื้อรอบช่องปาก เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของกระดูกขากรรไกร (Alexandridis , และ Thanos , 1981 ; Ralp และ Caputo , 1975) ในประเทศไทย ทัศนีย์ บัณฑราภิวัฒน์ (2529) ใช้วิธีการทางโฟโตอีลาสติกศึกษาการกระจายของความเค้นที่เกิดจากเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ ซึ่งการศึกษาในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจ้นท์ และ รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์ (2534) ได้ทำการศึกษาการกระจายความเค้นจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และริกเกตส์ อาร์ช และพบว่าสามารถแสดงให้เห็นลักษณะการกระจาย ของความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงของเครื่องมือชนิดต่างๆได้อย่างชัดเจน

หลักการของโฟโตอีลาสติก(DurelliและRiley,1965) ประกอบด้วย

1. แบบจำลอง
2. วิธีการวิเคราะห์
3. เครื่องมือโพลาริสโคป

1. แบบจำลอง : การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีการโฟโตอีลาสติกจะต้องใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากสารไบรีฟรินเจ้นท์ ตามลักษณะของโครงสร้างที่ต้องการศึกษา (Caputo และ Standlee , 1987) สารไบรีฟรินเจ้นท์ที่นิยมใช้ได้แก่ บาคีไลต์ (Bakelite) เซลลูลอยด์ เจลลาติน (Celluloid gelatin) หรือเรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin) คุณสมบัติของสารมีลักษณะโปร่งใส (transparent) ยืดหยุ่นได้ (elasticity) และมีคุณสมบัติสมลักษณ์ทางแสง (isotropic material) กล่าวคือ เมื่อปราศจากความเค้นหรือความเครียดจะมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทางในเนื้อสาร เมื่อได้รับแรงจะเปลี่ยนเป็นอสมลักษณ์ทางแสง (anisotropic material) ซึ่งมีคุณสมบัติขึ้นกับทิศทางของแรงและของแสงที่ผ่านในเนื้อสาร เมื่อมองผ่านเครื่องมือโพลาริสโคป ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์ (polarized light) จะพบการตอบสนองต่อแสงโดยคลื่นแสงเคลื่อนที่ตามแนวแกนของความเค้นหลักภายในวัตถุ การเปลี่ยนแปลงของแสงโพลาไรซ์จากความเค้นภายในกลายเป็นสองลำแสง ซึ่งเดินทางด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นต่างกัน ความเร็วของแสงขึ้นอยู่กับขนาดของความเค้นและผลของความเค้นปรากฏเป็นแถบสี (array of coloured patterns) ในสาร ถ้าใช้แสงสีขาว จะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบสีทุกสีของสเปกตรัม (spectrum)แต่ถ้าใช้แสงสีเดียว ที่มีความถี่และความยาวคลื่นแสงเดียวกัน (monochromatic light) จะให้รูปแบบของความเค้นเป็นแถบมืดและแถบสว่างแทน โดยที่รูปแบบของแถบไม่เปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและคุณภาพ (Caputo และ Standlee , 1987) คลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นต่างกัน 180 องศา เมื่อรวมกันจะหักล้างกันปรากฏเป็นแถบมืด ส่วนคลื่นแสงที่มีช่วงคลื่นเหมือนกันจะเสริมกันปรากฏเป็นแถบสว่าง แถบมืดและแถบสว่าง ซึ่งมีลำดับที่เท่ากันหรือตรงกัน เรียกว่า ไอโซโครมาติกฟรินจส์ (isochromatic fringes) ลำดับที่ของแถบสว่างและแถบมืดจะสัมพันธ์กับความเค้นที่กระทำต่อวัตถุ (รูปที่ 1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1. แสดงรูปแบบของความเค้นภายในแบบจำลองฟัน ซึ่งได้รับแรงกระทำในบริเวณต่างๆ
วิเคราะห์โดยวิธีโฟโตอีลาสติก (Caputo และ Standlee , 1987)

หลักการสร้างแบบจำลอง (Caputo และ Standlee , 1987) พิจารณาดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองที่ใช้ศึกษาจะต้องสัมพันธ์ และสามารถจำลองลักษณะและรูปทรงของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งอาจเป็นแบบจำลองที่มีโครงสร้างสองมิติ (รูปที่ 2) หรือสามมิติ (รูปที่ 3) ขนาดของแบบจำลองนั้นอาจมีขนาดเล็กกว่า ใหญ่กว่า หรือเท่ากับของจริง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความสามารถในการอ้างอิงไปใช้ได้
2. การสร้างแบบจำลองจะต้องเลียนแบบคุณสมบัติเชิงกล ของระบบที่ต้องการศึกษา แม้ว่าในบางกรณีอาจไม่สามารถจำลองคุณสมบัติของโครงสร้างที่ต้องการศึกษาได้ทั้งหมด นั่นคือจะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดมาจัดกระทำให้ตรงกับปัญหาที่ต้องวิเคราะห์มากที่สุด
3. แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องสัมพันธ์กับวิธีการวิเคราะห์

2.วิธีการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติกเทคนิก (Caputo และ Standlee , 1987) แบ่งเป็น

2.1 การวิเคราะห์แบบสองมิติ (Two dimensional stress analysis)

เป็นการวิเคราะห์ในแบบจำลองที่สร้างด้วยสารไบรีฟรินเจนท์ ซึ่งมีรูปทรงสองมิติ โดยศึกษาในระนาบ เดียว (one plane) เช่น ระนาบด้านข้าง (sagittal plane) ของฟัน แรงที่กระทำต่อแบบจำลองจะต้องอยู่ในระนาบเดียว กันกับแบบจำลองนั้น

<u>ข้อดีของวิธีนี้คือ</u> การสร้างแบบจำลองไม่ยุ่งยาก และสามารถให้แรงกระทำในสภาวะที่แตกต่างกันในแต่ ละครั้งต่อแบบจำลองเดียวกัน โดยนำมาทดสอบในสภาวะใหม่ได้ เนื่องจากไม่มีกระบวนการตัดแบบ จำลองออกเป็นชิ้นๆ ทำให้นำแบบจำลองเดิมมาใช้ใหม่ได้ เมื่อทำให้ปราศจากความเค้นหลงเหลือ ก่อนนำมาทดสอบในครั้งต่อไป

<u>ข้อด้อยของวิธีนี้คือ</u>ไม่สามารถเลียนแบบลักษณะตามธรรมชาติของโครงสร้างที่มีรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเป็นการทดสอบในระนาบเดียว

2.2 การวิเคราะห์แบบสามมิติ (Three dimension stress analysis)

เป็นการศึกษาความเค้นในแบบจำลองที่สร้างจากสารไบรีฟรินเจ้นท์ ซึ่งมีลักษณะรูปทรงสามมิติวิธีนี้หลังจากให้แรงกระทำต่อแบบจำลองตามสภาวะที่ต้องการศึกษาแล้ว จะต้องนำแบบจำลองไปผ่าน กระบวนการให้ความร้อนในเตาอบ โดยค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทีละน้อยจนถึงอุณหภูมิวิกฤต (critical temperature) ซึ่ง ระดับอุณหภูมินี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารไบรีฟรินเจนท์ แล้วทิ้งแบบจำลองไว้ที่อุณหภูมิวิกฤตนี้ประมาณ 5 ชั่วโมง จึงค่อยๆลดอุณหภูมิในเตาอบลงทีละน้อยจนถึงอุณหภูมิห้อง เพื่อรักษาสภาพความเค้นไว้ วิธี การดังกล่าวนี้เรียกว่า สเตรส ฟรีซซิง โพรเซส (stress frezzing process) จากนั้นจึงนำเอาแบบจำลองไปตัดเป็นแผ่นบางๆ (sliding process) ด้วยเครื่องตัด แล้วจึงนำแต่ละชิ้นไปวิเคราะห์ความเค้น

<u>ข้อดีของวิธีนี้คือ</u> สามารถวิเคราะห์ความเค้นในโครงสร้างที่มีรูปทรงสามมิติได้อย่างสมบูรณ์

<u>ข้อด้อยของวิธีนี้คือ</u> กระบวนการวิเคราะห์ยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลามาก เนื่องจากการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องใช้แบบจำลองใหม่ต่อสภาวะการให้แรงกระทำครั้งหนึ่งๆหรือต่อเครื่องมือแต่ละชิ้น ซึ่งจะต้องควบคุมตัวแปรในเรื่องความแตกต่างของการหล่อแบบจำลองแต่ละชุด และกระบวนการตัดแบบจำลองต้องถูกต้องและมีความเที่ยงตรงสูง

2.3 การวิเคราะห์แบบกึ่งสามมิติ (Quasi three dimensional stress analysis)

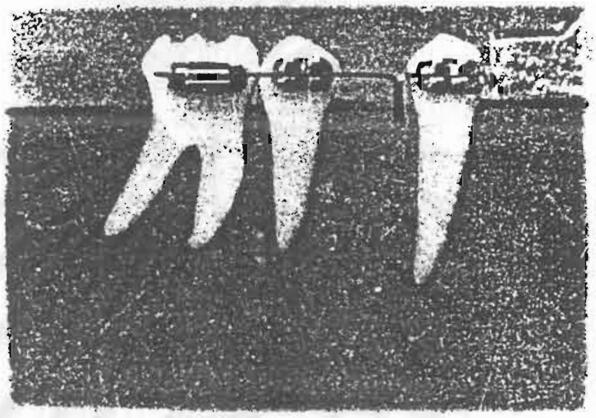
เป็นการศึกษาในแบบจำลองที่เคลือบด้วยสารไบรีฟรินเจ้นท์ เรียกว่า โฟโตอีลาสติก โคทติง เทคนิก (photoelastic coating technique) แปลผลโดยวิธีการสะท้อนแสงจากผิวแบบจำลอง โดยใช้แบบ จำลองสองมิติหรือสามมิติศึกษาความเค้นจากแบบจำลอง โดยไม่เกี่ยวข้องกับความหนาของแบบจำลอง

<u>ข้อดีของวิธีนี้คือ</u> การวิเคราะห์ความเค้นไม่ต้องใช้กระบวนการสเตรส ฟรีซซิงและการตัดแบบจำลองเช่นเดียวกับการวิเคราะห์แบบสามมิติ และการวิเคราะห์ไม่ถูกจำกัดเฉพาะความเค้นในระนาบเดียว เช่นการวิเคราะห์แบบสองมิติ

<u>ข้อด้อยของวิธีนี้คือ</u> ไม่สามารถวิเคราะห์การกระจายของความเค้นในแบบจำลองสามมิติได้อย่างแท้จริง เพราะเป็นการวิเคราะห์ความเค้นที่ผิวเท่านั้น

2.4 การวิเคราะห์ร่วม (Combined technique application)

กล่าวคือ ใช้วิธีการแบบที่ 1 , 2 , และ 3 ร่วมกัน โดยอาจวิเคราะห์โครงสร้างที่ซับซ้อนด้วยแบบจำลองสองมิติก่อน และอาศัยการทดสอบแบบจำลองสองมิติเป็นพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์สามมิติในส่วนที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีขึ้นต่อไป



รูปที่ 2. แบบจำลองสารไบรีฟรินเจ้นท์รูปทรงสองมิติ (Caputo และคณะ , 1974)

รูปที่ 3. แบบจำลองสารไบรีฟรินเจ้นท์รูปทรงสามมิติ (Caputo และ Standlee , 1987)

<u>3. เครื่องมือโพลาริสโคป</u> การวิเคราะห์ความเค้นด้วยวิธีโฟโต้อีลาสติกใช้แสงในช่วงความถี่ที่ตาสามารถมองเห็นได้ (visible light) โดยใช้เครื่องมือโพลาริสโคป ซึ่งอาศัยกระบวนการโพลาไรเซชันและการรบกวน (interference) ของแสงที่เป็นคลื่นตามขวางมาอธิบาย ซึ่งส่วนของเครื่องมือประกอบด้วย

3.1 แหล่งกำเนิดแสง เป็นแสงสีขาวซึ่งทำให้เกิดแถบสีของสเปกตรัม หรือแสงสีเดียวที่มีความถี่และความยาวคลื่นเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดแถบมืดและแถบสว่างแสดงการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้น

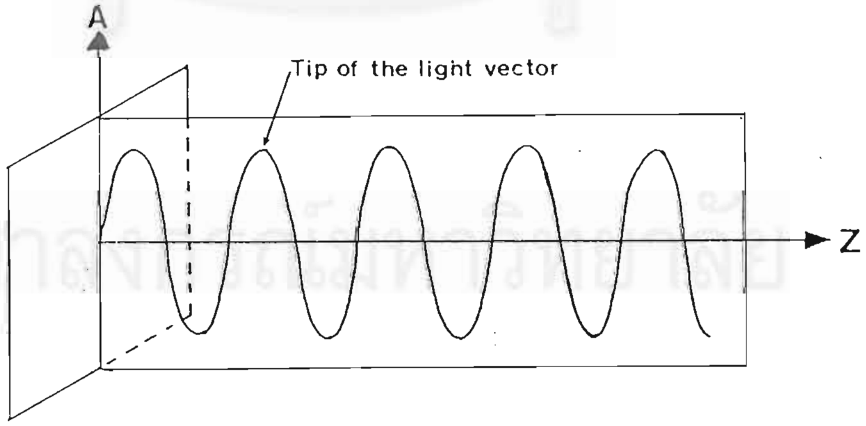
3.2 โพลาไรเซอร์ (Polarizer) ทำหน้าที่กรองแสงจากแหล่งกำเนิดให้เหลือเพียงระนาบเดียวก่อนผ่านไปยังแบบจำลอง เรียกว่า แสงโพลาไรซ์ ซึ่งมีระนาบการสั่นสะเทือนอยู่ในระนาบเดียว ในทางโฟโตอีลาสติกสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

3.2.1 แสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว (Plane polarized light) เกิดจากการบังคับให้เวกเตอร์ (vector) ของการสั่นของคลื่นแสง อยู่ในระนาบเดียวตลอดเวลา เรียกว่า ระนาบของโพลาไรเซชั่น (รูปที่4)

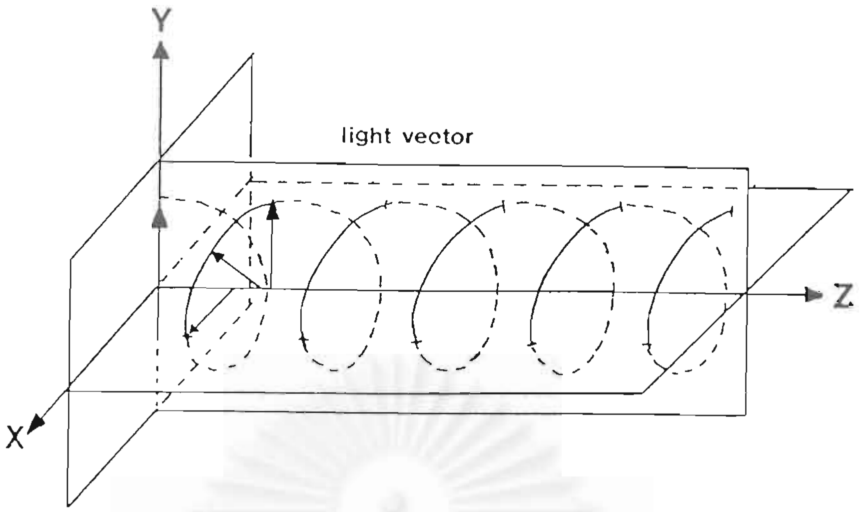
3.2.2 แสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม (Circular polarized light) เกิดขึ้นเมื่อระนาบการสั่นเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่จุดยอด ของคลื่นแสง เคลื่อนที่เป็นเกลียวของวงกลมในรอบแกน Z (รูปที่ 5)

3.2.3 แสงโพลาไรซ์เกลียววงรี (Elliptically polarized light) จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่เป็นเกลียวแบบวงรีไปรอบแกน Z

ในทางปฏิบัติสามารถเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแบบเกลียววงกลมหรือเกลียววงรี หรือเปลี่ยนจากแบบเกลียวเป็นระนาบเดียวได้โดยใช้ควอเตอร์ เวฟ เพลต (Quarter wave plates)



รูปที่4. แสดงแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียว จุดยอดของคลื่นแสงเคลื่อนที่ไปตามระนาบของโพลาไรเซชั่น



รูปที่ 5. แสดงแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม

3.3 ควอเตอร์ เวฟ เพลต คือ แผ่นกรองแสงที่สามารถแยกระนาบการสั่นสะเทือนของลำแสงออกเป็น 2ทิศทาง ทำมุมตั้งฉากต่อกันและลำแสงทั้งสองมีความเร็วไม่เท่ากัน ในเครื่องมือโพลาริสโคประนาบเดียว (plane polariscope) จะไม่มีควอเตอร์ เวฟ เพลต แต่ในเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป (circular -polariscope) จะมีควอเตอร์ เวฟเพลต 2 แผ่น ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 6)

แผ่นที่ 1 วางต่อจากโพลาไรเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์ระนาบเดียวเป็นแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลม เมื่อแสงผ่านแบบจำลองที่มีคุณสมบัติเป็นสารไบรีฟรินเจ้นท์ ซึ่งได้รับแรงกระทำจะหักเหแสงเป็นสองลำแสงตั้งฉากกันตามแนวความเค้นหลักในวัตถุ แต่ละลำแสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามแกนที่เรียกว่า ฟาส แอกซีส (fast axis) และสโลว์ แอกซีส (slow axis)

แผ่นที่2 ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงโพลาไรซ์เกลียววงกลมกลับไปเป็นแสงโพลาไรซ์ระนาบเดียวใหม่ โดยวางต่อจากแบบจำลองให้ฟาส แอกซีส ขนานกับ สโลว์ แอกซีส ของ ควอเตอร์ เวฟ เพลต แผ่นแรก

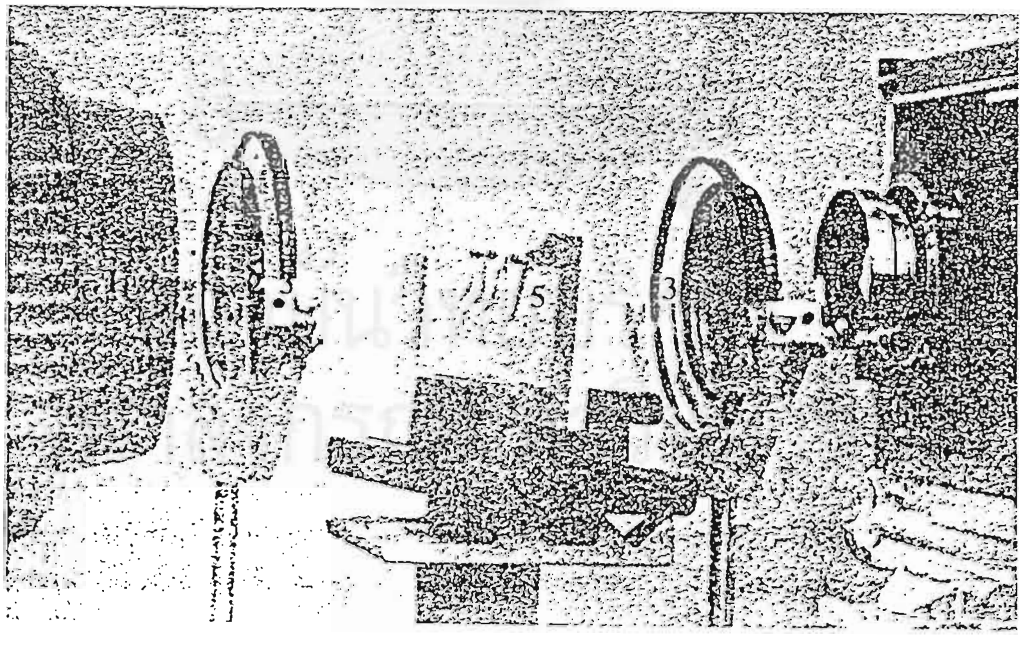
3.4 อะนาไลเซอร์ (Analizer) เป็นโพลาไรเซอร์ แผ่นที่ 2 วางต่อด้านหลังของควอเตอร์ เวฟ เพลต แผ่นที่ 2 การ เปลี่ยนมุมของอะนาไลเซอร์ ให้ขนานหรือตั้งฉากกับโพลาไรเซอร์แผ่นแรกและกับควอเตอร์เวฟเพลต จะให้ภาพเป็นภาพสว่างหรือภาพมืดก็ได้

การทดลองแบบภาพมืดกระทำได้โดยการจัดเครื่องมือให้ควอเตอร์ เวฟ เพลต ทั้งสองแผ่นวางตั้งฉากซึ่งกันละกัน ขณะเดียวกับโพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางตั้งฉากซึ่งกันและกันด้วย (รูปที่ 7) หรือจัดให้ควอเตอร์ เวฟ เพลต ทั้งสองแผ่นวางขนานกันขนาดที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางขนานกันด้วย เมื่อยังไม่วางแบบจำลองลงไป จะปรากฏเป็นภาพมืดหมด แต่เมื่อนำแบบจำลองที่มีแรง

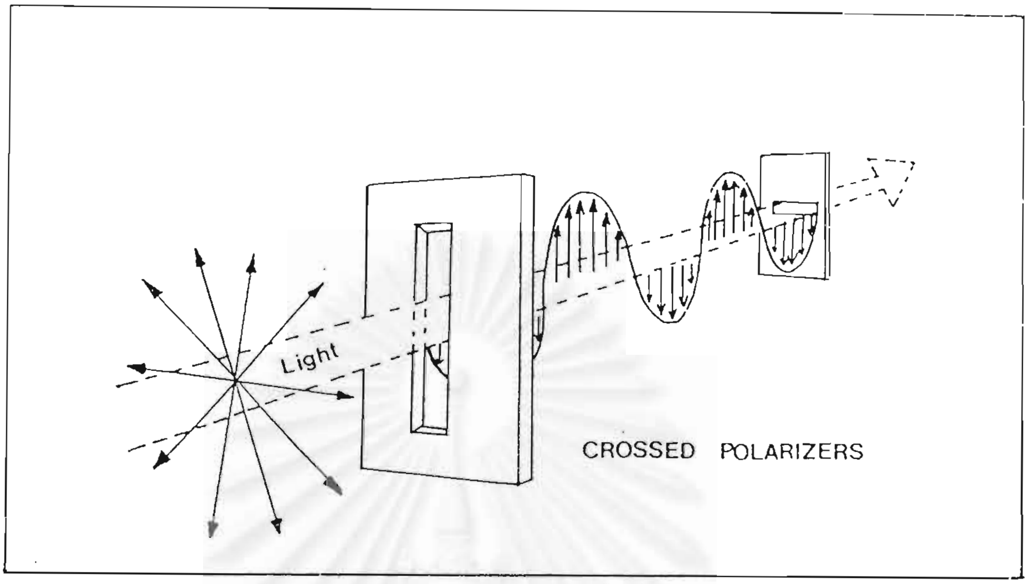
กระทำมาวางระหว่างเครื่องมือชนิดนี้ จะปรากฏเป็นแถบมืดแสดงปริมาณความเค้นที่เกิดขึ้น แถบมืด อันดับแรกที่ปรากฏ สำหรับภาพแสงสว่างทำได้โดยจัดควอเตอร์ เวฟ เพลต ทั้งสองแผ่นตั้งฉากซึ่งกันและกันขณะเดียวกับ ที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางขนานกัน (รูปที่ 8) หรือจัดให้ควอเตอร์ เวฟ เพลต ทั้งสอง แผ่นวางขนานกัน ขณะเดียวกับที่โพลาไรเซอร์และอะนาไลเซอร์วางตั้งฉากกัน เมื่อยังไม่วางแบบ จำลองลงไป จะปรากฏเป็นภาพสว่างหมด เมื่อวางแบบจำลองที่มีแรงกระทำมาวางระหว่างเครื่องมือนี้ จะปรากฏแถบสว่างแสดงปริมาณความเค้นเช่นกัน แถบมืดในภาพมืดจะปรากฏเป็นแถบสว่างในภาพ สว่างที่ตำแหน่งเดียวกัน และส่วนของแถบมืดในภาพสว่างจะปรากฏเป็นแถบสว่างในภาพมืด แถบมืด อันดับแรกเป็น ฮาล์ฟ ออเดอร์ ต่อมาเป็น 3/2 , 5/2 , ……..(n + ½) ตามลำดับ

วิธีการวิเคราะห์โดยการนำแบบจำลองที่ต้องการศึกษาไปทดสอบภายใต้แสงโพลาไรซ์และวิเคราะห์จากภาพถ่ายของความเค้นในแบบจำลองซึ่งบันทึกไว้ การแปลผลพิจารณาดังต่อไปนี้

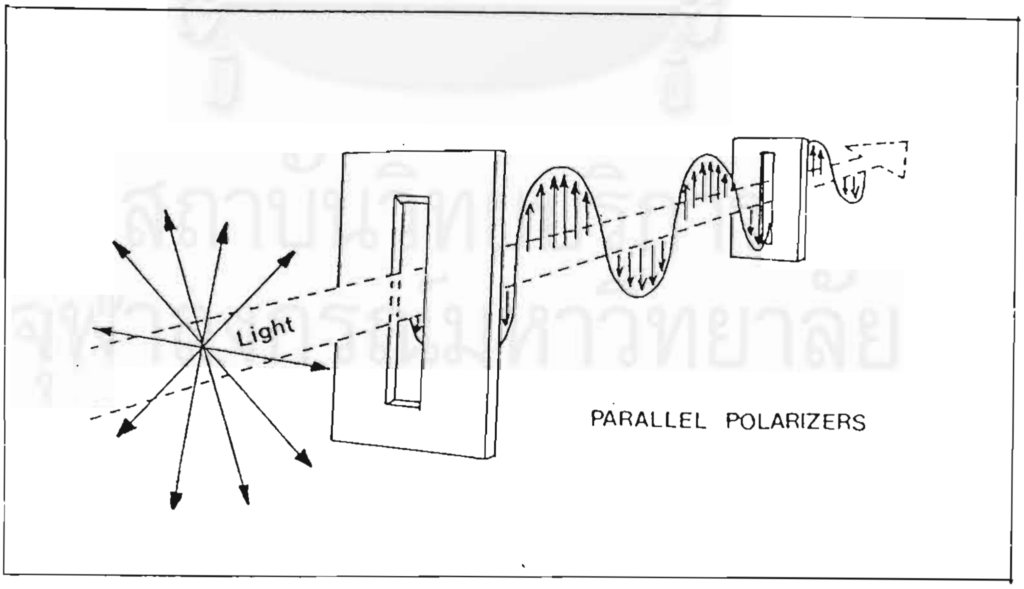
1. จำนวนของแถบที่ปรากฏจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำ กล่าวคือ ถ้าจำนวนแถบมีมากกว่าแสดงถึงความรุนแรง (intensity) ของความเค้นที่สูงกว่า
2. ความถี่ของไอโซโครมาติก ฟรินจ์ ถ้ายิ่งเข้าใกล้กันมากเท่าไร แสดงว่าความเข้มของความเค้น (stress concentration) ยิ่งมีค่าสูง



รูปที่6. แสดงการจัดเครื่องมือเซอร์คูลาร์ โพลาริสโคป (Caputo และคณะ , 1974)



รูปที่7. แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคป แบบระนาบเดียว โดยวางโพลาไรเซอร์ ตั้งฉากซึ่งกันและกันให้ภาพมืด (Caputo และStandlee , 1987)



รูปที่8. แสดงการจัดเครื่องมือโพลาริสโคปแบบระนาบเดียว โดยวางโพลาไรเซอร์ขนานกันให้ภาพสว่าง (Caputo และ Standlee , 1987)

นอกจากการวิเคราะห์ความเค้นที่มีลักษณะที่เป็นภาพขาวดำแล้ว ยังสามารถที่จะดูได้ในลักษณะของภาพสีได้ โดยหลักการจะเหมือนกับการดูลักษณะการเกิดความเค้นที่เห็นเป็นภาพขาว ดำ แต่เราเพียงเปลี่ยนแหล่งกำเหนิดแสงเป็นแสงสี ขาวแทนที่แสงสีแดง ภาพของความเค้นที่เกิดขึ้นก็จะสามารถที่จะเห็นเป็นลักษณะที่เป็นแถบสีเกิดขึ้นได้

การนับออเดอร์ที่เกิดขึ้นจากการที่มีการให้แรงก็จะนับเหมือนกับการนับใน ดาร์ค ฟิล คือจะนับในลักษณะเป็น 1,2,3,4,.......และความเค้นในออเดอร์ที่ 1 ก็จะเป็นการเกิดที่มีลักษณะที่มีความเค้นมากที่สุด

<u>ตารางที่ 1.</u> แสดงลำดับของสีที่เกิดขึ้นในแต่ละออเดอร์ที่สามารถสังเกตได้ (Hendry ,1983)

Colour Sequence in Stressed Transparent Material Viewed in White Light

Approximate Relative Retardation F.	*Colours Extinguished*	*Colour Observed*	*Order*
500	—	Grey	
2000	—	White	
4000	Violet	Yellow	
4500	Blue	Orange	
5000	Green	Red	1st
5900	Yellow	Purple	
6500	Orange	Blue	
7000	Red	Green	
8000	Deep red (1st) Violet (2nd)	Yellow	
9000	Blue	Orange	
10,000	Green	Red	2nd
11,800	Yellow (2nd) Violet (3rd)	Purple	
13,000	Orange–red (2nd) Indigo (3rd)	Emerald green	
14,000	Red (2nd) Blue (3rd)	Pale yellow	
15,500	Deep red (2nd) Green (3rd) Violet (4th)	Pink	3rd
17,000	Yellow (3rd) Indigo (4th)	Pale green	
19,000	Orange (3rd) Blue (4th)	White	
21,000	Red (3rd) Green (4th) Violet (5th)	Pale pink	
24,000	Deep red (3rd) Yellow (4th) Blue (5th) Violet (6th)	Pale green	4th
25,000	Orange (4th) Green (5th) Indigo (6th)	White	

ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก

1. สามารถวัดความเค้นในแบบจำลองของโครงสร้างที่มีลักษณะซับซ้อนและมีรูปทรงไม่แน่นอนได้ เช่น โครงสร้างของอวัยวะต่างๆในช่องปาก กระโหลกศีรษะ เครื่องมือทางทันตกรรม ตลอดจนวัสดุบูรณะฟัน เช่น ฟันครอบ หรือ เครื่องจักรกลที่ใช้ในทางวิศวกรรมและอุตสาหกรรม
2. สามารถวัดความเค้นที่เกิดจากการให้แรงกระทำต่อโครงสร้างที่สนใจ เช่น แรงจากเครื่องมือจัดฟันต่อกระดูกเบ้าฟัน แรงจากการบดเคี้ยวต่อวัสดุบูรณะฟันหรือใช้ในทางอุตสาหกรรมเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งและความเข้มของความเค้นซึ่งสามารถบ่งชี้จุดอ่อนของโครงสร้างนั้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดความล้มเหลวจากการแตกหัก (brittle failure) ของวัตถุนั้น
3. สามารถวัดขนาดและตำแหน่งของความเค้นในแบบจำลองทั้งหมดได้การวิเคราะห์ความเค้นโดยวิธีโฟโตอีลาสติก จะกระทำได้สำเร็จต้องประกอบไปด้วยการสร้างแบบ จำลองที่เหมาะสม วิธีการวิเคราะห์ และเครื่องมือโพลาริสโคป ที่สอดคล้องและสัมพันธ์กัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชีวกลศาสตร์พื้นฐาน (Fundamental Biomechanics)

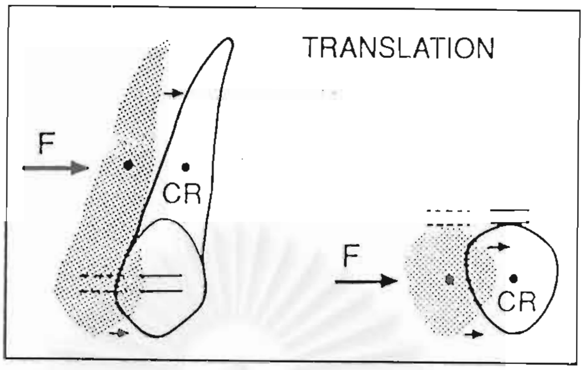
Burstone (1962,1980) กล่าวว่า ถ้ามีแรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟัน จะทำให้ฟันเคลื่อนที่แบบ บอดิลี และ แรงคู่ควบ (couple) หรือ โมเมนต์ (moment) ที่กระทำ ณ ตำแหน่งใดๆ ของฟัน จะทำให้เกิดการหมุนของฟันรอบจุดศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance) แรงที่กระทำบนตัวฟัน จะทำให้เกิดการหมุนที่จุดศูนย์กลาง การหมุนอยู่ระหว่าง เซนทรอยด์(centroid) และปลายรากฟัน เมื่อมีแรงกระทำร่วมกับโมเมนต์ที่ตัวฟัน สามารถทำให้ฟันเคลื่อนที่แบบ บอดิลี ได้ โดยการเลื่อนจุดศูนย์กลางการหมุนไปที่ระยะอนันต์ (infinity) แรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางความต้านทาน

Hoenigle , Freudenthaler , Marcotte และ Bantleon (1995) กล่าวว่า เมื่อมีแรงกระทำที่แบรกเกตจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันแบบล้มเอียงที่ควบคุมไม่ได้ (uncontrolled tipping) คือ ตัวฟันเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับแรงกระทำ ส่วนรากฟันเคลื่อนไปในทิศทางตรงข้าม โดยมีจุดศูนย์กลางการหมุนอยู่เลยจุดศูนย์กลางความต้านทานไปทางปลายรากฟันเล็กน้อย

Baeten (1975) กล่าวว่า เมื่อมีแรงในแนวราบกระทำที่ตัวฟัน จะทำให้ฟันหมุนหรือ ผลัก (tip) ฟันให้หมุนรอบจุดศูนย์กลางการหมุนของฟัน ไปตามทิศทางของแรงในแนวราบนั้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มแรงคู่ควบเข้าไป เพื่อเอาชนะการหมุนนี้และเปลี่ยนตำแหน่งของแรงในแนวราบ ไปที่จุดศูนย์กลางความต้านทาน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ บอดิลี

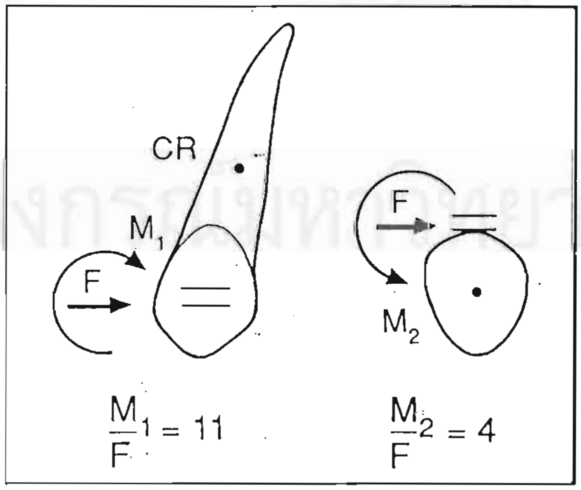
Gjessing (1985 ,1994) อธิบายว่า ในทางคลินิกจุดออกแรงเคลื่อนฟัน คือ บริเวณแบรกเกตที่ติดอยู่บนผิวฟัน ถ้ามีแรงกระทำในทางทิศทางไปทางด้านไกลกลางการเคลื่อนที่แบบ ทิปปิง คือ การเคลื่อนที่แบบ ทรานสเลชั่น ร่วมกับการหมุน (rotation) รอบจุดศูนย์กลางความต้านทาน การหมุนนี้เป็นผลมาจากโมเมนต์(Mf) ของแรงกระทำ (F) มีขนาดเท่ากับแรงกระทำ คูณด้วยระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน (d) ซึ่งได้แก่ระยะทางจากแบรกเกตถึงจุดศูนย์กลางความต้านทานนั่นเอง (โมเมนต์ (Mf) = แรง (F)x ระยะทาง (d)) หากต้องการให้เกิดการเคลื่อนแบบ ทรานสเลชั่น อย่างเดียว จำเป็นต้องทำให้โมเมนต์ที่เกิดขึ้นถูกหักล้าง (neutralized) ไป โดยการปรับแต่ง (calibrate)สปริงเคลื่อนฟันเขี้ยว (canine retraction spring) ให้ทำให้เกิดแรงควบคู่ควบ ที่แบรกเกตฟันเขี้ยว เพื่อให้เกิดโมเมนต์ที่มีขนาดเท่ากับโมเมนต์จากแรงในแนวราบ (horizontal plane) แต่มีทิศทางตรงกันข้าม หรือเรียกว่า โมเมนต์ที่ต่อต้านการล้มเอียง (antitip moment) , $Mf= - Mc= F \times d$ ฉะนั้น อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรง (M/F) จึงเท่ากับ d คือ ระยะจากแบรกเกตถึงจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันเขี้ยวนั่นเอง ดังนั้น การเคลื่อนฟันแบบ ทรานสเลชั่น จะเกิดขึ้นได้ ถ้าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่แบรกเกตฟันเขี้ยวหรือ อัตรา ส่วนโมเมนต์

ต่อแรงที่ต่อต้านการล้มเอียง (antitipM/F) มีค่าเท่ากับระยะทางจากแบรกเกตถึงจุดศูนย์กลางความต้านทาน



รูปที่ 9. แสดงการให้แรงผ่านจุดศูนย์กลางของความต้านทานซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทรานสเลท (Gjessing, 1994)

ส่วนในแนวราบ (horizontal plane)แรงกระทำไปทางด้านไกลกลาง ผ่านแบรกเกตฟันเขี้ยว จะทำให้เกิดการหมุนของฟันไปทางด้านไกลกลาง รอบแนวแกนของฟัน (long axis) และการป้องกันการหมุนนี้ทำได้โดยปรับแต่ง สปริงเคลื่อนฟันเขี้ยว ให้เกิดโมเมนต์ต้านการหมุน (antirotation moment) เช่น เดียวกันและอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่ต่อต้านการหมุน (antirotation M/F) มีค่าเท่ากับระยะในแนวราบจากแบรกเกตถึงจุดหมุน (CR)



รูปที่ 10. แสดง แอนตีทิป และ แอนตีโรเตชั่น ที่เหมาะสมในการเคลื่อนฟันเขี้ยว (Gjessing ,1994)

Gjessing ได้อ้างถึงการศึกษาของ Weine ในปี 1976 ที่ศึกษาระยะจากแบรกเกตถึงจุดศูนย์กลางความต้านทานเฉลี่ยของฟันเขี้ยวบนและล่างของคนกว่า 9,000 คน ที่มีความยาวของฟันเป็นปกติและมีกระดูกรองรับฟันที่ปกติ โดยกำหนดว่าติดแบรกเกตห่างจากปลายฟันเขี้ยว4 มิลลิเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 11 มิลลิเมตร เมื่อวัดในระนาบแบ่งซ้ายขวา (sagittal plane) และเท่ากับ 4 มิลลิเมตร เมื่อวัดในแนวระนาบ (horizontal plane)

ดังนั้น สปริงเคลื่อนฟันเขี้ยวที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนฟันแบบ ทรานสเลชั่นได้ ควรจะทำให้เกิดค่าแอนตีทิป M/F = 11 และ antirotation M/F = 4 อย่างไรก็ตาม Gjessing อ้างว่า จากการศึกษาทางคลินิกพบว่า แอนตีโรเตชั่น M/F อาจเพิ่มเป็น 7 ได้ เพื่อชดเชยความแปรปรวนในรูปร่างของรากฟันเขี้ยวและความลาดเอียงทางด้านใกล้แก้ม (buccal inclination) ของรากฟันที่แตกต่างกัน (Gjessing ,1994)

Burstone และ Koenig (1976) กล่าวว่า อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงสำหรับการเคลื่อนที่ของฟันแบบทรานสเลชั่นนั้น มีค่าหลากหลาย ขึ้นกับความยาวของรากฟันและตำแหน่งของแบรกเกต แต่มักจะต้องมีค่าสูงกว่า 8 สำหรับฟันตัด (central incisor) และฟันเขี้ยว (canine)

ตารางที่ 2. แสดงค่าความยาวของรากฟันเขี้ยวที่มีรากที่สั้น(small;s) ปานกลาง(average;a) และยาว (long;l) (Gjessing 1985)

	Crown length (mm)	*Root length (mm)*	*Bracket-CR distance (mm)*
Tooth lengths for maxillary canines			
s	8	11	8
a	9.5	16.5	11
l	12	20.5	14.5
Tooth lengths for mandibular canines			
s	8	11.5	8
a	10	15	11
l	12	20.5	14

<u>การเคลื่อนฟันเขี้ยวแบบปราศจากแรงเสียดทาน</u>

ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวแบบปราศจากแรงเสียดทานนั้น จำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจในระบบต่างๆดังนี้

- ระบบของแรงและโมเมนต์
- ความคงที่ของแรงและโมเมนต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ขนาดของแรงและโมเมนต์

และในการที่จะเกิดการเคลื่อนที่ของฟันจะมีการเคลื่อนที่ได้ในหลายรูปแบบด้วยกันขึ้นอยู่กับแรงและโมเมนต์ที่กระทำกับฟันที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นและจุดที่อ้างอิงที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของฟัน ได้แก่

1.จุดศูนย์กลางของความต้านทาน (Center of resistance; Cre) หมายถึง จุดซึ่งแรงที่ให้เมื่อกระทำกับจุดนี้แล้วจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบบอดิลี (Bodily Movement) ในกรณีที่ฟันรากเดียวจุดนี้จะอยู่ประมาณ 66 % จากปลายรากฟันมาทางปลายฟัน สำหรับฟันหลายรากจะอยู่ที่ใกล้กับง่ามรากฟัน

Gjessing (1985 , 1994) ได้ทำการใช้เลเซอร์โฮโลกราฟฟิก (Laser Holographic) และเครื่องมือจัดการเปลี่ยนแปลงความเครียด (strain gauge) เพื่อศึกษาตำแหน่งจุดศูนย์กลางความต้านทานและฟันรากเดียว พบว่าจะอยู่ ณ ตำแหน่งหนึ่งในสามของระยะทางจากของกระดูกเบ้าฟัน (alveolar crest) ไปถึงปลายรากฟัน (apex) Hayashi ,Chaconas และ Caputo (1974) กล่าวว่าจุดศูนย์กลางของความต้านทานของฟันที่มีรากเดียวและมีรูปร่างแบบพาราโบลิก (palabolic) จะอยู่ที่ 0.4 ของระยะทางจากของกระดูกเบ้าฟัน ไปถึงปลายรากฟัน

2. จุดศูนย์กลางของการหมุน (Center of rotation) คือจุดที่จะทำให้เกิดการหมุนของฟันและจุดนี้จะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำและตำแหน่งของแรงที่มากระทำ ซึ่งจุดศูนย์กลางของการหมุนนี้ก็จะเปลี่ยนไปตามทิศทางของแรงที่มากระทำ Pavidien (1971) ได้ใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer model) หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของการหมุนของฟันตัดซี่กลางบน (Upper central incisor) พบว่าอยู่ระหว่างร้อยละ 45 ถึง 54 ของระยะจากปลายรากฟันถึงขอบกระดูกเบ้าฟันและจุดศูนย์กลางของความต้านทานจะอยู่ประมาณ 6 ต่อ 10 ของระยะทางจากปลายรากฟันถึงขอบกระดูกเบ้าฟัน

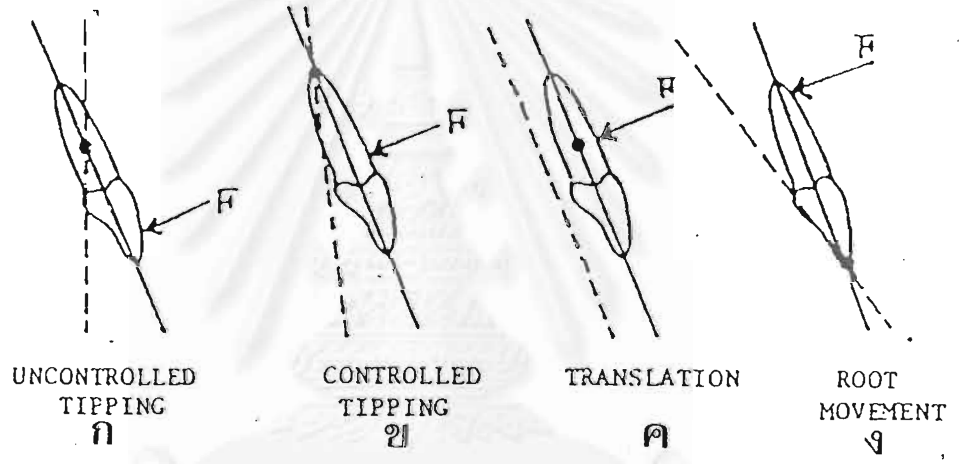
Baeten (1975) ทำการทดลองในโฟโตอีลาสติก โดยให้แรง 200 กรัม ในแนวราบแก่ฟันเขี้ยวในสถานที่จำลองฟันในช่องปากที่ถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งและต้องการเคลื่อนฟันเขี้ยวไปทางด้านไกลกลาง พบว่ามีแรงตึง (tension) ขนาด 7.5 กรัม ต่อมิลลิเมตร เกิดในที่ปลายรากฟันเขี้ยวและมีจุดศูนย์กลางของการหมุนอยู่ห่างจากปลายรากฟัน 5.3 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 31 ของระยะทางจากปลายรากฟันไปยังกระดูกเบ้าฟัน และถ้าหากเพิ่มแรงอีกจะทำให้จุดศูนย์กลางของการหมุนเคลื่อนไปทางปลายรากอีก

Tanne , Koening และ Burstone (1984) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรง (moment to force ratio; M/F) จากการเคลื่อนของฟันโดยอาศัยวิธีไฟไนท์ เอเลเมนต์ (Finite element) พบว่าจุดศูนย์กลางความต้านทานของฟันติดบนจะอยู่ที่ 0.24 ของระยะทางจากขอบกระดูกเบ้าฟันถึงปลายราก อัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงที่กึ่งกลางตัวฟันมีค่า - 8.39 สำหรับการเคลื่อนที่ทั้ง

ซี่ฟันและ - 6.52 สำหรับการเคลื่อนที่แบบล้มเอียง โดยจุดหมุนอยู่ที่ปลายรากฟัน และเมื่อค่าอัตราส่วนโมเมนต์ต่อแรงเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย จุดศูนย์กลางการหมุนจะเปลี่ยนตำแหน่งอย่างมีนัยสำคัญ

การเคลื่อนที่ของฟันสามารถแบ่งออกเป็นได้ 4 กลุ่ม ตามชนิดของตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการหมุน (Burstone และคณะ ,1985)

1. อันคอนโทรล ทิปปิง(Uncontrolled tipping) จุดศูนย์กลางของการหมุนจะอยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของความต้านทาน
2. คอนโทรลทิปปิง(Controlled Tipping)จุดศูนย์กลางของการหมุนจะอยู่ที่ปลายราก
3. ทรานสเลชั่น(Translation) จุดศูนย์กลางของการหมุนจะอยู่ที่ระยะอนันต์
4. รูท มูฟเมนต์(Root Movement) จุดศูนย์กลางของการหมุนจะอยู่ใกล้กับปลายรากฟัน



รูปที่ 11 แสดงการเคลื่อนที่ของฟันประเภทต่างๆ
ก. การเคลื่อนที่แบบ อันคอนโทรล ทิปปิง
ข. การเคลื่อนที่แบบ คอนโทรล ทิปปิง
ค. การเคลื่อนที่แบบ ทรานสเลชั่น
ง. การเคลื่อนที่แบบ รูท มูฟเมนต์

การที่ให้แรงอย่างเดียว ในตำแหน่งด้านใกล้ริมฝีปากของฟันหน้า (ที่ตำแหน่งของแบรกเกต) จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ อันคอนโทรล ทิปปิงซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันไปทางด้านลิ้นและรากฟันมาทางด้านริมฝีปาก การที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันแบบ คอนโทรล ทิปปิงเราจำเป็นที่จะต้องให้แรงมาทางด้านล่างใกล้มาทาง ซีเมนโต-อีนาเมล จังชั่น(cemento-enamel junction)

การเคลื่อนที่แบบทรานสเลชั่น โดยที่ไม่มีการหมุนของฟันเกิดขึ้น ดังนั้นจุดศูนย์กลางของการหมุนจะอยู่ที่ระยะอนันต์ แรงที่เราให้จะต้องให้อยู่ในตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของความต้านทาน ซึ่งโดยประมาณจะอยู่ที่ประมาณ 1 ใน 3 ของราก จากปลายรากฟันมายังจุดเชื่อมของซีเมนตัมกับอีนาเมล

การเคลื่อนที่ของ รูท มูฟเมนต์ โดยการให้ แรงอย่างเดียว สามารถที่จะเกิดได้ ถ้าให้แรงผ่านใกล้ๆ กับปลายราก ปัญหาของแรงเกี่ยวกับทันตแพทย์จัดฟัน จะถูกจำกัดที่จุดของการให้แรง เนื่องจากความสูงของ vestibule และการระคายเคืองจากการรบกวนของเนื้อเยื่อในช่องปาก ดังนั้นการที่จะให้เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าจะต้องให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ อันคอนโทรล ทิปปิงการที่ให้แรงเพียงอย่างเดียวที่ตำแหน่งของ แบรกเกต จะไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ ทรานสเลชั่น ได้ จำเป็นต้องให้แรงที่เป็นโมเมนต์ ที่จะต้องกระทำกับ แบรกเกต ร่วมด้วย
สัดส่วนของโมเมนต์กับแรงที่เกิดขึ้น จะกำหนดชนิดของการเคลื่อนที่ของฟัน ซึ่งจะออกมาในรูปของอัตราส่วนของโมเมนต์ต่อแรง จุดศูนย์กลางของการหมุนจะถูกกำหนดโดย M/F เกิดขึ้นกับฟัน

Brodsky และคณะ (1975)และStorey(1973) ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะ การเกิดการล้มเอียงของฟันจากการทำโฟโตอีลาสติกและ Reitan (1957) ได้กล่าวถึงหลักทางกลศาสตร์ของการเกิดการเคลื่อนที่แบบล้มเอียงว่า ฟันจะทำหน้าที่เหมือนกับลักษณะของคานที่จะมีแรงกระทำอย่างมากที่บริเวณยอดกระดูกฟัน เขาสังเกตว่าบริเวณที่เกิด ไฮยาลิไนซ์เซชั่น(hyalinization)จะพบที่บริเวณส่วนของ เครสตัล (crestal) และการเกิดแบบ บอดิลี มูฟเมนต์ แรงจะกระจายไปทั่วทั้งรากฟันเท่าๆกัน ในการทดลองของ Brodsky และคณะได้ทำการทดลองในหนูและทำการเปรียบเทียบกับในส่วนของโฟโตอีลาสติกกับภาพถ่ายทาง ฮิสโต พบว่า มีลักษณะที่สัมพันธ์กันคือ จะพบว่ามีลักษณะของความเค้นอัดที่บริเวณด้านที่ทำการดึงฟันและความเค้นดึงที่บริเวณด้านตรงข้ามกัน

Caputo และคณะ 1974 ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะของสปริงดึงฟันเขี้ยวโดยวิธีโฟโตอีลาสติก โดยใช้สปริงแบบแยกส่วนชนิด โครสเวอร์ติคัล ลูป(close vertical loop)ที่มีการยึดของมุมที่แตกต่างกัน เขาพบว่า
- การที่ทำการดัดหักมุมร่วมกับการดึงที่เหมาะสม สามารถที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบบอดิลี ของฟันเขี้ยวได้
- การที่ให้แรงกระตุ้นที่มากเกิน โดยที่ไม่คำนึงถึงมุมหัก ก็จะทำให้เกิดการล้มเอียงของฟัน
- การที่ให้แรงกระตุ้นที่มากเกิน โดยที่ไม่คำนึงถึงมุมหัก ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหลักยึด
- จากการศึกษานี้พบว่า การเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวไม่ควรเกิน 300 กรัม และมีมุมหักของสปริงที่ประมาณ 45 - 60 องศา

Smith และStorey (1952)และNicoliai(1975) ได้กล่าวว่าแรงที่เหมาะสมที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวจะอยู่ที่ประมาณ 150 - 200 กรัมและแรงที่ประมาณ 300 - 500 กรัม จะเป็นช่วงของแรงที่จะใช้เป็นหลักยึด

Reitan กล่าวว่า แรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวในขากรรไกรบนจะอยู่ที่ประมาณ 150 - 200 กรัม ที่จะเกิดการเคลื่อนที่แบบเคลื่อนไถลและในขากรรไกรล่างจะอยู่ที่ 100 - 200 กรัม แต่ถึงกระนั้นก็ตาม จะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของรากฟันด้วย

Alba และคณะ ได้ทำการศึกษาหาความเค้นจากการใช้ high pull chin cap ที่เกิดขึ้นที่บริเวณขากรรไกรบนและขากรรไกรล่าง เขาพบว่า

- ความเค้นที่จะเกิดขึ้น จะพบว่ากระจายที่บริเวณรากและปลายรากของทั้งฟันบนและฟันล่าง ในบริเวณฟันหลัง
- ความเค้นที่มากที่พบ จะเกิดขึ้นบริเวณ retromolar ของขากรรไกรล่างด้านที่ไกลจากตัวฟัน ซึ่งจะเป็นลักษณะของการบิดงอเกิดขึ้น
- บริเวณของทางด้านหลังของ sigmoid notch โค้งต่อหัว condyle ทางด้านหนังจะพบความเค้นมากเช่นกัน

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง

คุณสมบัติของสปริง

สปริงที่ใช้ดึงฟันในระบบปราศจากแรงเสียดทาน จะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกันคือ

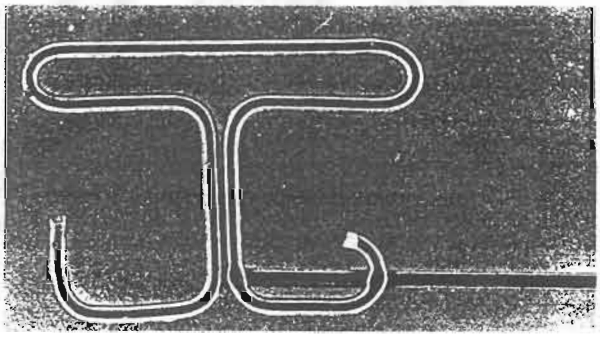
1. อัลฟา โมเมนต์ (α- Moment)
2. เบต้า โมเมนต์ (β- Moment)
3. แรงในแนวนอน (Horizontal force)

การแบ่งกลุ่มหลักยึด (Anchorage classification) (Burstone ,1985)

กลุ่มฟันหลักยึด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการปิดช่องว่างมากน้อยเพียงใด

1. หลักยึดกลุ่มเอ (Group A anchorage) ในกลุ่มนี้ ฟันหลังจะเคลื่อนที่เข้าหาช่องว่างน้อยกว่า 1 ใน 4
2. หลักยึดกลุ่มบี (Group B anchorage) ในกลุ่มนี้ ฟันหลังจะเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องว่างมากกว่า 1 ใน 4 แต่ไม่เกิน 1 ใน 2
3. หลักยึดกลุ่มซี (Group C anchorage) ในกลุ่มนี้ ฟันหลังจะเคลื่อนที่เข้าสู่ช่องว่างมากกว่า 1 ใน 2 ของช่องว่างทั้งหมด

สปริงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเข้าหาช่องว่างในกลุ่ม เอ จะประกอบด้วยลวดกลม TMA ขนาด 0.018 นิ้ว และเชื่อมติดกับลวดเหลี่ยม TMA ขนาด 0.017 x 0.025 นิ้ว (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 แสดงรูปร่างของสปริงชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง (Burstone, 1982)

การ แอกติเวท แต่ละครั้งจะดึงที่ 6 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้แรงที่ 200 กรัม ก่อนที่จะไปใส่ในคนไข้ เราต้องทำการปรับสปริงเพื่อให้พร้อมที่จะใช้งาน (Trial activation) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่จะเกิดขึ้นจากการที่นำเข้าไปใส่ในช่องปากได้

ขั้นตอนของการนำไปใช้งานในทางคลินิก

1. ทำการตรวจสอบสปริงทั้งซ้ายและขวา เพื่อที่จะดูความสมบูรณ์ ความเรียบร้อยของสปริงไม่ว่าจะเป็นรูปร่าง และลักษณะของการเชื่อมต่อ

2. ตรวจสอบตำแหน่งธรรมชาติของสปริง ที-ลูป (neutral position) ตำแหน่งธรรมชาติของสปริง ความสูงของขาในแนวดิ่ง (vertical) จะอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ก่อนที่จะทำการปรับแต่งควรที่จะตรวจสอบ
3. ทำการดึงด้านหลัง (distal activation) ซึ่งเราจะทำการดึงทางด้านหลังไป 6 มิลลิเมตร โดยจะให้แรงโดยประมาณ 200 กรัม

   ซึ่งจะมีสูตร ในการคำนวณแรง ได้จาก

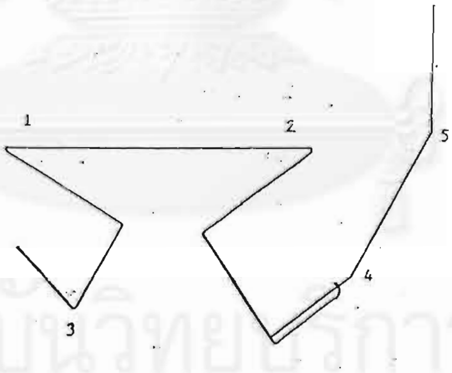
$$D = L - (A+8.5)$$

D = ระยะทางจากด้าน ใกล้กลาง ของ แมกซิลลารี่ ทิว (maxillary tube)ไปยังด้าน ไกลกลาง ของจุดที่ เชื่อมกันของ ที-ลูป

L = ระยะทางจาก ตำแหน่ง อัลฟา จาก เวอร์ติคัล ออกซิลลารี่ ทิว(vertical auxillary tube) ของฟันเขี้ยว ไปยังตำแหน่งของ เบต้า (ตำแหน่ง ออกซิลลารี่ ทิว ของฟันกราม)

A = ระยะ แอกติเวชั่น (ในกรณีนี้ ใช้ที่ 6 มิลลิเมตร)

4. ตรวจสอบความสะดวกสบายของคนไข้ ลองใส่สปริงในคนไข้ ตรวจดูตำแหน่งว่ามีจุดใดกดเหงือกคนไข้หรือไม่
5. ทำการดัด แอลฟา และ เบต้า การดัดจะใช้คีมปากกลมดัด และดัดมุมที่ แอลฟา เป็นอันดับแรก โดยดัดตามรูปข้างล่าง โดยทำการเปรียบเทียบกับ เทมเพลต(template) (รูปที่ 13)



รูปที่ 13. แสดงตำแหน่งของการดัดสปริงชนิด T-loop (Burstoneและคณะ 1985)

<u>โค้งที่ 1</u> ทำการดัดที่ขาของมีเซียล ลูป(mesial loop) ของที-ลูป จะเป็นการดัดที่ง่าย ทำการอ้าขาของ ลูปออกมาประมาณ 45° แต่เมื่อทำการดัดเสร็จหมดแล้ว มุมจะลดเหลือเพียง 30°

<u>โค้งที่ 2</u> ทำการดัดที่ขา ดิสตัล ลูป(distal loop) ทำเหมือนกับขาที่ 1 ด้านบน คือ ดัดห่างจากกันประมาณ 45° และเมื่อดัดเสร็จแล้ว มุมด้านหลังจะลดลงเหลือ 35°

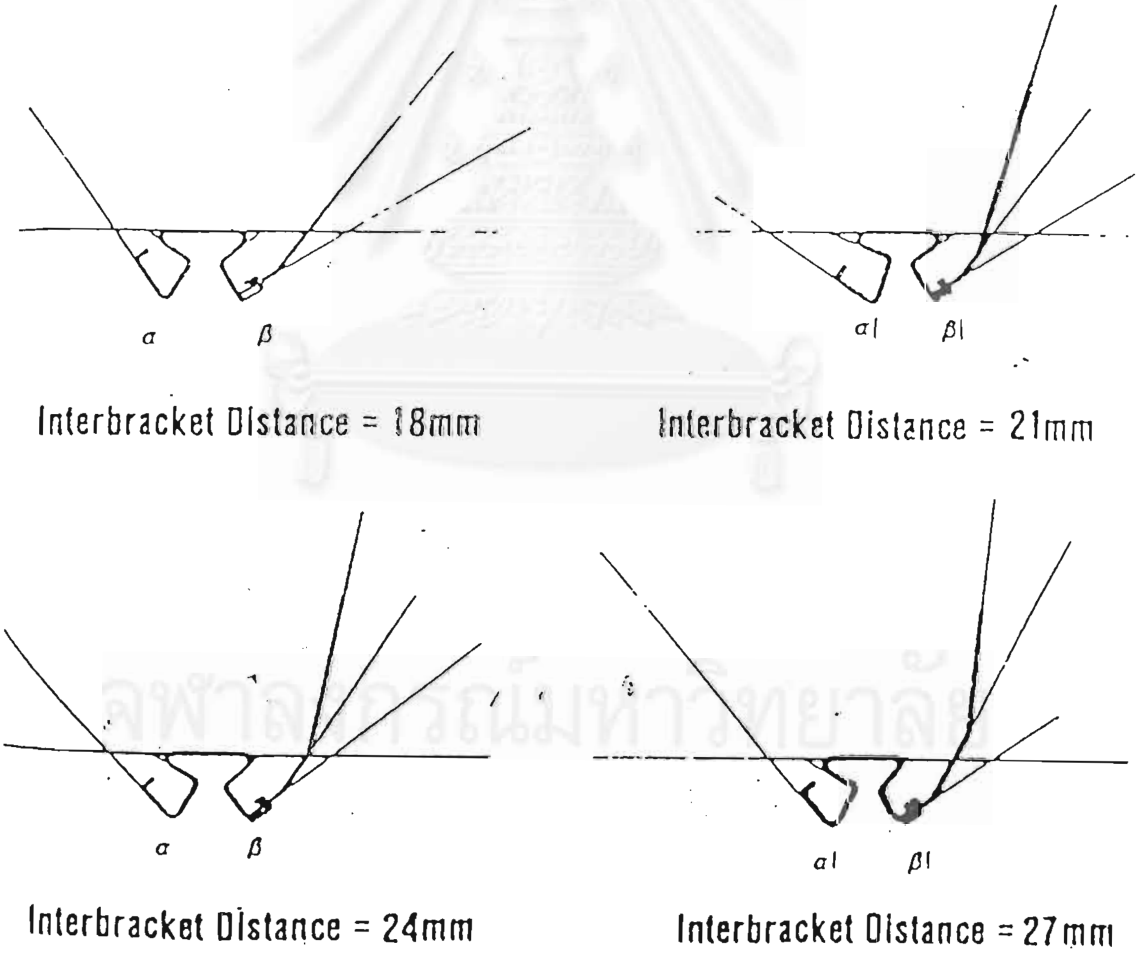
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>โค้งที่ 3</u> ทำที่ตำแหน่งขาทางด้านหน้า โดยใช้คีมตัวเดิม โดยจับที่ระหว่างด้านขา ใกล้กลางของ T-loop และ ขาทางด้านหน้า จับขาด้าน หน้า ให้งอประมาณ 30° ทำกับตำแหน่งเดิมและสุดท้ายมุมจะเป็นประมาณ 20°

<u>โค้งที่ 4</u> จับที่ 2 มิลลิเมตร หลังจากจุดที่ทำการเชื่อมของ ที-ลูป แล้วทำการดัดขาเป็นมุม 35° กับลวดตัวหลักและตอนสุดท้าย จะทำมุมประมาณ 25°และเมื่อดัดทั้ง4มุมเรียบร้อย มุมของ แอลฟา จะทำมุมประมาณ 110° เมื่อเทียบกับลวดที่นำกลับมาใส่ในที่เดิม

<u>โค้งที่ 5</u> จะอยู่ที่ 2 มิลลิเมตร หน้าต่อ โมลาร์ออกซิลลารีรี ทิวโดยทำมุมของประมาณ 45° แต่หลังจากดัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมุมของ เบต้า จะเหลือที่ประมาณ 25°

6. ทำการนำสปริงที่ได้มา ทำการตรวจสอบอีกครั้งกับ เทมเพลต เดิม เพื่อเป็นการยืนยันและทำการปรับแต่งให้เรียบร้อย สุดท้ายจะต้องทำการ ตรวจสอบ นิวทรัล โพสิชั่น ของสปริง ซึ่งควรจะอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะหมายถึง เมื่อ แอลฟา โมเมนต์ ที่เกิดในสปริง ขา ลูป ในแนวดิ่งของ ที- ลูป จะต้องขนานกันและห่างจากกันประมาณ 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 14. แสดงtemplate ของสปริงที-ลูป ที่มีระยะห่างของแบรกเกตที่ระยะต่างกัน

Raboud และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาถึงการทำการดัด โท-อิน ในลวดที่เป็นชนิด เวอร์ติคัล ลูป กับ ที-ลูป ในการที่จะต้านการเกิดการหมุนของฟัน ร่วมกับการศึกษาถึงระยะที่ใช้ในการดึงกับขนาดของแรงที่ได้ เขาพบว่าลวด ที-ลูป ที่ทำมาจากลวดชนิด TMA จะมีระยะในการดึงที่มากกว่าและจะให้แรงที่น้อยกว่าลวดชนิด เวอร์ติคัล ที่ทำมาจาก สแตนเลส สตีล และลวดชนิด ที-ลูป ที่มีการดัด โท-อิน ที่มุม 40 องศา จะช่วยในการต้านการหมุนของฟันได้ดี

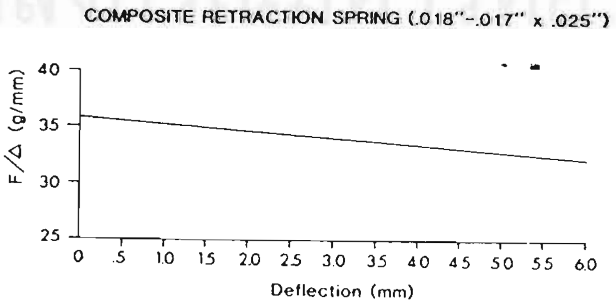
Burstone,C.J. (1987) ได้อธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับแรงของสปริงชนิด ที-ลูป รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงของแรงและโมเมนต์จะมีดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 3. แสดงค่าอัตราส่วนของโมเมนต์ต่อแรงของสปริงที-ลูป ชนิด เอ (typeA)

Composite anterior (canine) retraction spring (TMA 0.018-0.17 by 0.025 inch)							
Δ (mm.)	F_H (Gm.)	F_V (Gm.)	M_α (Gm.-mm.)	M_β (Gm.-mm.)	F/Δ (Gm.-mm.)	M_α/F (mm.)	M_β/F (mm.)
0.0	0.0	113.5	231.1	-2,358.4	0.0	0.0	0.0
0.5	15.4	107.7	322.1	-2,384.5	30.1	22.3	171.9
1.0	33.0	102.1	414.6	-2,408.8	35.3	12.6	74.7
1.5	50.8	97.1	496.6	-2,431.4	35.7	9.8	48.3
2.0	68.5	92.4	575.1	-2,450.1	35.3	8.4	35.9
2.5	84.7	87.5	655.0	-2,470.2	32.6	7.7	29.2
3.0	102.3	83.2	728.7	2,488.2	34.7	7.1	24.3
3.5	118.7	79.4	797.6	-2,506.0	33.4	6.7	21.1
4.0	135.6	75.9	869.3	-2,521.6	33.8	6.4	18.6
4.5	151.9	72.4	940.4	-2,535.3	32.3	6.2	16.7
5.0	167.7	69.1	1,001.6	-2,550.4	31.6	6.0	15.2
5.5	183.9	65.9	1,070.1	-2,559.6	32.5	5.9	13.9
6.0	200.6	63.3	1,126.4	-2,571.4	33.2	5.6	12.8

Δ = Distal activation.
F_H = Horizontal force.
F_V = Vertical force.
M_α Anterior moment.
M_β = Posterior moment.
F/Δ = Load-deflection rate.
M_α/F = Anterior moment-to-force ratio.
M_β/F = Posterior moment-to-force ratio.

ซึ่งที่ระยะ 6 มิลลิเมตร จะได้แรง 201 กรัม และทุกๆ 1 มิลลิเมตร ของช่องว่างที่เคลื่อนเข้ามาปิด จะมีการตกของแรงลงมาที่ 33 กรัม



รูปที่ 15. แสดงค่าโหลด-ดีเฟรกชั่น(load-deflection) ของสปริงชนิด ที-ลูป กลุ่ม เอ

เราจะพบว่า ค่า โหลด-ดีเฟรกชั่น จะค่อนข้างคงที่และมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อเราทำการดึงที่ระยะไกลๆ ซึ่งเป็นช่วงที่สปริงใช้งาน เราจึงมีช่วงระยะเวลาที่จะทำงานได้นาน เนื่องจากไม่ต้องการจะปรับแต่งสปริงบ่อยๆ ค่าของอัตราส่วนของโมเมนต์ต่อแรง เราจะพบว่าจากที่ระยะที่เราดึงจาก 6มิลลิเมตร เป็น 3 มิลลิเมตร จะค่อนข้างคงที่ คือที่ 6 มิลลิเมตร ค่าโมเมนต์ต่อแรงจะเป็น 5.6 และที่ 3 มิลลิเมตรจะเป็น 7.1 เราจะพบช่วงจุดศูนย์กลางของการหมุนจะค่อนข้างเคลื่อนมาทางปลายรากเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของฟันจะเป็นในลักษณะที่ล้มเอียง หลังจากที่เคลื่อนที่มาจนเกือบที่ช่องว่างจะปิด หรือปิดแล้วจึงทำการใส่สปริง ที่จะทำการตั้งรากฟันตามมาด้วย

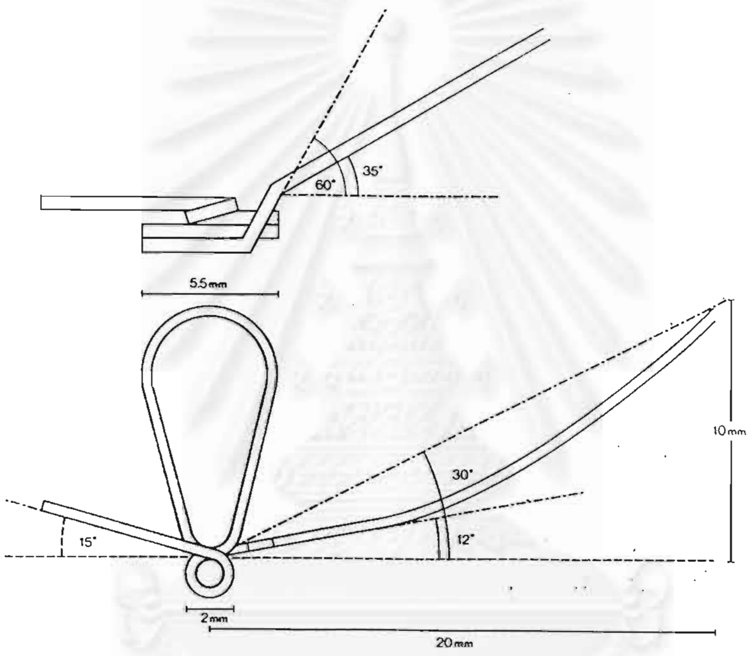
การควบคุมฟันหลักด้วยการใช้ลวด TMA เหลี่ยมขนาดใหญ่ ซึ่งแรงที่เราใช้ในการเคลื่อนฟัน จะเป็นแรงที่น้อยกว่า 200 กรัม โดยปกติจะอยู่ในช่วง 150 กรัม ของการรักษา จึงทำให้มีการสูญเสียหลักยึดน้อย ถึงแม้เราจะมีความคลาดเคลื่อนของแรงไปจาก 1 มิลลิเมตร ซึ่งแรงก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 33 กรัม เท่านั้น แต่หลักของหลักยึดไม่ได้มีเพียงแต่มีการที่มีแต่แรงขนาดเล็กน้อยเท่านั้น แต่ยังมีองค์ประกอบอื่นๆอีก เช่น ค่าความแตกต่างของค่าโมเมนต์ต่อแรงของตำแหน่งอัลฟาและเบต้าที่แตกต่างกันมาก ซึ่งค่าของโมเมนต์ต่อแรงในส่วนของฟันหลัง (เบต้า) ที่ระยะ 6 มิลลิเมตร และที่ระยะ 3 มิลลิเมตร ค่าจะเป็น 24.6 ซึ่งมีค่าสูงมาก ขึ้น ร่วมกับการมีการเพิ่มหลักยึดตัวอื่น เช่น การใช้ ทรานพาลาตัล(Transpalatal) และลิงกวล อาร์ช(Lingual arch) เป็นต้นซึ่งก็จะช่วยให้การเคลื่อนมาทางด้านหน้าได้ยาก

Kuhlberg,A.J และ Burstone,C.J (1997) ได้ทำการศึกษาถึง การวางตำแหน่งของสปริงในแนวหน้า - หลัง เขาพบว่า ถ้าหากวางตำแหน่งของสปริงชนิด ที-ลูป ขนาด 0.017 " × 0.015 " (TMA) ผิดจากตำแหน่งตรงกลางของระยะทางระหว่างฟันเขี้ยวและฟันกรามเพียง 1 มิลลิเมตร ก็จะส่งผลต่อค่าของโมเมนต์ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนฟันตามมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง

สปริงชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อนำมาใช้ในการเคลื่อนฟันชนิดที่จะเป็นแบบแยกส่วนในกรณีที่มีการถอนฟันเกิดขึ้น ลักษณะของสปริงจะทำมาจากลวดสแตนเลสสตีล ขนาด 0.017″×0.022″ ซึ่งสามารถที่จะเคลื่อนฟันได้ทั้งฟันเขี้ยวและฟันหน้า รูปร่างของสปริงจะเป็นชนิดรูปหยดน้ำพันทบกันสองรอบมีความสูง 10 มม.และมีความกว้างด้านใกล้เหงือก 5 มม. พร้อมกันนั้นยังมีลูปรูปวงกลมที่ด้านบดเคี้ยวด้วย



รูปที่ 16. แสดงรูปร่างของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี สปริง (Gjessing ,1992)

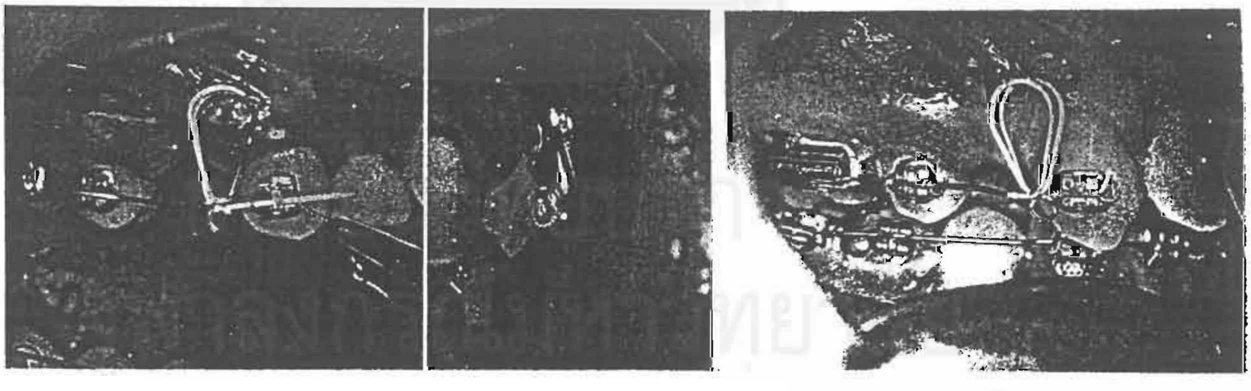
เนื่องจากสปริงชนิดนี้ทำมาจากลวดที่มีขนาดที่แข็งและใหญ่ดังนั้นแรงที่ใช้ในการเคลื่อนฟันเขี้ยวจึงจำเป็นที่จะต้องให้แรงที่น้อยและระยะทางที่ใช้ในการดึงก็จะสั้นจึงจะให้แรงที่เหมาะสมซึ่งแรงที่เหมาะสมในการใช้สปริงชนิดนี้จะอยู่ที่ 100-160 กรัม

ตารางรางที่ 4. แสดงค่า แรงและโมเมนต์ของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี สปริง (Gjessing,1992)

Horizontal force (F gm)	*Alpha position*			*Beta position*			Distance of action (mm)
	Vertical force	Moment M (gm mm)	M/F	Vertical (gm)	Moment M (gm mm)	M/F	
25	24	472	19	−24	1082	43	0.4
50	20	585	12	−20	1101	22	0.8
75	15	658	9	−15	1051	14	1.2
100	9	719	7	−9	958	10	1.6
125	4	802	6	−4	910	7	2.0
150	0	857	6	0	857	6	2.4
175	−2	963	6	2	−907	5	2.8
200	−7	996	5	7	−799	4	3.2

ลักษณะของการใช้งาน

แรงที่ใช้ในการดึงฟันเขี้ยวนั้นจะทำการดึงที่ปลายด้านท้ายของฟันกราม โดยแรงที่ใช้โดยประมาณของสปริงชนิดนี้จะอยู่ที่160 กรัมหรือสังเกตจากการที่ลูปของสปริงที่ซ้อนกันห่างจากกันประมาณ 1 มม. และในส่วนด้านท้ายของสปริง (ด้านของเบต้าโมเมนต์) จะมีการทำลักษณะของเป็นรูปส่วนโค้ง (sweep curve) เพื่อวัตถุประสงค์ในการป้องกันผลที่จะเกิดที่บริเวณฟันกรามน้อยและต้องการที่จะตั้งรากของฟันหลักให้มาทางด้านใกล้กลาง พีจี สปริงได้ออกแบบมาเพื่อต้านการหมุนและการล้มเอียงของฟันระหว่างที่มีการดึงฟันเขี้ยวแต่ไม่ได้ทำการแก้ไขการหมุนเอียงหรือการบิดตัวของฟันจึงมีการที่จะต้องทำการปรับระดับฟันก่อนที่จะทำการใส่สปริง ขาของสปริงทางด้านใกล้กลางจะทำการใส่ในร่องของแบรกเกตของฟันเขี้ยว และทำการงอ ด้านปลายของลวดไปทางด้านใกล้เหงือก (gingival) ตำแหน่งของสปริงที่ถูกต้องของสปริงจะเป็นดังภาพด้านล่าง



ก ข ค

รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งของสปริงเมื่ออยู่ในปากของคนไข้

ก. ตำแหน่งใน แนวหน้า-หลัง

ข. ตำแหน่งในแนวใกล้แก้ม-ใกล้เพดาน

ค. ขนาดแรงและรูปร่างของสปริงเมื่อเริ่มใช้งาน

การดึงสปริงดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะทำการดึงที่แรงในแนวระนาบประมาณ 140-160กรัมซึ่งจะเกิดแรงในแนวดิ่งประมาณ1-12กรัมส่วนลูปของสปริงจะห่างกันประมาณ 1 มม.การปรับแต่งสปริงจะทำการปรับแต่งที่ทุกๆ 4 สัปดาห์ซึ่งฟันเขี้ยวจะเคลื่อนได้ประมาณ1.5มม.

Gjessing (1992) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลเกี่ยวกับค่าโมเมนต์ต่อแรงของสปริงในด้านของมุมอัลฟาและมุมเบต้าโมเมนต์โดยใช้แผ่นวัดความเครียด(strain gauges)เป็นตัวจับสัญญาณจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแล้วจึงทำการเปลี่ยนเป็นกรัมอีกครั้ง เขาพบว่าแรงที่เหมาะสมกับสปริงชนิดนี้คือแรงที่ประมาณ 100 กรัมและจะทำให้เกิดแรงต่อโมเมนต์ที่ประมาณ 8 แต่เมื่อระยะทางเคลื่อนที่ไปได้ประมาณ 0.4 มิลลิเมตรแรงต่อโมเมนต์จะเป็น 10จะกระทั่งเริ่มการดึงใหม่อีกครั้ง

การเตรียมฟันหลักของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดพีจีสปริง

ฟันหลักของสปริงชนิดนี้โดยปกติทั่วๆไปจะใช้ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ของฟันหลังมาทางด้านหน้าด้วยแต่ในบางกรณีที่ต้องการที่จะต้องการหลักยึดมากๆอาจจำเป็นที่จะต้องใช้หลักยึดอื่นเพิ่มเติมเช่นการใส่ ทรานพาลาตัล อาร์ช หรือเครื่องมือนอกปากร่วมด้วย

จากการศึกษาทางคลินิกของ Gjessing(1994) พบว่าในบางกรณีการเคลื่อนฟันเขี้ยวมาทางด้านไกลกลางอาจจะพบการล้มเอียงของฟันเขี้ยวร่วมด้วยซึ่งก็สามารถที่จะแก้ไขได้โดยการดัดลวดในส่วนของลูปด้านแก้มในส่วนของอัลฟาโมเมนต์ให้เป็นรูปตัว วี (V-bend) จะทำให้เกิดโมเมนต์ที่ด้านอัลฟาประมาณ 1500 กรัม/มิลลิเมตร ก็จะช่วยในการตั้งรากฟันเขี้ยวขึ้นมาได้เช่นกัน

Eden,J.D และคณะ ในปี 1994 ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของ สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับสปริงชนิดต่างๆ ดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 5. แสดงการเปรียบเทียบของรูปแบบของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ

Characteristics of some Retraction Components

Retraction Component	Stiffness (g/mm)	M/P (mm)	Q/P	EI (g cm²)	P (g)
Open U loop	66.1	5.7	0.47	250	50
Closed U loop	67.4	4.6	0.31	250	50
Open U loop with helix	60.6	7.05	0.57	250	50
Closed U loop with helix	45.8	6.01	0.48	250	50
Ricketts Retractor	37.8	3.0	0.3	295	50
Ricketts Retractor 45°	37.8	17.0	3.6	295	50
PG Retractor	77.4	4.87	0.35	560	50
PG Retractor 45°	77.4	22.2	-1.26	560	50

จะพบว่าสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจีเป็นสปริงที่มีค่าความแข็งที่ค่อนข้างสูงมากการ activate จึงต้องมีความละเอียดมากเพราะจะทำให้ค่าของแรงเปลี่ยนแปลงไป

จากการศึกษาของ Dincer,M. และ Iscan,H.N.(1994) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิด พีจี สปริงกับสปริงชนิด รีเวอร์ส โคลสซิ่ง ลูป เขาพบว่าจากการทำฟันเขี้ยวในขากรรไกรบน สปริงชนิด พีจี จะใช้เวลาในการเคลื่อนฟันโดยเฉลี่ยประมาณ 6.25 เดือน ขณะที่สปริงชนิด รีเวอร์ส โคลสซิ่ง ลูป จะใช้เวลาประมาณ 7.75 เดือน ส่วนในขากรรไกรล่าง ที่ทำด้วย พีจี สปริงจะใช้เวลาประมาณ 6 เดือน และ รีเวอร์ส โคลสซิ่ง ลูป จะอยู่ที่ 7.75 เดือนซึ่งเขาอธิบายว่าการใช้ พีจี สปริงในการเคลื่อนฟันจะเร็วกว่า รีเวอร์ส โคลสซิ่ง ลูป โดยเฉลี่ยประมาณ 0.3 มิลลิเมตร / เดือน โดยสุดท้ายเขาสรุปว่า สปริงชนิด พีจี จะสามารถที่จะเคลื่อนฟันได้เร็วกว่า มีการล้มเอียงน้อยและมีการเคลื่อนตัวของหลักยึดน้อยเช่นกัน

จากการศึกษาของ Eden,J.D. , Waters,N.E.(1994) โดยได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของสปริง พีจี โดยเขาได้สรุปว่า

1. แรงที่ดึงในช่วงของการกระตุ้นเริ่มต้น จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางการเคลื่อนที่
2. ความแข็งของลวดในแนวระนาบ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแข็งแรงของวัสดุต่อแรงอัด (flexural rigidity)ของลวด และจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยกับตำแหน่งของลูปหรือที่มีการทำเกเบิล ลวด
3. การที่มีลูปขนาดที่ใหญ่ขึ้น จะทำให้ลวดมีค่าความแข็งในแนวระนาบน้อยลง

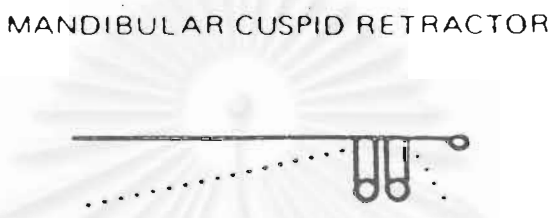
Hasler,R.และคณะ(1997)ได้ทำการศึกษาถึงการดึงฟันเขี้ยว ในกรณีที่มีการถอนฟันกรามน้อยไปนาน โดยการใช้สปริงชนิด พีจี สปริง เขาพบว่าในบริเวณที่เพิ่งจะมีการถอนฟันไป จะมีการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวได้เร็วกว่าบริเวณที่ถอนฟันไปนานแล้ว อาจจะเนื่องมาจากการที่ยังมีการเกิดใหม่ของกระดูกได้น้อยกว่า จึงทำให้มีการละลายของกระดูกได้เร็ว

Gjessing, P.ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของสปริง พีจี ที่นอกจากจะนำมาใช้ในการที่จะเคลื่อนฟันเขี้ยวแล้วยังสามารถที่จะนำมาใช้ในการดึงฟันในส่วนของฟันตัดหน้าและฟันตัดข้างทั้ง 4 ซี่ ไปทางด้านหลังได้ด้วย โดยเขาได้ทำการศึกษาจากทางห้องปฏิบัติการ ถึงคุณสมบัติทางกลของสปริงชนิดนี้ เขาสรุปว่า

1. พีจี สปริงสามารถที่จะใช้ในการดึงฟันมาทางด้านหลังทั้งฟันเขี้ยวและฟันตัดหน้า
2. แรงเริ่มต้นในการดึงฟันครั้งแรก จะอยู่ที่ประมาณ 100 กรัม
3. แรงที่ได้จากสปริงจะเกิดลักษณะของการกดฟันโดยประมาณ 10 - 25 กรัม ในแต่ละข้างของสปริง
4. ค่าของ โมเมนต์ต่อแรง จะมีค่าลดลงอันเนื่องมาจากการที่มีค่าของระยะห่างของแบรกเกตที่มากขึ้น

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง

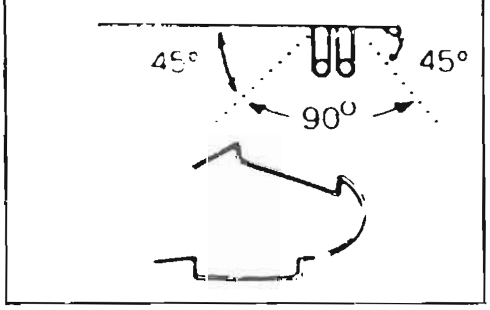
สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดนี้จะทำมาจากลวด บลูอัลจิลอยด์ (blue elgiloy)ขนาด 0.016"×0.016" โดยทำการดัดให้มีรูปลักษณะเป็นชนิดลูปแนวดิ่งปลายปิดสองห่วง (double vertical helical closing loop)ซึ่งลูปชนิดนี้จะทำให้มีขนาดของลวดมีความยาวมากขึ้นคือประมาณ 40 มิลลิเมตร และแรงที่เกิดขึ้นจากการดัดจะได้ประมาณ 75กรัมต่อมิลลิเมตร



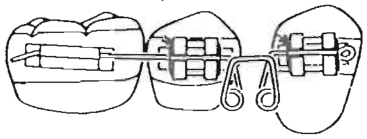
รูปที่ 18. แสดงรูปร่างของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง (Rickettsและคณะ, 1980)

หลักการใช้งานของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง

หลักการใช้งานของสปริงก่อนที่จะนำมาใช้งานจะต้องทำการดัด เกเบิล (gable bend) ก่อนเพื่อวัตถุประสงค์ในการที่จะป้องกันการงอกยาวของฟันเขี้ยว (extrusion) และป้องกันการล้มเอียงของฟันเขี้ยวขณะที่ทำการดึงฟันโดยจะทำการดัดให้เป็นมุม 45 องศาทั้งขาด้านหน้าและด้านหลังและในการที่จะป้องกันการหมุนของฟันขณะที่ทำการดึงจึงต้องทำการดัด โทอิน(toe in) ของขาทางด้านหน้าของสปริงให้เข้าไปทางด้านในโดยจะดัดให้เป็นมุม10-15 องศา เนื่องจากพื้นที่ผิวทางด้านไกลกลางของฟันเขี้ยวล่างจะมีประมาณ 0.75 - 1.0 ตารางเซนติเมตร ซึ่งจำเป็นต้องให้แรงประมาณ 100 - 150 กรัม ในการที่จะเคลื่อนฟันนี้ และไม่ควรที่จะเกิน 200กรัม ระยะทางที่เราจะใช้ในการดึงจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร

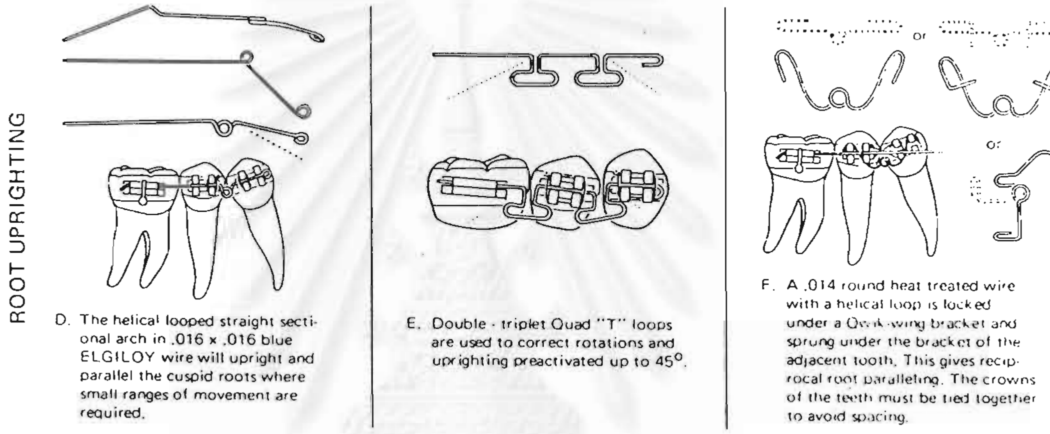


รูปที่ 19 .แสดงการดัดสปริงที่ทำเป็น เกเบิล เบน ของสปริง(Rickettsและคณะ, 1980)



รูปที่ 20. แสดงการใส่สปริงในฟันเขี้ยวเข้ากับฟันทางด้านหลัง (Rickettsและคณะ, 1980)

และหลังจากที่ทำการดึงฟันเขี้ยวมาชิดกับฟันกรามน้อยแล้วอาจจะพบการที่ฟันเขี้ยวมีการยาวหรือสั้นกว่าระนาบการสบฟัน,การหมุนของฟัน,หรือการที่มีการล้มเอียงของฟันเกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขก่อนที่จะทำการดึงฟันหน้าทั้งสี่ซี่ มาทางด้านหลังต่อไป



รูปที่ 21. แสดงสปริงที่ช่วยในการตั้งรากฟันหลังจากที่มีการล้มเอียงของฟันเขี้ยวเกิดขึ้น (Rickettsและคณะ, 1980)

คุณสมบัติทางกลของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง

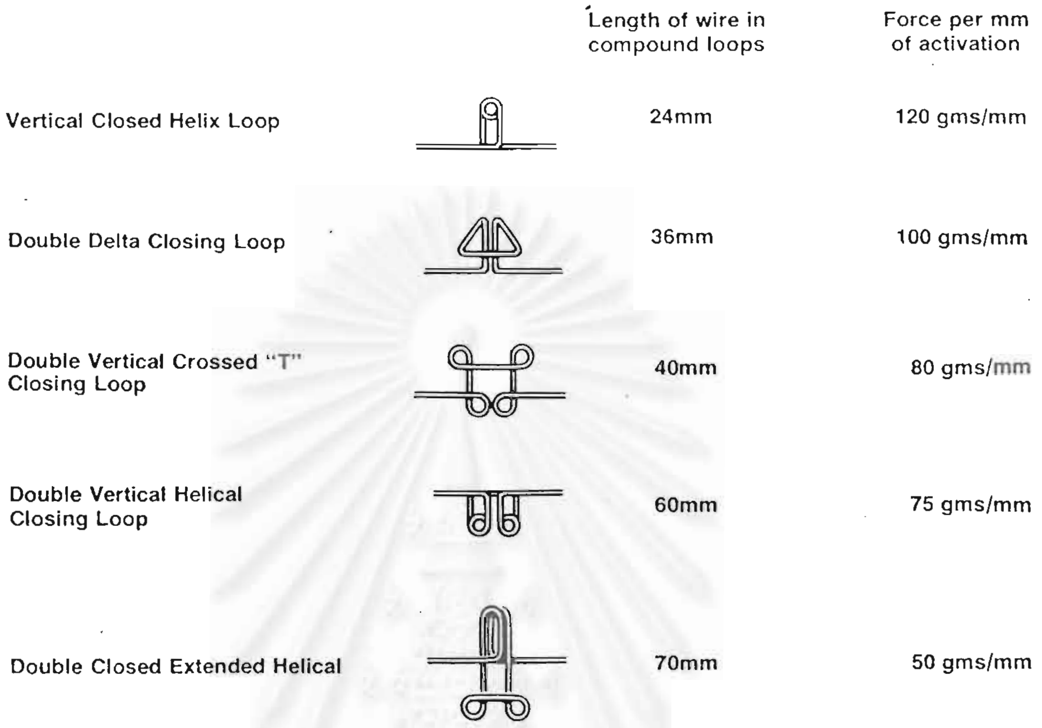
เนื่องจากลวดที่ใช้ในการทำสปริงมีคุณสมบัติที่นิ่มและถ้าหากว่ามีการดัดทำเป็นลูปชนิดต่างจะยิ่งเพิ่มให้มีขนาดของลวดที่ยาวมากขึ้นส่งผลให้ค่าโหลดดีเฟรกชั่นต่ำลง

ตารางที่ 6. แสดงค่าความยาวของลวด อัลจิลอยด์ กับขนาดของแรงที่เกิดขึ้น(Rickettsและคณะ, 1980)

Proportional Limit
.016 x .016 Elgiloy

LENGTH	FORCE OF BENDING
@ 30mm	+ 70 grams
@ 25mm	+ 80 grams
@ 20mm	+ 100 grams
@ 10mm	+ 200 grams
@ 5mm	+ 400 grams
@ 4mm	+ 500 grams
@ 3mm	+ 600 grams

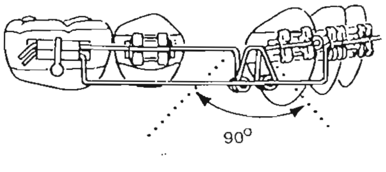
ในกรณีที่ลวดนำมาทำการดัดเป็นสปริงชนิดดับเบิล เวอร์ติคัล โครสซิ่ง ลูป (double vertical helical closing loop)จะทำให้ได้แรงที่ได้มีค่าประมาณ 75 กรัมต่อตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 22 . แสดงการดัดลวดเป็นลูปชนิดต่างๆและค่าของแรงเป็นกรัมต่อมิลลิเมตรของการดึงสปริง (Rickettsและคณะ, 1980)

การเตรียมฟันหลักของสปริง

ในกรณีของฟันหลังการเตรียมฟันหลักของสปริงก็จะแบ่งออกเป็นสามกลุ่มเช่นกันได้แก่การให้ฟันหลักอยู่กับที่,การให้ฟันหลังเคลื่อนที่มาทางด้านหน้าไม่เกิน1/2, และการที่ให้ฟันหลังเคลื่อนที่มาทางด้านหน้ามากกว่า1/2 ในขากรรไกรล่างนั้นการเตรียมฟันหลักของสปริงชนิดนี้จะเกิดจากการใช้ลวดเข้ามาเสริมได้แก่การใช้ ยูทิลิตี้ อาร์ช(utility arch)ซึ่งจะช่วยในการที่ตั้งรากของฟันหลังให้มาทางด้านใกล้กลาง ก็จะช่วยในการต้านทานต่อแรงดึงได้และในบางกรณีที่ต้องการให้ฟันหลังเคลื่อนที่มาทางด้านหน้าก็ไม่ต้องใส่ลวดเสริมเข้าไปโดยใช้แต่เพียงสปริงอย่างเดียวก็ได้



รูปที่ 23. แสดงการใช้ ยูทิลิตี้ อาร์ชร่วมกับการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว

การศึกษาของ Boester,C.H. และ Johnstan,L.E.(1974) ได้ทำการศึกษาของแรงที่เหมาะสมของการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยวในคลินิก โดยใช้ลวดของ ricketts ขนาด 0.016 "× 0.016 " เซคชัลนัล สปริง พบว่า

- แรงขนาด 2 ออนส์ และ 4 ออนส์ จะเคลื่อนฟันได้น้อยกว่า 5 , 7 , 8 ออนส์
- ไม่มีความแตกต่างกันในการเปิดช่องว่างของแรงขนาด 5 , 7 , 8 ออนส์
- ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในการทำให้เกิดการสูญเสียหลักยึด จากการใช้แรงขนาดต่างๆกัน
- ไม่มีความแตกต่างกันของแรงที่ 2 , 5 , 7 , 8 ออนส์ ในการที่จะทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายกับคนไข้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

I กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

แบบจำลองฟัน

เครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว (canine retractor)

1. <u>แบบจำลองฟัน</u> จำลองลักษณะการเรียงตัวของฟันในขากรรไกรล่างเมื่อถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งไปเพื่อการจัดฟัน ประกอบด้วย ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง ฝังอยู่ใน สารไบรีฟรินเจนท์แบบจำลองดังกล่าวนำมาใช้ตลอดการทดลอง โดยก่อนทำการทดลองทุกครั้ง แบบจำลองต้องไม่มีความเค้นหลงเหลืออยู่ ทดสอบโดยเครื่องมือโพลาริสโคป

บริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ติดแบรกเกตห่างจากระนาบบดเคี้ยว (occlusal plane) ลงมา 4.5 มม.และ 3.5มม. ตามลำดับ บริเวณฟันกรามติดบัคเคิล ทิว (buccal tube)ห่างจากระนาบบดเคี้ยวลงมา 3.5 มม,

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมแบบจำลองฟัน

1. ฟันพลาสติก ประกอบด้วย ฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง และฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่ง ยึดฟันทั้งสามซี่ด้วยสโตน (stone)
2. แบรกเกตของฟันเขี้ยว และฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ขนาดสลอต (slot) 0.018×0.025 นิ้ว และบัคเคิล ทิว ชนิด ดับเบิลทิว และเรซินทางทันตกรรมจัดฟัน (orthodontic resin) เพื่อยึดแบรกเกตและบัคเคิล ทิว ติดกับฟัน
3. กระจกขนาดความหนา ¼ นิ้ว และแผ่นพลาสติก เพื่อประกอบเป็นแบบหล่อ (mold) รองรับโซลิเทน 113 เรซิน (solithane 113 resin) ซึ่งมีขนาดเท่ากับ1.5×3.0×2.5 นิ้ว
4. โซลิเทน 113 เรซิน เป็นของเหลวพวกยูริเทน พรีโพลิเมอร์ (urethane prepolymer)
5. เคียวริง เอเจนท์ (curing agent) ชนิด C113-300 เป็นของเหลวใสพวกโพลิเมอร์ (polymer) ช่วยทำให้โซลิเทน 113 เรซิน แข็งตัวเร็วขึ้น
6. CR-7 รีลิสซิงเอเจนท์ (CR-7Releasing agent) เป็นสารที่ใช้หล่อลื่นเพื่อไม่ให้แบบจำลองติดกับแบบหล่อ สารที่ใช้ได้แก่ สารโดว์ คอนนิง-7 ซิลิโคน รีลีสซิงเอเจนท์(Dow corning-7 silicone releasing agent)
7. เครื่องมือไล่ฟองอากาศโดยใช้ระบบสูญญากาศต่ำกว่า 10 มม.ปรอท
8. เตาอบชนิด เซอร์คูเลติง ฮอท แอร์ (circulating hot air)

ขั้นตอนในการหล่อแบบฟัน

1.นำโซลิเทน 113 เรซิน 150 ซีซี มาอุ่นในเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาฟาเรนไฮต์ (27องศา เซนติเกรด) นาน 30 นาที

2.นำไปกำจัดฟองอากาศในเครื่องมือไล่ฟองอากาศนาน 30 นาที

1. อุ่นโซลิเทน 113 เรซิน ในเตาอบที่อุณหภูมิ80 องศาฟาเรนไฮต์ และอุ่นC113-300 ที่อุณหภูมิเดียวกัน นาน 15 นาที
2. ผสมโซลิเทน 113 เรซินกับ C 113-300 ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันนำไปกำจัดฟองอากาศในเครื่องมือไล่ฟองอากาศนาน 1 ชั่วโมง
3. ทา CR-7 รีลีสซิงเอเจนท์บนกระจกกรอบอลูมิเนียมและส่วนของสโตนที่ใช้ยึดฟัน ซึ่งใช้เป็นแบบหล่ออบในเตาอบอุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60องศาเซนติเกรด) นาน 15 นาที จากนั้นเทของเหลวที่ผสมไว้ตามข้อ 4.
4. นำแบบจำลองฟันเข้าเตาอบ อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ประมาณ 1(1/2) ชั่วโมงหลังจากนั้นปล่อยให้แบบจำลองฟันแข็งตัว ในอุณหภูมิห้องจึงแกะกระจก กรอบอลูมิเนียมและสโตนออก และตัดแต่งให้ผิวเรียบ
5. นำแบบจำลองฟันที่ได้ มาตัดแบ่งให้ได้แบบจำลองรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.5×5×0.5นิ้วเพื่อนำมาใช้ในการหา เอฟ แวลยู (f value) ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสาร และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเสื่อมของสารที่ใช้หล่อแบบจำลองฟันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดลอง
6. แบบจำลองฟันที่ตัดแต่งเรียบร้อยแล้วบริเวณฟันเขี้ยว ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ติดแบรกเกตห่างจากระนาบบดเคี้ยว ลงมา 4.5 มม. และ3.5มม. ตามลำดับบริเวณฟันกรามติด บัคเคิล ทิว ห่างจากระนาบบดเคี้ยวลงมา3.5มม. ด้วยเรซินทางทันตกรรมจัดฟัน

2. <u>เครื่องมือในการเคลื่อนฟันเขี้ยว</u> ได้แก่

สปริงประเภท เซคชั่นนัล อาร์ช สปริง (sectional arch spring) 3 แบบ

2.1 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง (burstone retraction spring) ชนิดที่เป็นสำเร็จรูป ของบริษัท ออมโก จำกัด (Ormco corporation)

2.2 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พี จี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง (PG universal retraction spring) ชนิดที่เป็นสำเร็จรูป ของบริษัท รอกกี้ เมาเทนต์ (Rocky mountain orthodontic company)

2.3 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง (Mandibular cuspid retraction spring)ชนิดที่เป็นสำเร็จรูป ของบริษัท รอกกี้ เมาเทนต์ (Rocky mountain orthodontic company)

II การรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่

1.1 อุปกรณ์ของวิธีโฟโตอีลาสติกทั้งหมด ประกอบด้วย

ก. แหล่งกำเนิดแสง (light source)

ข. โพลาไรเซอร์(polarilizer)

ค. ควอเตอร์ เวฟ เพลต (quarter wape plate) 2 แผ่น

ง. อะนาไลเซอร์ (analizer)

จ. กล้องถ่ายรูป

1.2 แบบจำลองฟัน พร้อมเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยว

2. วิธีการรวบรวมข้อมูล

2.1 ก่อนนำเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวแต่ละชนิดมาใช้ในการทดลองกับแบบจำลองฟัน เพื่อศึกษาการกระจายของความเค้น ด้วยเครื่องมือ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบ (calibriation) ขนาดของแรงและระยะทางที่ใช้ในการกระตุ้น เพื่อเป็นแนวทางในการนำเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวแต่ละชนิดไปใช้งาน โดยไม่ทำให้สปริงเสียรูปร่าง และมีขนาดของแรงที่ถูกต้องตามที่กำหนดในแต่ละ เทคนิก

2.2 ศึกษารูปแบบการกระจายของความเค้นมาตรฐานเมื่อให้แรงในแต่ละทิศทาง ได้แก่ แรงในแนวระนาบและแรงในแนวดิ่ง (standard stress pattern in horizontal and vertical plane)

<u>การศึกษาความเค้นในแนวระนาบ</u> (horizontal plane)

ให้แรงเริ่มตั้งแต่ 50,100,150,200,250,300 กรัมตามลำดับ กระทำที่ฟันเขี้ยวแล้วทำการถ่ายรูปลำดับของแถบสีที่ปรากฏ

<u>การศึกษาความเค้นในแนวดิ่ง</u>(vertical plane)

ให้แรงในแนวดิ่งขนาดเดียวกับที่กล่าวข้างต้น

2.3 ศึกษาการกระจายของความเค้น ที่เกิดจากสปริงแต่ละชนิด เมื่อกระตุ้นด้วยแรง 50,100,150,200,250,300 กรัมตามลำดับโดยทำการนับจำนวนของแถบสีที่เกิดขึ้น ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงสีขาว โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คือครั้งแรกสังเกตการเคลื่อนที่ของรูปแบบของแถบสี(fringe pattern)ว่ามีลักษณะการเคลื่อนที่ในทิศทางเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง โดยแถบสีจะเคลื่อนที่เข้าหาจุดที่ไม่มีความเค้นหรือตำแหน่งที่ลำดับของแถบสีเป็นศูนย์ ครั้งที่สองทำการทดลองซ้ำแล้วสเกตภาพของแถบสีที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกลำดับของแถบสีไว้ด้วย ครั้งที่สามทำการทดลองซ้ำอีกครั้งและทำการถ่ายรูปลำดับของแถบสีที่ปรากฏจากการใช้แหล่งกำเนิดแสงสีขาว

2.4 ศึกษาลักษณะของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยวเมื่อกระตุ้นด้วยระยะทางที่กำหนดในแนวทางการใช้สปริงนั้นกล่าวคือ

2.4.1 เบอร์สโตน รีแทรกชั่นสปริง (burstone retraction spring) จะทำการดึงสปริงที่ระยะทาง 6 มิลลิเมตร

2.4.2 แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง (mandibular cuspid retraction spring)จะทำการดึงสปริงที่ 2 มิลลิเมตร

2.4.3 พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง (PG universal retraction spring) จะทำการดึงสปริงที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตร

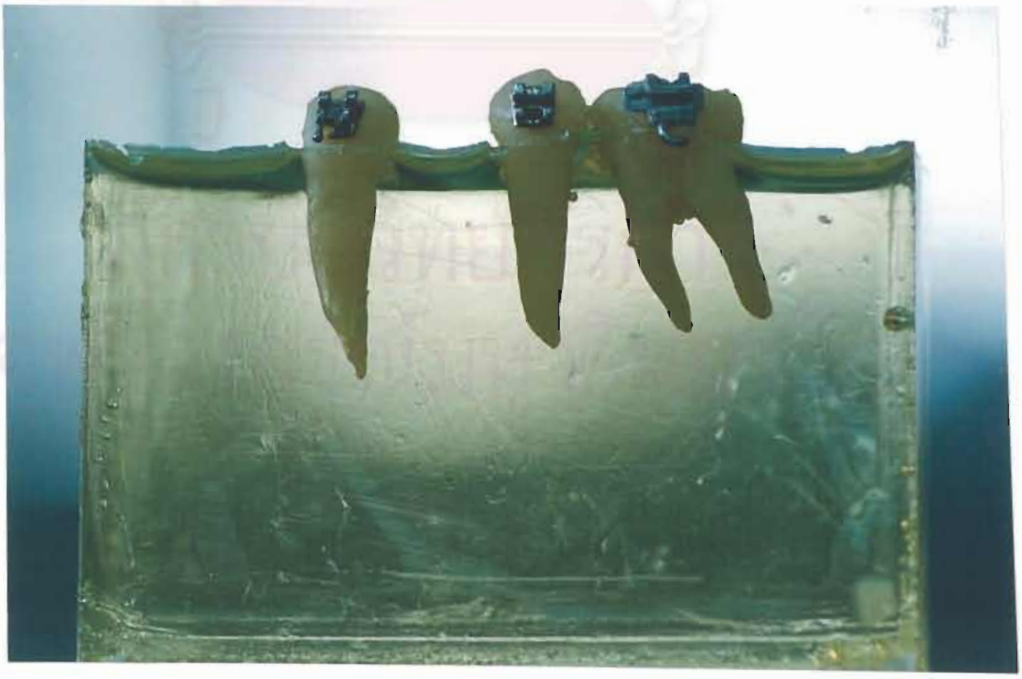
ลักษณะการกระจายความเค้น จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ข้อสรุปถึงรูปร่างรูปแบบการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวที่เกิดจากสปริงแต่ละชนิด

รูปที่ 24. แสดงเครื่องมือโพลาริสโคป ที่ใช้ในการทดลอง

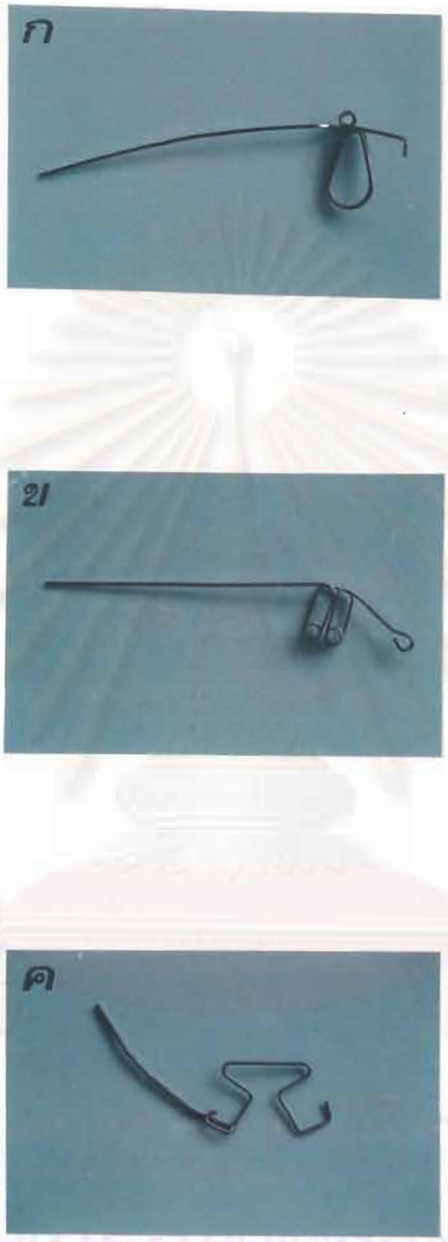
รูปที่ 25. แสดงเตาอบที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 26. แสดงเครื่องมือไล่ฟองอากาศระบบสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 27. แสดง สารโซลิเทน-113 และซี113-300 เรซิน ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 28. แสดงแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 29. แสดงรูปร่างของสปริงที่ใช้ในการทดลอง

ก. สปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง

ข. สปริงชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่นสปริง

ค. สปริงชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาการกระจายความเค้นซึ่งเกิดจากการใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 3 ชนิดคือ เบอร์สโตน รีแทรกชั่นสปริง, พีจี ยูนิเวอร์ซัล สปริง, แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ผู้วิจัยได้หล่อแบบจำลองเป็นบล็อกรูปสี่เหลี่ยมและมีฟันฝังอยู่ภายใน ประกอบด้วย ฟันเขี้ยวล่างซ้าย ฟันกรามน้อยซี่ที่สองล่างซ้าย และฟันกรามแท้ซี่ที่หนึ่งด้านล่างซ้าย จำนวน 2 บล็อก สารที่ใช้หล่อคือ สารประเภท ยูรีเทนชนิด ซิลิโคน 113 เรซิน ที่แสดงคุณสมบัติของการเป็นสารไบรีฟรินเจนท์ สปริงแต่ละตัวที่ใช้ในการทดสอบ ได้รับการคัลลิเบรด เพื่อทดสอบค่าโมเมนต์ต่อแรงของสปริงแต่ละชนิด และเป็นค่าที่พื้นฐานในการอธิบายรูปแบบของการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยว

เนื่องจากระบบของแรงที่เกิดจากสปริงดึงฟันเขี้ยวมีลักษณะที่ซับซ้อน จึงศึกษาความเค้นมาตรฐานที่เกิดจากแรงในแต่ละทิศทาง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนการศึกษาการกระจายความเค้นซึ่งเกิดจากระบบแรงรวม โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษาการกระจายความเค้นมาตรฐานในแนวระนาบและแนวดิ่ง และที่ขนาดของแรงตั้งแต่0-300 กรัม

1.1 การกระจายของความเค้นมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากแรงในแนวระนาบกระทำต่อฟันเขี้ยว (รูปที่ 30)

แรง 0 กรัม (รูปที่ 30ก)ไม่พบความเปลี่ยนแปลงที่บริเวณรอบรากฟันเขี้ยว

แรง 50 กรัม (รูปที่ 30ข)

ด้านใกล้กลาง	พบแถบเงาสีขาวออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน ไปจนถึงบริเวณ 2/3 ของปลายราก
ด้านไกลกลาง	พบความเค้นในออเดอร์ที่1 โดยที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันลักษณะเป็นกลุ่มของแถบสีส้ม แดง ม่วงและเขียว และบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีความเค้นดึงมากกว่าที่บริเวณอื่น ในส่วนของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1กระจายตัวจากยอดกระดูกเบ้าฟัน มาทางด้านปลายรากฟันถึงบริเวณ 2/3 ของรากฟัน
บริเวณปลายราก	เกิดความเค้นอัดที่บริเวณรอบปลายรากเป็นของแถบสีเทาในออเดอร์ที่1

แรง 100 กรัม (รูปที่ 30ค)

ด้านใกล้กลาง	เริ่มปรากฏแถบสีเหลืองของออเดอร์ที่ 1 กระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันไปจนถึงบริเวณ 1/3 ของรากฟัน แถบสีขาวในออเดอร์ที่1 มีความกว้างมากขึ้น
ด้านไกลกลาง	ปรากฏแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่2ที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 เคลื่อนที่มาทางด้านล่างจนถึงบริเวณปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก เริ่มพบมีแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1

แรง 150 กรัม (รูปที่ 30ง)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 เคลื่อนมาทางด้านปลายรากฟันจนถึงบริเวณ 2/3 ของรากฟัน

ด้านไกลกลาง แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 มีความกว้างมากขึ้นทิศทางเคลื่อนมาทางปลายราก

บริเวณปลายราก แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1ปรากฏชัดเจน

แรง 200 กรัม (รูปที่ 30จ)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1 ที่เป็นความเค้นอัด พบมากที่สุดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน โดยจะเห็นเป็นกลุ่มของแถบสีส้ม แดง ม่วงเกิดขึ้นและแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 กระจายจากด้านบนมาทางด้านปลายรากมากขึ้น

ด้านไกลกลาง พบแถบสีในออเดอร์ที่ 3 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีในกลุ่มของออเดอร์ที่1และ2 เคลื่อนที่จากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน มาทางด้านปลายรากมากขึ้น

บริเวณปลายราก พบความเค้นอัดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากด้านไกลกลาง เป็นลักษณะของแถบสีในออเดอร์ที่ 1

แรง 250 กรัม (รูปที่ 30ฉ)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีความกว้างมากขึ้น ทิศทางเคลื่อนที่มาทางด้านปลายราก

ด้านไกลกลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3 มีความกว้างมากขึ้น มีทิศทางเคลื่อนที่ลงมาทางด้านปลายรากฟัน

ด้านปลายราก พบความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่1 บริเวณด้านไกลกลาง มากกว่าด้านใกล้กลาง

แรง 300 กรัม (รูปที่ 30ช)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1และ2 มีขนาดกว้างมากขึ้น ทิศทางเคลื่อนมาทางด้านปลายรากฟัน บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันซึ่ง เป็นจุดที่มีความเค้นอัดมากที่สุด และเริ่มลดลงจนกระทั่งน้อยที่สุดที่บริเวณปลายรากฟัน

ด้านไกลกลาง เริ่มพบความเค้นดึงของแถบสีในออเดอร์ที่4 เกิดขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3 มีทิศทางเคลื่อนที่จากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันแสดงถึงจุดทีมีความเค้นดึงมากที่สุด และลดลงจนกระทั่งถึงบริเวณปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก ความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่1 ด้านไกลกลางเพิ่มขึ้น ส่วนปลายรากฟันด้านใกล้กลางแถบสีเทาเริ่มมีลักษณะที่จางลง

1.2 การกระจายของความเค้นมาตรฐาน ซึ่งเกิดจากแรงในแนวดิ่ง กระทำต่อฟันเขี้ยว(รูป 31)

แรง 0 กรัม (รูปที่ 31ก)

ไม่พบความเปลี่ยนแปลง

แรง 50 กรัม (รูปที่ 31ข)

พบแถบสีขาวในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นที่บริเวณรอบปลายรากและเคลื่อนตัวสู่ด้านบนจนถึงบริเวณ 1/2 ของความยาวรากฟัน

แรง 100 กรัม (รูปที่ 31ค)

แถบสีขาวในออเดอร์ที่ 1 เคลื่อนที่จากบริเวณปลายรากฟัน ถึงบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 เกิดที่บริเวณปลายรากฟัน

แรง 150 กรัม (รูปที่ 31ง)

แถบสีขาวในออเดอร์ที่ 1 ซึ่งพบเมื่อให้แรง 100 กรัมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และแถบสีขาวในออเดอร์ที่1เริ่มกระจายตัวออกทางด้านข้าง ที่บริเวณปลายรากพบแถบสีเหลืองและสีฟ้า แสดงถึงความเค้นอัดมีมากขึ้น

แรง 200 กรัม (รูปที่ 31จ)

เกิดแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 บริเวณปลายรากฟัน และแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 กระจายจากปลายรากฟันสู่ยอดกระดูกเบ้าฟัน โดยเกิดรอบรากฟันทั้งด้านใกล้กลาง และไกลกลาง ที่บริเวณปลายรากแถบสีในออเดอร์ที่ 1 เคลื่อนที่ลงด้านล่างมากขึ้น

แรง 250 กรัม (รูปที่ 31ฉ)

บริเวณปลายราก แถบสีในกลุ่มของออเดอร์ที่ 1 ที่เป็นสี ส้ม แดง ม่วง ฟ้า มีทิศทางเคลื่อนที่จากด้านปลายรากสู่ด้านบนจนถึง ½ ของรากฟัน แสดงถึงการที่มีความเค้นอัดมากขึ้นและกระจายสู่ด้านบน ที่บริเวณปลายรากออเดอร์ที่1 และ 2 มีทิศทางเคลื่อนที่ลงมาทางด้านล่างมากขึ้น

แรง 300 กรัม (รูปที่ 31ช)

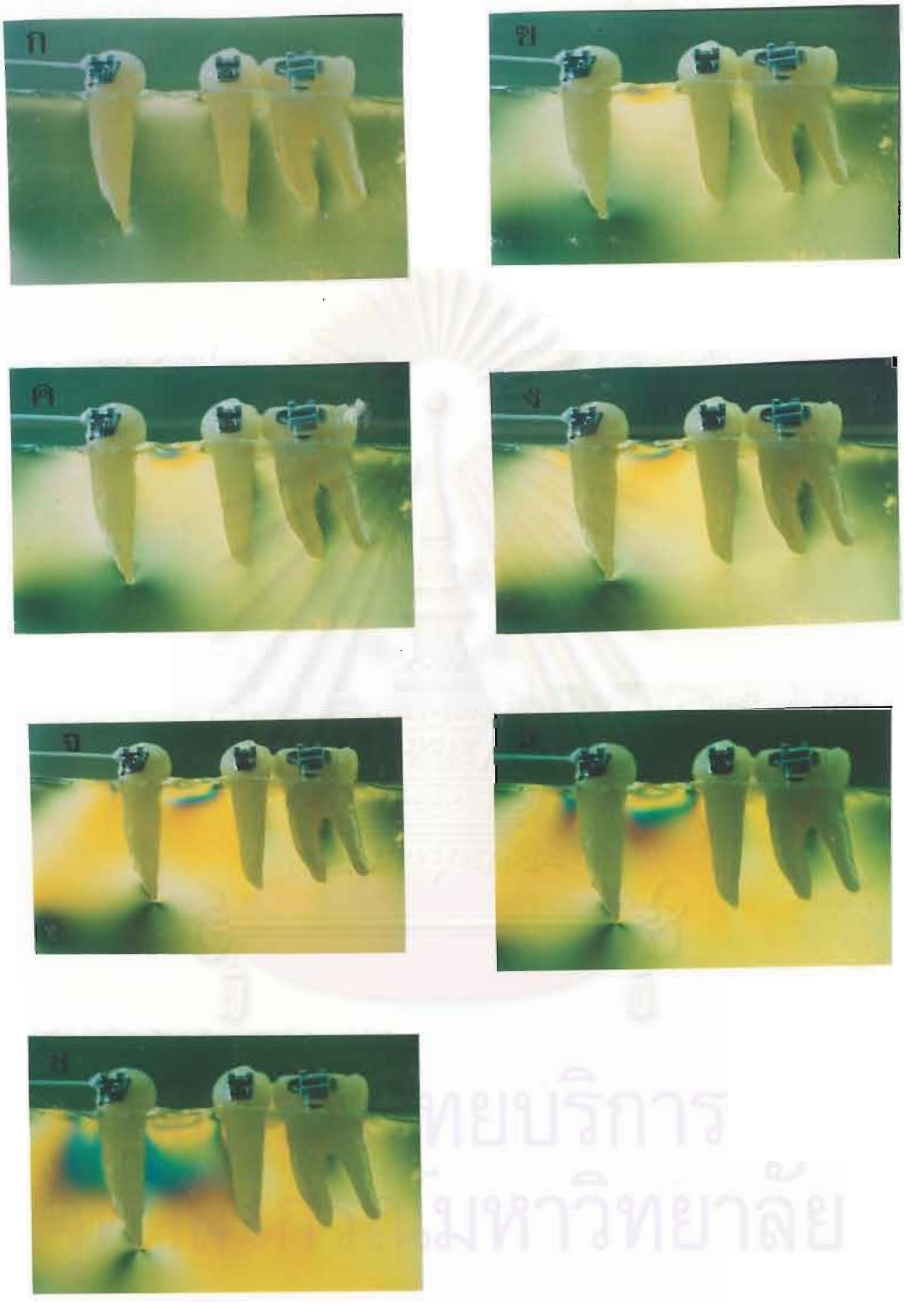
บริเวณปลายราก แถบสีในออเดอร์ที่1 เคลื่อนที่จากปลายรากฟันสู่ด้านบนจนถึงบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และที่บริเวณปลายรากแถบสีในกลุ่มออเดอร์ที่ 1และ 2 มีความกว้างมากขึ้นโดยแถบสีในออเดอร์ที่ 2 มีทิศทางสู่ด้านบนมากขึ้นโดยจะขึ้นไปถึงประมาณ ½ ของรากฟัน

สรุป

เมื่อให้แรงในแนวระนาบกระทำทางด้านใกล้กลาง พบว่า บริเวณที่มีความเค้นอัดมากที่สุดคือที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และค่อยๆลดลงจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง และบริเวณปลายรากจะมีความเค้นอัดน้อยที่สุด ในทำนองเดียวกันด้านไกลกลาง บริเวณที่มีความเค้นดึงมากที่สุดคือบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและน้อยที่สุดคือบริเวณปลายรากฟัน

เมื่อให้แรงในแนวดิ่ง มีทิศทางดึงลงมาทางด้านปลายราก พบว่าจุดที่เริ่มเกิดความเค้นอัด คือบริเวณรอบปลายรากฟัน และเมื่อให้แรงมากขึ้น ความเค้นอัดจะกระจายจากปลายรากขึ้นสู่ด้านบนจนถึง สู่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

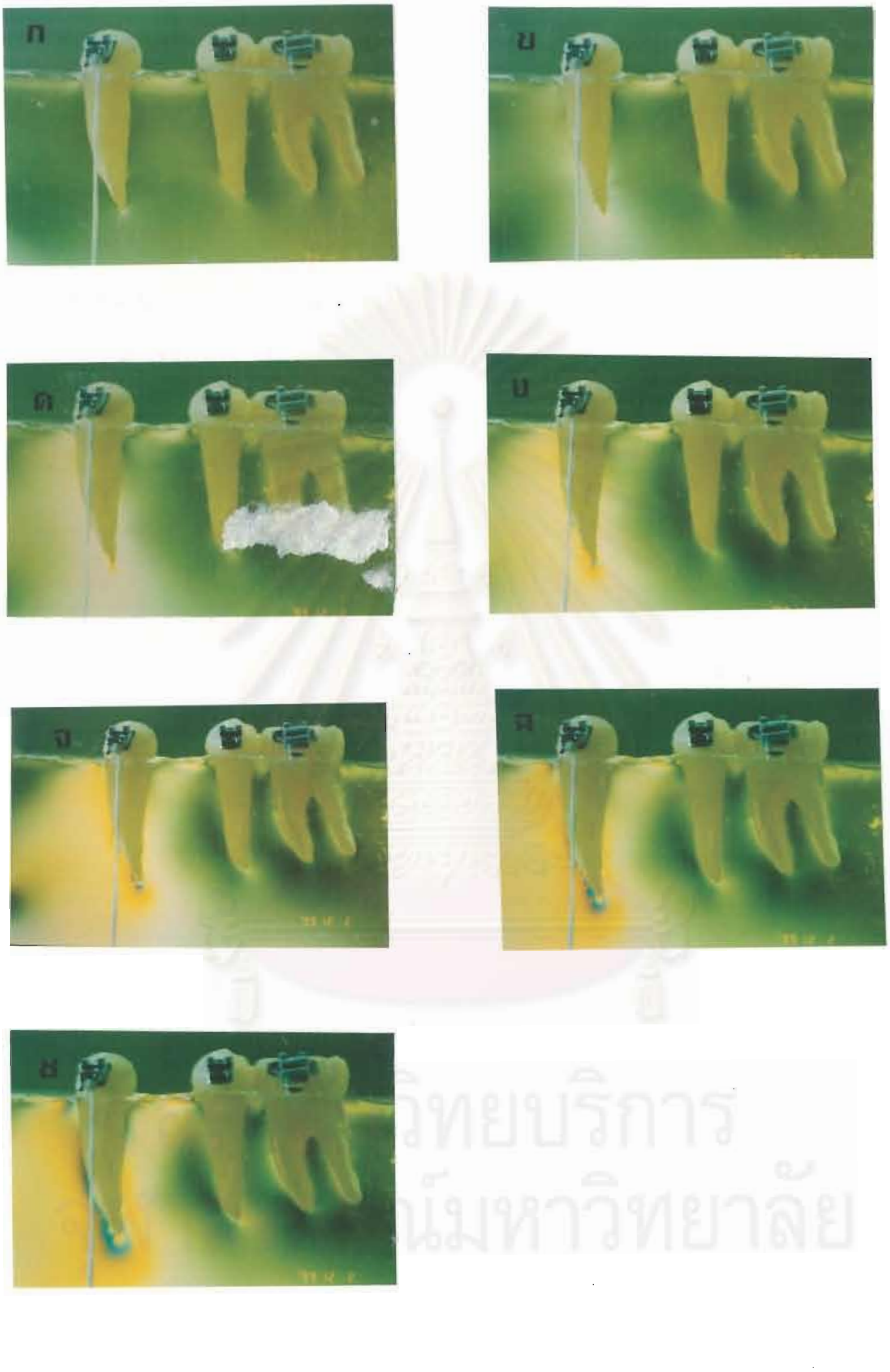
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่30. แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงในแนวระนาบ

ก. 0 กรัม ข. 50 กรัม ค. 100 กรัม ง. 150 กรัม

จ. 200 กรัม ฉ. 250 กรัม ช.300 กรัม ตามลำดับ



รูปที่31. แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงในแนวดิ่ง

ก. 0 กรัม ข. 50 กรัม ค. 100 กรัม ง. 150 กรัม

จ. 200 กรัม ฉ. 250 กรัม ช. 300 กรัม ตามลำดับ

1.3 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากสปริงดึงฟันเขี้ยวในแต่ละชนิดเมื่อใช้แรงในการปรับสปริง ตั้งแต่ 0-300 กรัม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 สปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง (รูปที่ 32)

แรง 0 กรัม (รูปที่ 32 ก)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันซึ่งแสดงถึงความเค้นดึง

ด้านไกลกลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายลงมาถึง บริเวณ 1/3 ของปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก ยังไม่พบความเปลี่ยนแปลง

แรง 50 กรัม (รูปที่ 32ข)

ด้านใกล้กลาง พบความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีเพิ่มขึ้น และเคลื่อนที่จาก บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันลงสู่ปลายรากฟัน

ด้านไกลกลาง ความเข้มของแถบสีฟ้าในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้น ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายราก เริ่มปรากฏแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 แสดงถึงความเค้นอัด

แรง 100 กรัม (รูปที่ 32ค)

ด้านใกล้กลาง แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีความกว้างมากขึ้นและกระจายถึงบริเวณ 2/3 ของรากฟัน ความเค้นดึงซึ่งพิจารณาจากแถบสีมีค่ามากที่สุดบริเวณ 1/2 ของรากฟัน

ด้านไกลกลาง พบความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 2 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีความกว้างมากขึ้นและเคลื่อนสู่ปลายรากฟัน โดยมีความเค้นอัดยังมากที่สุดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายราก ขนาดของความเค้นมีลักษณะใกล้เคียงกับที่แรง 50 กรัม

แรง 150 กรัม (รูปที่ 32ง)

ด้านใกล้กลาง ความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีเพิ่มขึ้น และมีทิศทางกระจายออกทางด้านข้าง บริเวณที่เกิดความเค้นดึงมากที่สุดคือบริเวณ1/2ของรากฟัน

ด้านไกลกลาง ที่บริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง1/2ของรากฟัน เริ่มพบความเค้นในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นใหม่ และ แถบสีในออเดอร์ที่ 1 และ 2 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน เคลื่อนที่สู่ปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก ปริมาณและขนาดของความเข้มของแถบสีมีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 100 กรัม

แรง 200 กรัม (รูปที่ 32จ)

ด้านใกล้กลาง พบรูปแบบของการกระจายความเค้นเกิดขึ้นใน 2 ตำแหน่ง โดยเริ่มพบความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และนอกจากนี้ที่บริเวณผิวรากฟันในบริเวณ1/2ของรากฟันที่เป็นความเค้นในออเดอร์ที่1เดิม มีความเข้มมากขึ้นทิศทางกระจายออกทางด้านข้าง ความเค้นดึงที่เกิดขึ้นจะพบว่ามีการกระจายตัวจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันเรื่อยมาจนถึงบริเวณ2/3ของรากฟัน

ด้านไกลกลาง พบรูปแบบการกระจายความเค้นใน 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งแรกคือที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน พบปริมาณแถบสีในออเดอร์ที่ 3 ขณะที่แถบสีในออเดอร์ที่ 1 , 2 เคลื่อนที่มาทางด้านปลายราก และมีความกว้างมากขึ้น และอีกตำแหน่งคือบริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง1/2 ของรากฟันพบแถบสีในออเดอร์ที่ 1

บริเวณปลายราก ความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 เพิ่มขึ้น

แรง 250 กรัม (รูปที่ 32ฉ)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีในออเดอร์ที่ 2 ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและที่ผิวรากฟัน ส่วนออเดอร์ที่1 พบแถบสี ส้ม ม่วง น้ำเงิน ชัดเจนขึ้น กระจายออกทางด้านข้าง แสดงถึงการที่มีความเค้นดึงเกิดที่บริเวณ ½ ของรากฟันมากกว่าที่แรง 200 กรัม

ด้านไกลกลาง บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1 , 2 และ 3 มากขึ้นและกระจายตัวลงสู่ปลายรากฟัน ส่วนบริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง ½ ของรากฟันแถบสีในออเดอร์ที่ 1 จางลง ความเค้นอัดที่เกิดขึ้น พบมากที่สุดบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

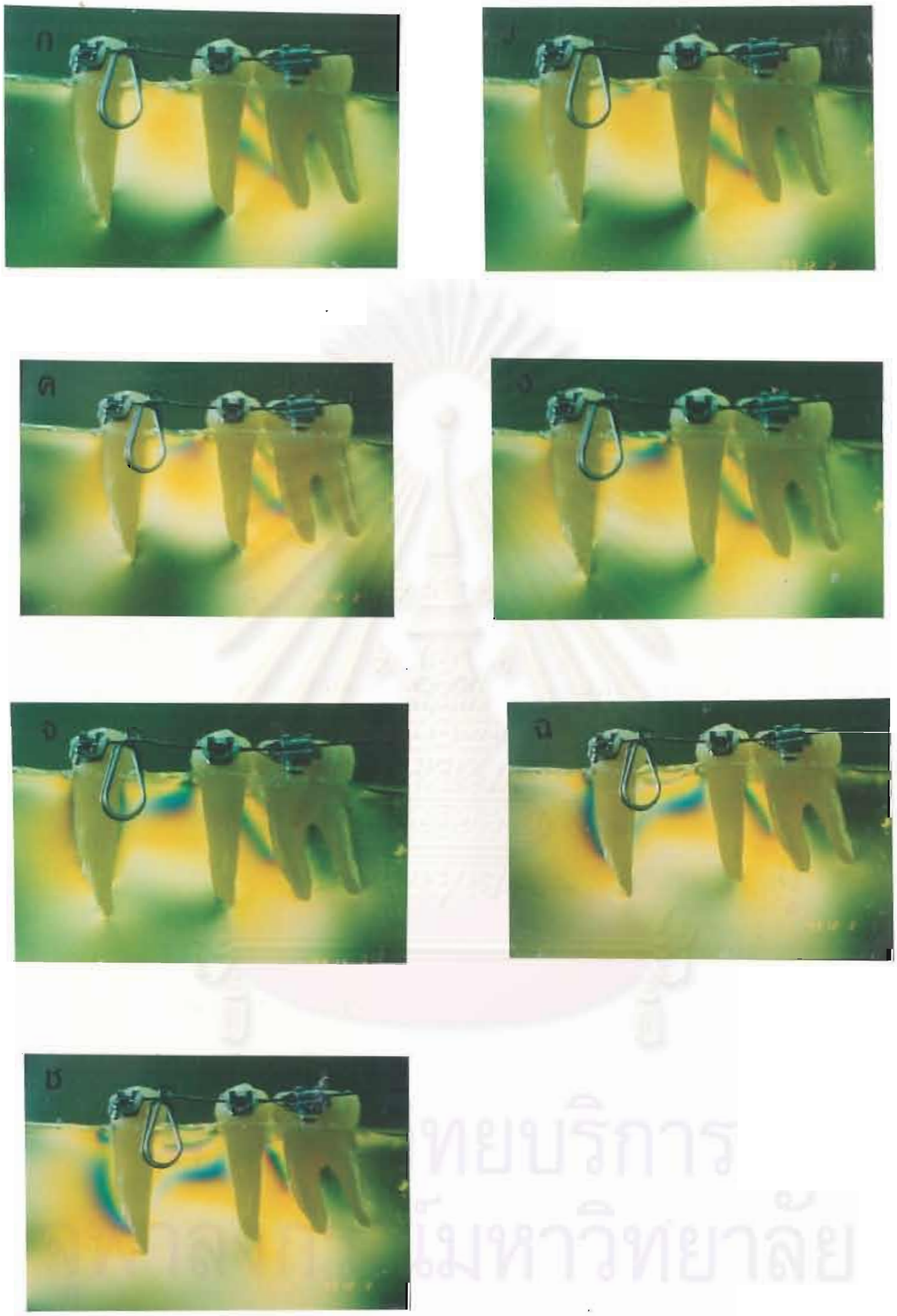
บริเวณปลายราก บริเวณรอบๆปลายราก แถบสีเทา เริ่มจางหายไป และปลายรากทางด้านใกล้กลางพบลักษณะของแถบสีเหลืองเกิดขึ้น แสดงถึงความเค้นอัดที่ปลายรากมากกว่าที่ขนาดแรง 200 กรัม

แรง 300 กรัม (รูปที่ 32ช)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1 และ 2 แยกตัวออกเป็น 2 ตำแหน่งอย่างชัดเจน โดยพบบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และบริเวณ 1/2 - 2/3 ของปลายรากฟัน มีทิศทางกระจายออกทางด้านข้าง

ด้านไกลกลาง แถบสีของออเดอร์ที่ 1 , 2 , 3 และ 4 กระจายตัวลงมาทางด้านล่างมากขึ้น และความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1 บริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง ½ ของรากฟันหายไป

บริเวณปลายราก พบปริมาณแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มากขึ้นที่บริเวณปลายรากด้านใกล้กลางซึ่งหมายถึงขนาดของแรงการเกิดความเค้นอัดที่มากขึ้นที่ปลายรากด้านใกล้กลางมากกว่าด้านไกลกลาง



รูปที่ 32. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง
ก. 0 กรัม ข.50 กรัม ค.100 กรัม ง.150 กรัม
จ. 200 กรัม ฉ250 กรัม ช. 300 กรัม ตามลำดับ

1.3.2 การศึกษาการกระจายความเค้นจากการใช้สปริงชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง(รูปที่33)

แรง 0 กรัม (รูปที่33ก)

ด้านใกล้กลาง พบลักษณะการกระจายความเค้นเกิดขึ้น โดยเห็นแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจนถึงบริเวณ1/2ของความยาวรากฟัน

ด้านไกลกลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจากด้านบนลงมาจนถึงบริเวณ1/3 ของรากฟัน

บริเวณปลายราก ไม่พบความเปลี่ยนแปลง

แรง 50 กรัม (รูปที่ 33ข)

ด้านใกล้กลาง ลักษณะของความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 มีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 50 กรัม

ด้านไกลกลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 กระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงบริเวณ 1/3ของความยาวรากฟัน ขณะเดียวกันปรากฏแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1 กระจายขึ้นจากปลายรากฟันสู่ด้านบนประมาณ1/2ของรากฟัน

บริเวณปลายราก พบลักษณะแถบสีขาวในออเดอร์ที่1 รอบปลายรากด้านไกลกลาง

แรง 100 กรัม (รูปที่ 33ค)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่1มีลำดับของแถบสีที่เข้มขึ้นกระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ2/3ของรากฟัน โดยจะพบความเข้มมากที่สุดที่บริเวณ 1/3ของรากฟันแสดงถึงการที่มีความเค้นดึงมากที่สุด

ด้านไกลกลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีการเคลื่อนที่ลงมาทางด้านปลายรากมากขึ้นโดยเคลื่อนที่ถึงประมาณ2/3ของรากฟัน และความกว้างของแถบสีออเดอร์ที่1,2จะมีความกว้างที่มากขึ้นบริเวณที่มีความเค้นอัดมากที่สุดคือบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน รองลงมาคือบริเวณปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก พบแถบสีขาวในออเดอร์ที่ 1 กระจายรอบปลายรากฟันและเคลื่อนสู่ด้านบนจนถึงประมาณ2/3ของรากฟันแสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากขึ้น

แรง 150 กรัม (รูปที่ 33ง)

ด้านใกล้กลาง เริ่มพบแถบสีในออเดอร์ที่ 2 ที่บริเวณผิวรากฟันตั้งแต่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ 2/3 ของปลายรากฟัน แถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีการกระจายออกด้านข้างมากขึ้นแสดงถึงการมีความเค้นดึงเกิดขึ้นจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ2/3ของรากฟัน

ด้านไกลกลาง เริ่มพบแถบสีในออเดอร์ที่ 3 เกิดขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2มีการกระจายจากยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ1/2 ของปลายรากฟัน และที่ผิวรากฟันบริเวณ1/2ของรากฟัน พบแถบสีฟ้าในออเดอร์ที่1เกิดขึ้นแสดงถึงการที่มี

ความเค้นอัดเพิ่มขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันที่มากที่สุด รองมาคือบริเวณ1/2ของรากฟัน และน้อยสุดที่ปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก การกระจายความเค้นจะมีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 100 กรัม

แรง 200 กรัม (รูปที่ 33จ)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2มีการกระจายออกทางด้านข้างมากขึ้น โดยมีการกระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ 2/3ของรากฟัน แสดงถึงการที่มีความเค้นดึงเกิดขึ้นที่บริเวณผิวรากฟันมากกว่าที่แรง 150 กรัม

ด้านไกลกลาง บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันแถบสีในออเดอร์ที่1,2,3 มีการกระจายจากยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ 1/2ของรากฟัน และที่บริเวณ1/2ของรากฟันแถบสีฟ้าในออเดอร์ที่ 1 มีการกระจายออกทางด้านข้างมากขึ้น แสดงถึงการที่มีความเค้นอัดที่เพิ่มขึ้น

บริเวณปลายราก ลักษณะการกระจายความเค้นมีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 150 กรัม

แรง 250 กรัม (รูปที่ 33ฉ)

ด้านใกล้กลาง แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2 มีการกระจายออกทางด้านข้างมากขึ้นมากกว่าที่แรง 200 กรัม แสดงถึงการที่มีความเค้นดึงที่เพิ่มขึ้น

ด้านไกลกลาง เริ่มพบความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 4 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3 มีการกระจายลงสู่ด้านล่างมากขึ้นแสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน ส่วนบริเวณ ½ ของรากฟันความเข้มของแถบสีมีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 200 กรัม

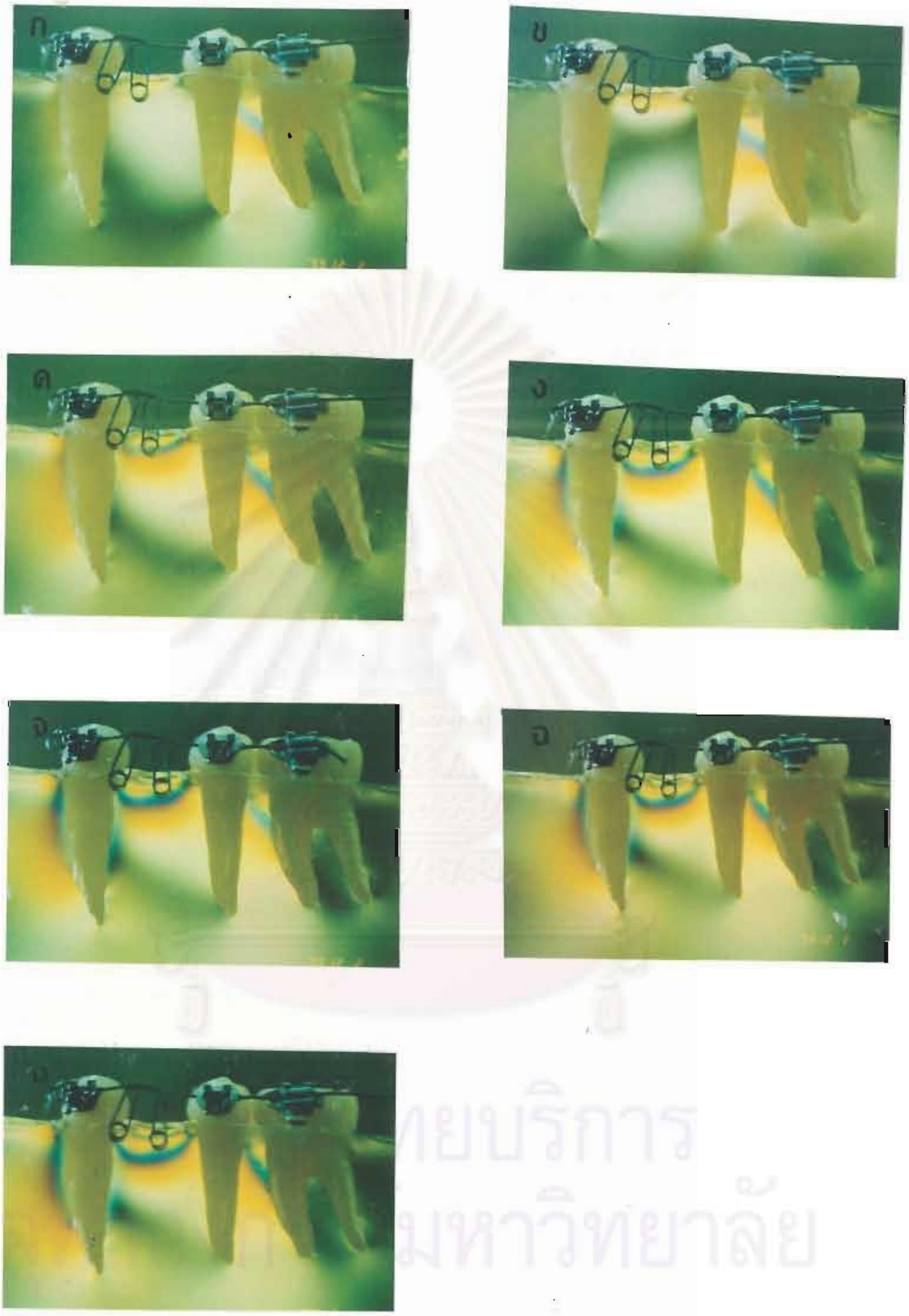
บริเวณปลายราก ลักษณะเหมือนกับที่แรง 200 กรัม

แรง 300 กรัม (รูปที่ 33ช)

ด้านใกล้กลาง ความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2 มีการกระจายออกด้านข้างมากขึ้นมีความกว้างของแถบสีที่มากขึ้น แสดงถึงการมีความเค้นดึงที่มากขึ้น

ด้านไกลกลาง ความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3,4 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันมีความกว้างมากขึ้นทิศทางเคลื่อนที่สู่ปลายรากฟันสิ้นสุดที่ประมาณ 1/2ของรากฟัน และที่ผิวรากฟันบริเวณ ½ ของรากฟันมีลักษณะของแถบสีที่ใกล้เคียงกับที่แรง 250 กรัม

บริเวณปลายราก ลักษณะเหมือนกับแรง 250 กรัม



รูปที่ 33. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง

ก. 0 กรัม ข.50 กรัม ค.100 กรัม ง.150 กรัม

จ. 200 กรัม ฉ250 กรัม ช. 300 กรัม ตามลำดับ

1.3.3 การศึกษาการกระจายความเค้นจากการใช้สปริง ชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง (รูปที่34)

แรง 0 กรัม (รูปที่ 34ก)

ด้านใกล้กลาง พบลักษณะของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นตลอดความยาวราก

ด้านไกลกลาง พบลักษณะของแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3 เกิดขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน โดยมีทิศทางเคลื่อนมาทางด้านปลายรากฟันจนถึงประมาณ ½ ของรากฟัน และพบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1ที่บริเวณ 1/3จากปลายรากฟันมีทิศทางเคลื่อนที่สู่ด้านบนจนถึง ประมาณ1/2 ของรากฟัน แสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากที่สุดที่ยอดกระดูกเบ้าฟันรองมาคือบริเวณปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก พบลักษณะของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นที่ปลายรากด้านไกลกลางส่วนปลายรากด้านใกล้กลางพบเป็นแถบสีเทา แสดงถึงการที่มีความเค้นของปลายรากด้านไกลกลางมากกว่าที่ปลายรากด้านใกล้กลาง

แรง 50 กรัม (รูปที่ 34ข)

ด้านใกล้กลาง ลักษณะของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีลักษณะที่จางลงแสดงถึงการที่มีความเค้นที่ลดลงเมื่อเทียบกับที่แรง 0 กรัม

ด้านไกลกลาง ลักษณะของความเค้นในออเดอร์ที่ 3 หายไป เหลือเพียงออเดอร์ที่ 1,2 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟันและมีขนาดที่เล็กลง ที่บริเวณ 1/3 จากปลายรากฟันความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีลักษณะที่จางลงเช่นกัน แสดงถึงการที่มีความเค้นที่ลดลง

บริเวณปลายราก พบลักษณะของแถบสีในออเดอร์ที่ 1 มีขนาดใกล้เคียงกับที่แรง 0 กรัมแต่มีความเข้มของสีที่จางกว่า

แรง 100 กรัม (รูปที่ 34ค)

ด้านใกล้กลาง ไม่พบความเปลี่ยนแปลง แสดงถึงการที่ไม่มีความเค้นเกิดขึ้นทางด้านใกล้กลาง

ด้านไกลกลาง พบความเค้นของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1เกิดขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจากด้านบนสู่ด้านล่างจนถึงประมาณ 1/2 ของรากฟัน แสดงถึงการมีความเค้นอัดเกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟันเกิดขึ้น

บริเวณปลายราก พบลักษณะของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดที่รอบปลายรากฟัน แสดงถึงการเกิดความเค้นอัดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากเกิดขึ้น

แรง 150 กรัม (รูปที่ 34ง)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นรอบปลายรากด้านใกล้กลางแสดงถึงการเกิดความเค้นดึงเกิดขึ้นที่ด้านใกล้กลาง

ด้านไกลกลาง เริ่มพบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีออเดอร์ที่1มีทิศทางเคลื่อนที่มาทางด้านปลายรากมากขึ้นจนถึงประมาณ 2/3 ของรากฟัน

แสดงถึงการที่มีความเค้นอัดเกิดมากขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและมีการกระจายลงมาทางด้านล่างตามลำดับ

บริเวณปลายราก แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีลักษณะที่เข้มมากขึ้นกระจายออกทางด้านข้าง แสดงถึงการที่มีความเค้นอัดที่เพิ่มมากขึ้น

แรง 200 กรัม (รูปที่ 34จ)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่1เกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง คือที่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงบริเวณ 2/3 ของรากฟัน และที่บริเวณ 1/3 จากปลายรากฟันกระจายทิศทางเคลื่อนสู่ด้านบนจนถึง ประมาณ 1/3 ของรากฟัน แสดงถึงการเกิดความเค้นดึงที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและเกิดความเค้นอัดที่บริเวณ 1/3ของปลายรากฟัน

ด้านไกลกลาง ขนาดของแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2 มีขนาดที่กว้างมากขึ้น และเคลื่อนจากด้านบนลงสู่ด้านล่างจนถึงประมาณ 2/3 ของรากฟัน แสดงถึงการที่เกิดความเค้นอัดที่มากขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและน้อยลงจนถึงปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก ความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1มีมากขึ้นกระจายรอบปลายรากฟัน แสดงถึงการที่มีความเค้นอัดที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบที่แรง 150 กรัม

แรง 250 กรัม (รูปที่ 34ฉ)

ด้านใกล้กลาง แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและที่บริเวณปลายรากมีความเข้มที่มากขึ้น แสดงถึงการมีความเค้นอัดที่ยอดกระดูกเบ้าฟันและความเค้นดึงที่1/3ของปลายรากฟัน มีค่าที่มากขึ้นกว่าที่แรง 200 กรัม

ด้านไกลกลาง พบออเดอร์ที่ 3 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน ส่วนออเดอร์ที่ 1,2 เคลื่อนที่จากยอดกระดูกเบ้าฟันมาทางด้านปลายรากจนถึง 2/3 ของรากฟัน แสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน และน้อยที่สุดที่ปลายรากฟัน

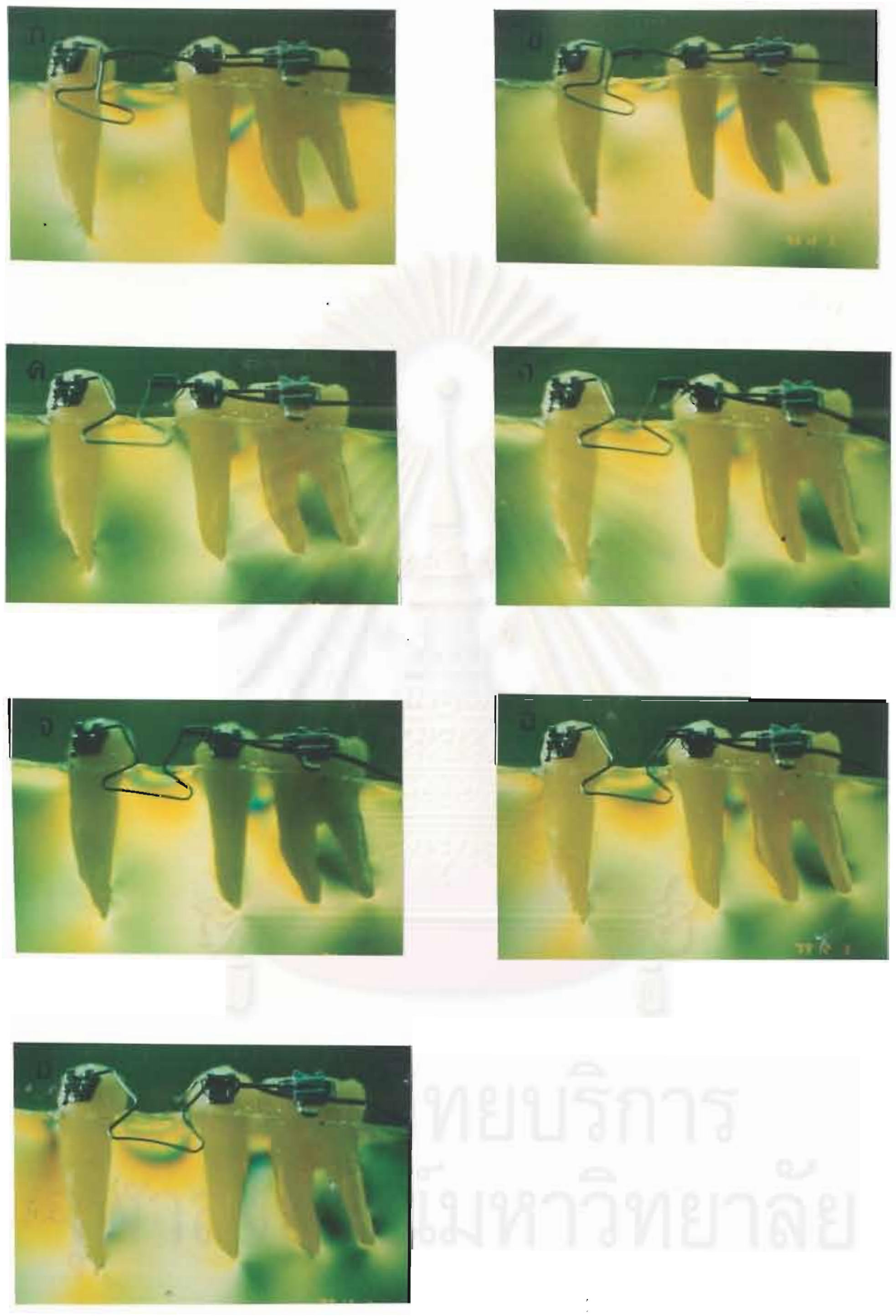
บริเวณปลายราก ความเข้มของแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับที่แรง 200 กรัม แสดงถึงการมีค่าความเค้นที่ใกล้เคียงกัน

แรง 300 กรัม (รูปที่ 34ช)

ด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 2 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสีในออเดอร์ที่1 มีลักษณะที่เข้มข้นกระจายออกทางด้านข้างลงไปทางปลายรากจนถึงประมาณ 2/3 ของปลายรากฟัน

ด้านไกลกลาง พบแถบสีในออเดอร์ที่ 4 เกิดขึ้นที่ยอดกระดูกเบ้าฟัน แถบสี ออเดอร์ที่ 1,2,3 มีความกว้างของแถบสีมากขึ้นทิศทางเคลื่อนที่สู่ปลายรากฟันจนถึงประมาณ 2/3 ของรากฟันแสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากขึ้นบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน

บริเวณปลายราก แถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เข้มขึ้น แสดงความเค้นอัดที่มากขึ้นที่ปลายรากฟัน



รูปที่ 34. แสดงการกระจายความเค้นจากการให้แรงแก่สปริง เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง
ก. 0 กรัม ข.50 กรัม ค.100 กรัม ง.150 กรัม
จ. 200 กรัม ฉ.250 กรัม ช. 300 กรัม ตามลำดับ

2. เพื่อเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นที่เกิดจากการใช้สปริงตามที่ผู้ออกแบบกำหนด สปริงแต่ละชนิดถูกดึงตามระยะทางที่แนะนำ ผลการวิจัยพบว่า

2.1 การปรับสปริง พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ทำการดึงสปริงตามระยะทางที่ผู้ออกแบบสปริงกำหนดแนะนำ (Gjessing ,1985) ที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตร พบการกระจายของความเค้นดังต่อไปนี้ (รูปที่35)

ด้านใกล้กลาง แถบสีเหลืองและสีน้ำเงินในออเดอร์ที่ 1 แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน และในบริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง ½ของความยาว เมื่อพิจารณาจากสีและความเข้มของแถบสี สรุปได้ว่าความเค้นดึงที่บริเวณ1/2 ของรากฟันจะมีค่ามากที่สุด รองมาคือบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและบริเวณปลายรากตามลำดับ

ด้านไกลกลาง ที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน พบความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่ 1 , 2 และ 3 กระจายตัวจากทางด้านบนสู่ด้านล่างจนถึงประมาณ 2/3 ของรากฟันและในบริเวณผิวรากฟันในตำแหน่ง ½ ของรากฟัน พบความเค้นในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้น นอกจากนี้ที่บริเวณปลายรากก็จะพบแถบสีของของออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นด้วยซึ่งหมายถึงเกิดความเค้นอัดที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันรองลงมาที่บริเวณ1/2 ของรากฟันและเกิดความเค้นดึงเกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากฟัน

บริเวณปลายราก รอบๆปลายรากจะพบลักษณะเป็นแถบสีขาวเกิดขึ้นทิศทางกระจายจากทางด้านปลายรากขึ้นสู่ด้านบน และที่บริเวณปลายรากด้านใกล้กลาง พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นด้วย โดยปลายรากด้านใกล้กลางจะเกิดความเค้นอัดเกิดขึ้นซึ่งมีค่าที่มากกว่าความเค้นดึงที่ปลายรากด้านไกลกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 35. แสดงการดึงสปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริงที่ระยะ 1 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การปรับสปริง แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ทำการดึงสปริงตามระยะทางที่ผู้ออกแบบสปริงกำหนด (Ricketts,1980)คือที่ระยะทาง 2 มิลลิเมตร พบการกระจายของความเค้นดังต่อไปนี้ (รูปที่36)

ด้านใกล้กลาง	พบแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2 กระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงปลายรากฟัน โดยความเข้มของแถบสีมากที่สุดที่บริเวณ1/2ของรากฟัน แสดงถึงการที่มีการกระจายความเค้นดึงตั้งแต่ยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงปลายรากฟันและความเค้นดึงจะมากที่สุดที่บริเวณ1/2ของรากฟัน
ด้านไกลกลาง	พบความเข้มของแถบสีในออเดอร์ที่1,2,3 เกิดขึ้น ที่ยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจนถึงบริเวณ1/2ของรากฟัน และที่บริเวณผิวรากฟันพบแถบสีฟ้าของออเดอร์ที่ 1 เกิดขึ้นกระจายจนถึง2/3 ของรากฟัน แสดงถึงการมีความเค้นอัดที่มากที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันและที่บริเวณ 1/2ของรากฟันและที่ปลายรากตามลำดับ
บริเวณปลายราก	พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 กระจายรอบรากฟันโดยมีทิศทางจากปลายรากฟันขึ้นสู่ด้านบนจนถึงประมาณ 1/3จากปลายรากฟัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 36. แสดงการดึงสปริงชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ที่ระยะ 2 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ปรับสปริง เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง ตามระยะทางที่ผู้ออกแบบสปริงกำหนด(Burstone,1985) คือที่ระยะทาง 6 มิลลิเมตร พบการกระจายของความเค้นดังต่อไปนี้ (รูปที่37)

ด้านใกล้กลาง	พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 กระจายออกเป็น 2 กลุ่มคือที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันกระจายจนถึงประมาณ2/3 ของรากฟันและที่ปลายรากกระจายสู่ด้านบนจนถึงประมาณ1/3จากปลายรากฟัน แสดงถึงการเกิดความเค้นดึงที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ2/3ของปลายรากฟัน และเกิดความเค้นอัดที่บริเวณ1/3จากปลายรากฟัน
ด้านไกลกลาง	พบแถบสีในออเดอร์ที่ 1,2,3 บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟัน ทิศทางกระจายจากด้านบนลงสู่ด้านล่างจนถึงประมาณ2/3 ของรากฟัน แสดงถึงการเกิดความเค้นอัดที่มากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันที่มากที่สุดและลดลงจนถึงปลายรากฟัน
บริเวณปลายราก	พบแถบสีเหลืองในออเดอร์ที่ 1 กระจายรอบรากฟันและมีทิศทางเคลื่อนที่สู่ด้านบนจนถึงประมาณ 1/3 จากปลายรากฟัน แสดงถึงการมีความเค้นอัดเกิดขึ้นที่บริเวณปลายรากฟัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 37 . แสดงการดึงสปริงเบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง ที่ระยะ 6 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยที่ได้ใช้วิธีการทางโฟโตอีลาสติกในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในแบบจำลองฟัน เมื่อใช้สปริงดึงฟันเขี้ยว 3 ชนิด คือ สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง, แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง และ เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันเขี้ยวที่ขนาดของแรงต่างกัน

1.1 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง พบว่าที่แรงน้อยกว่า 100 กรัมจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่เฉพาะด้านตัวฟันแบบทิปปิง โดยที่จะมีการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันมาทางด้านไกลกลาง และที่แรงในช่วงประมาณ 100-200 กรัมจะพบการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันแบบทิปปิงเกิดขึ้นแต่ลักษณะของการเกิดทิปปิง จะเป็นในลักษณะเกือบเป็นการเคลื่อนที่แบบบอดิลี และเมื่อให้แรงที่มากกว่า200 กรัมจะส่งผลให้เกิดทิปปิงในส่วนของตัวฟันเคลื่อนมาทางด้านไกลกลางมากขึ้น

1.2 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง พบว่าที่แรงน้อยกว่า 100 กรัมจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันและในส่วนของรากด้วย โดยตัวฟันจะเคลื่อนมาทางด้านไกลกลาง และส่วนของปลายรากฟันจะเคลื่อนมาทางด้านใกล้กลาง และเมื่อแรงในช่วง 100-200 กรัมจะพบว่ามีการเคลื่อนที่ คล้ายกับที่แรงน้อยกว่า 100กรัม แต่ลักษณะของการเกิดทิปปิง เกือบที่จะเป็นบอดิลี และ เมื่อให้แรงที่มากกว่า 200 กรัมจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางและรากไปทางด้านใกล้กลางมากขึ้น

1.3 สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง พบว่าที่แรงน้อยกว่า 100 กรัมจะเกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันมาทางด้านใกล้กลาง และด้านปลายรากมาทางด้านไกลกลาง ร่วมกับมีแรงกดเกิดขึ้นที่ด้านปลายรากฟัน เมื่อให้แรงในช่วง100-200 กรัม จะพบว่ามีการเกิดทิปปิงเกิดขึ้นโดยส่วนของตัวฟันจะเกิดการเคลื่อนที่มาทางด้านไกลกลางมากขึ้น และเมื่อให้แรงที่มากกว่า 200 กรัมการเกิดการเคลื่อนที่ของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2. ดึงสปริงตามที่ระยะทางของผู้ผลิตกำหนด

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ทำการดึงที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตรและ สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง ทำการดึงที่ระยะทาง 2 มิลลิเมตร พบว่ามีลักษณะของการเคลื่อนที่ของฟันที่ใกล้เคียงกันคือพบว่ามีลักษณะของการเคลื่อนที่เป็นแบบทิปปิง โดยที่ตัวฟันเคลื่อนที่มาทางด้านไกลกลางและปลายรากเคลื่อนที่มาทางด้านใกล้กลาง แต่ลักษณะของการเกิดทิปปิงเกือบที่จะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่แบบบอดิลี ส่วนลักษณะของการกระจายความเค้น สปริงแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง จะมีลักษณะการกระจายที่มากกว่าสปริงชนิดพีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง

ส่วนสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง ทำการดึงที่ระยะทาง 6 มิลลิเมตร พบว่าจะมีลักษณะของการเคลื่อนที่เป็นแบบทิปปิงเกิดขึ้น โดยตัวฟันจะมีการเคลื่อนมาทางด้านไกลกลาง และที่บริเวณปลายรากฟันพบแรงกดของฟันเขี้ยวเกิดขึ้นมากกว่าสปริงชนิดอื่น แต่ลักษณะการกระจายความเค้นจะมีน้อยที่สุด

อภิปรายผลการวิจัย

โฟโตอีลาสติกเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายถึงรูปแบบการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวในแบบจำลอง โดยมีสารไบรีฟรินเจนท์ทำหน้าที่เสมือนเนื้อเยื่อรองรับฟัน แม้สารดังกล่าวจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับเนื้อเยื่อที่แท้จริงของมนุษย์ แต่สามารถแสดงให้เห็นการกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำที่ตัวฟัน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญของการออกแบบเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน

เนื่องจากยังไม่ปรากฏรายงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงการกระจายความเค้นที่เกิดกับฟันเขี้ยวโดยวิธีโฟโตอีลาสติกชนิดที่เป็นสเปกตรัมสีของแสง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายความเค้นที่บริเวณฟันเขี้ยวได้แก่ Caputo(1974), Baeten(1975),ทัศนีย์ บัณฑราภิวัฒน์(2529) เป็นการศึกษาในลักษณะของภาพขาวดำ ซึ่งรายละเอียดของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าที่เห็นเป็นสเปกตรัมแสง งานวิจัยนี้จึงมีข้อดีกว่างานวิจัยที่ผ่านมาคือสามารถที่จะบอกรายละเอียดของความเค้นได้ดีกว่าเนื่องจากในแต่ละออเดอร์จะมีลักษณะของเถบสีที่ไม่เหมือนกันจึงสามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบในแต่ละตำแหน่งได้ว่าบริเวณไหนมีความเค้นที่มากหรือน้อยกว่ากัน

จากงานวิจัยพบว่าสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ลักษณะของการกระจายความเค้นที่ขนาดของแรงที่เพิ่มมากขึ้น พบว่าจะมีลักษณะของการเกิดการล้มเอียงมากขึ้นในช่วงระยะแรกของการให้แรงที่ไม่เกิน 100 กรัมจะพบว่ามีการเคลื่อนที่ของตัวฟันมาทางด้านไกลกลาง จุดที่มีความเค้นน้อยที่สุดจะอยู่ที่บริเวณปลายรากฟัน แสดงถึงการที่มีการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนของตัวฟันอย่างเดียวหรือมีการเคลื่อนที่ของปลายรากเพียงเล็กน้อย และในช่วงของการให้แรงที่ประมาณ 100-200 กรัมจะพบลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวรากฟันทั้งด้านใกล้กลางและทางด้านไกลกลาง กระจายตัวจากยอดกระดูกเบ้าฟันจนถึงประมาณ 2/3 ของความยาวรากฟันแสดงถึง ว่ามีลักษณะของการเคลื่อนที่แบบทิปปิง แต่ลักษณะของการกระจายความเค้นเกือบที่จะทำให้เกิดเป็นการเคลื่อนที่แบบ บอดิลี เนื่องจากลักษณะของฟรินจ์ที่เกิดขึ้นกระจายไม่ตลอดความยาวของรากฟัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gjessing(1992) ซึ่งกล่าวว่า การใช้สปริง พีจี สปริง ควรที่จะทำการดึงที่ระยะทาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะให้แรง ประมาณ 150 กรัม และจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวแบบบอดิลีได้ และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Dincer,M. และ Iscan,H.N.(1994) ที่กล่าวว่า การเคลื่อนฟันโดยใช้สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี สปริง จะมีการเคลื่อนที่แบบบอดิลีร่วมกับการมีการล้มเอียงเกิดขึ้นด้วย ลักษณะของการกระจายของความเค้นที่สังเกตได้จาก การที่ให้แรงที่มากขึ้นจะพบว่ารูปแบบของการกระจายของความเค้นจะมีการกระจายจากบริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันเคลื่อนที่ลงสู่ด้านปลายรากฟันแต่จะไม่มีการกระจายจากทางด้านปลายรากสู่ด้านบน และที่แรงมากกว่า 200 กรัม จะพบการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางมากขึ้นและพบว่ามีการเคลื่อนที่ของรากฟันมาทางด้านใกล้กลางเกิดขึ้นด้วย

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง จะพบว่าลักษณะของการกระจายความเค้นจะแตกต่างจากสปริงชนิด พีจี สปริง กล่าวคือที่แรงในช่วง น้อยกว่า 100 กรัม พบว่าจะมีลักษณะของการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางและในส่วนรากฟันมาทางด้านใกล้กลาง และจะพบว่าจุดที่มีความเค้นน้อยที่สุดจะอยู่ที่บริเวณ ½ ของรากฟันซึ่งจะแตกต่างกับสปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริงซึ่งอยู่ที่ปลายราก แสดงถึงที่บริเวณ ½ ของรากฟันเป็นเสมือนจุดศูนย์กลางของการหมุน และที่ระดับของแรงในช่วง 100-200 กรัมจะพบการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางมากขึ้นและปลายรากมาทางด้านใกล้กลาง แต่จุดที่มีความเค้นน้อยที่สุดจะเคลื่อนที่มาอยู่ที่บริเวณ 2/3 ของรากฟันและ พบลักษณะของการกระจายของความเค้นที่รอบบริเวณผิวรากฟันเกือบตลอดความยาวรากฟันทางด้านใกล้กลางเกิดขึ้นด้วยแสดงถึงการที่เกิดการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวแบบทิปปิง เกือบที่จะเป็นแบบบอดิลี แต่จะพบลักษณะของการเกิดการทิปปิงมากกว่าและเมื่อให้แรงที่มากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดการล้มเอียงของตัวฟันที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับRicketts(1980) ที่กำหนดให้ทำการดึงสปริงที่ระยะทางประมาณ 2 มิลลิเมตรซึ่งจะได้แรงประมาณ 100-150 กรัม แต่ไม่ควรเกิน 200 กรัมซึ่งจะส่งผลให้เกิดการทิปปิงที่มากขึ้นซึ่งจากงานวิจัยจะพบว่าเมื่อให้แรงที่มากกว่า 200 กรัม ลักษณะของการกระจายความเค้น

จะเกิดความเค้นที่มากขึ้นที่บริเวณยอดกระดูกเบ้าฟันซึ่งแสดงถึงการเกิดการเคลื่อนที่แบบทิปปิงที่มากขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับของ Ricketts

สปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดเบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง พบว่าที่ขนาดของแรงที่น้อยกว่า 100 กรัม จะเกิดลักษณะของการเคลื่อนที่ของรากฟันมาทางด้านไกลกลางส่วนตัวฟันจะเคลื่อนที่มาทางด้านใกล้กลางโดยจุดที่มีความเค้นน้อยที่สุดจะอยู่ที่ประมาณ ½ ของรากฟันแสดงถึงเป็นจุดศูนย์กลางของการหมุนของฟัน และเมื่อมีการให้แรงที่มากขึ้นในช่วง100-200 กรัม จะพบว่ามีการเคลื่อนที่ในส่วนของตัวฟันมาทางด้านไกลกลางที่มากขึ้นโดยจุดศูนย์กลางของการหมุนจะเคลื่อนที่มาอยู่ที่บริเวณปลายรากฟัน เมื่อแรงที่มากกว่า 200 กรัมจะส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่แบบทิปปิงมากขึ้นนอกจากนี้ยังพบแรงกดที่บริเวณปลายรากที่มากกว่าสปริงอีก 2 ชนิดข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับ Burstone(1987) ที่กำหนดให้ทำการดึงที่ระยะทาง 6 มิลลิเมตร จะได้แรงประมาณ 200 กรัมและจะเกิดการเคลื่อนที่แบบทิปปิงและเมื่อขนาดของแรงที่ลดจะเกิดการเคลื่อนที่แบบบอดิลีและการเคลื่อนที่ในส่วนของรากตามมา นอกจากนี้แรงกดที่เกิดขึ้นที่ปลายรากที่เกิดขึ้นจากสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดเบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง จะมีแรงกดที่มากกว่าสปริงอีก 2 ชนิดที่กล่าวมาซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการกระจายของความเค้นที่ได้จากการทดลอง

ถ้าพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะของการกระจายความเค้นของสปริงแต่ละชนิดที่แรงต่างๆกัน พบว่าที่ระดับของแรงที่เท่ากันในสปริงแต่ละชนิดทั้ง 3 ชนิดจะมีรูปแบบการกระจายความเค้นที่ไม่เหมือนกัน โดยที่สปริงชนิดเบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริงจะมีปริมาณของความเค้นที่น้อยที่สุดรองลงมาคือสปริงชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิดรีแทรกชั่น สปริง และ มากที่สุดคือ พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่นสปริง และในทำนองเดียวกันหากพิจารณาถึงขนาดของแรงที่เปลี่ยนไปกับขนาดของความเค้นที่เกิดขึ้นกับสปริง ทั้ง 3 ชนิดพบว่าเมื่อขนาดของแรงที่เพิ่มขึ้นขนาดของความเค้นที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือ เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง, แมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่นสปริงและ พีจียูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ตามลำดับ ทั้งนี้อันเนื่องมาจากการที่สปริงแต่ละชนิดมีรูปร่างที่แตกต่างกัน และสปริงแต่ละชนิดผลิตจากลวดที่ไม่เหมือนกันและมีขนาดที่แตกต่างกัน

ดังนั้นการที่จะนำสปริงแต่ละชนิดมาใช้ในทางคลินิกจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการใช้สปริงแต่ละชนิดเป็นอย่างดี ในกรณีที่ สปริงมีความแข็งมาก เช่น สปริงชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง ถ้าหากมีการดึงที่มีการผิดพลาดเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลต่อขนาดของแรงและโมเมนต์ตามมา นอกจากนี้รูปร่างของฟันเขี้ยว ขนาดและ ตำแหน่งของฟันเขี้ยวก็จะมีผลต่อการกระจายของความเค้นได้เช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการวิจัยพื้นฐานโดยอาศัยหลักการทางโฟโตอีลาสติก และการวิเคราะห์ทางด้าน ไบโอเอนจิเนียริง อะนาไลซิส มาใช้ในการวิจัยทางทันตกรรม ที่เกิดขึ้นกับฟันเขี้ยวเท่านั้น จึงควรที่จะศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณฟันหลังด้วย เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของการกระจายความเค้นในกลุ่มที่เป็นฟันหลักที่เกิดจากการดึงฟันเขี้ยวมาทางด้านไกลกลาง
2. การศึกษานี้เป็นการศึกษาสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดที่เป็นสำเร็จรูปเพียง 3 ชนิด จึงควรที่จะทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดอื่น ทั้งที่เป็นชนิดสำเร็จรูปหรือชนิดที่ทำการดัดเอง โดยอาจเปลี่ยนแปลงขนาดของลวดหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสปริงใหม่
3. การศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดที่ปราศจากแรงเสียดทานเท่านั้น จึงควรที่จะทำการศึกษาถึงระบบอื่นเช่นระบบที่มีแรงเสียดทานโดยทำการหล่อแบบจำลองชนิดที่เป็นการจำลองทั้งขากรรไกร และศึกษาถึงลักษณะของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นกับฟันซี่ต่างๆ
4. ขนาดของแรงต่างๆที่ได้จากการทดลอง ควรใช้เป็นความรู้พื้นฐานเพื่อใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของฟันเขี้ยวในมนุษย์ ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ทัศนีย์ บัณฑราภิวัฒน์ . วิเคราะห์การกระจายความเค้นจากการเคลื่อนฟันเขี้ยวโดยวิธีโฟโตอีลาสติก, วิทยานิพนธ์ของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาทันตแพทยศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2529

รัชดาภรณ์ ศรีมานนท์ . การศึกษาเปรียบเทียบการกระจายของความเค้นจากการกดฟันหน้าล่างด้วยเบอร์สโตน อินทรูซีฟ อาร์ช และ ริกเก็ตส์ ยูทิลิตี อาร์ช, วิทยานิพนธ์ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาทันตแพทยศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2535

ภาษาอังกฤษ

Alexandridis,C. ; Thanos,C.E. ; Caputo,A.A. Distribution of stress patterns in the human zygomatic arch and bone. J. Oral. Rehab.8(1981); 495-505

Baeten, L.R. Canine retraction : Aphotoelastic study. Am . J. Orthod.67(1975):11-23

Boester,C.H.; Johnston,L.E. A clinical investigation of the concepts of differential and optimal force in canine retraction. Angle Orthod.44(1974);113-119

Brodsky, J.F. ; Caputo, A.A. ; Furstman, L.L. Root tipping: A photoelastic-histopathologic correlation. Am. J. Orthod.67(1975):1-10

Burstone, C. J. The segmented arch approach to space closure. Am . J . Orthod. 82(1982):361-378

Burstone, C. J. ; Pryputnewicz, R. J. Holographic derminatiion of centers of rotation produced by orthodontic forces Am . J. Orthod. 77(1980):396-409

Burstone,C. J. ; Koenig, H.A. Optimized anterior and canine retraction. Am . J. Orthod.70(1976):1-19

Burstone,C.J. et al. Modern edgewise mechanics segmented arch technique. United Stated Of America : Ormco;1985

Burstone,C.J. Rational of the segmented arch. Am . J. Orthod.48(1962):805-821

Burstone,C.J.The mechanics of the segmented arch techniques. Angle Orthod. 36(1966);99-120

Caputo, A.A. ;Chaconas,S. J. ;Hayashi, R.K. Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction. Am . J. Orthod. 65(1974):250-259

Caputo,A.A.; Standlee,J.P. Biomechanics in clinical dentistry.United State of America : Quintessence,1987

Carr,W.K. ; Blafer, J.L. Burstone series part 3 segmented arch technique. J. Clin. Orthod.(September 1971):492-509

Chaconas,S.J. ; Caputo,A.A. ; Devis,J.C. The effects of orthopedics forces on the craniofacial complex utilizing cervical and head gear appliance. Am .J. Orthod.69(1976);527-539

Chanonas, S.J. ; Caputo, A.A. ; Hayashi, R.K. Effects of wire size,loop configulation,and gabling on canine-retraction spring. Am . J. Orthod.65(1974):58-66

Dally,J.W. ; Riley,W.F. Experimental stress analysis. United Stated Of America: McGraw-Hill, 1965

De Alba , J.A. ; Chaconas, S. J. ; Caputo,A.A. Stress distribution under high-pull extraoral chin cap traction:A photoelastic study. Angle Orthod. 52(1982):69-78

Dincer,M. ; Iscan,H.N. The effects of different sectional arches in canine retraction. Eur. J.Orthod.16(1994);317-323

Durelli,A.J. ; Riley,.W.F. Introduction to photomechanics.Englewood cliffs N.J. : Prentice- Hall 1965

Eden,J.D. ; Waters,N.E. An investigation into the characteristics of the Pgcanine retraction spring. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.105(1994):49-60

Fortin,J.M. Translation of premolars in dog by controlling the moment-to-force ratio on the crown. Am. J. Orthod.59(1971);541-551

Gjessing, P. A universal retraction spring. J. Clin . Orthod.28(1994):222-242

Gjessing,P. Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine-retraction spring. Am. J. Orthod. 87(1985) ;353-362

Gjessing,P. Controlled retraction of maxillary incisors. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.101 (1992);120-130

Glickman,J. ; Roeber,F.W. ; Brion,M. ; Pameijer,J.H. Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces. J. Periodontal.41(1970);30-34

Hasler,R.; Schmid,G.; Ingervall,B.; Gbauer,U. A clinical comparision of the rate of maxillary retraction into healed and recent extraction sites-a pilot study. Eur J. Orthod.19(1997);711-719

Hayashi,R.K. ; Chaconas,S.J. ; Caputo,A.A. Effects of force direction on supporting bone during tooth movement. J. Am. Dent. Assoc. 90(1975); 1012-1017

Heawood,R.B. Photoelasticity for designer. London : Adlard and son.1969

Hendry,A.W. Elements of expermental stress analysis. United Stated Of America: Pergamon press 1993

Hoenigl,H.D. et al. The centered T-loop-a new way of pre activation. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.108(1995);149-53

Kenney,R. ; Richards,M.W. Photoelastic stress patterns produced by implant-retained overdentures. J. Prost. Dent. 80(1998); 559-564

Kuhlberj,A. J.;Burstone,C. J.T-Loop position and anchorage control. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.112(1997):12-18

Lee. Relationship between tooth-movement rate and estimate pressure applied. J. Dent. Res.1965;1053

Nicolai,R.J. Bioengineering analysis of Orthodontic Mechanics. South Washington Square: Leaand Febiger: 1974

Nicoliai,R.J. On optimum orthodontic force theory as applied to canine retraction. Am. J.Orthod. 68(1975);290-302

Raboud, D.W. ; et al. Three-dimension effect in retraction appliance design. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 112(1997):378-392

Ralph,J.P. ; Caputo,A.A. Analysis of stress patterns in human mandible. J . Dent . Res . 54(1975);814-821

Reitan,K. Some factors determining the evalution of forces in orthodontics. Am. J.Orthod.43(1957)32-45

Ricketts,R.M. ; Bench,R.W. ; Guino,C.F. ; Hilger,J.J. Chulhof,R.J. Bioprogressive therapy. Denver : Rocky Mountain .1980

Shaw,M.M. ; Water,N.E. The characteristics of the Ricketts maxillary canine retractor.Eur.J. Orthod.14 (1992);37-46

Shroff,B. ; Lindauer,S.J. ; Burstone,C.J. ; Leiss,J.B. Segmented approach to simultaneous intrusion and space closure:Biomechanicics of the three-piece base arch appliance. Am . J. Orthod. Dentofac.Orthop.107(1995):136-143

Smith,R. ; Storey,E. The importance of force in orthodontics. Aust. J. Dent. 56(1952);291-304

Srinat,L.S. et al. Two-dimentional photoelasticity,"Experimental stress analysis". Mcrew- Hill, United Stated Of America ; 1993

Stefanac,L. ; Chaconas,S.J. ; Caputo,A.A. Photoelastic evaluation of the standard bionator appliance. J. Oral. Rehab. 20(1993)549-559

Storey,E. The nature of tooth movement. Am. J. Orthod.63(1973);292-314

Storey,R. ; Smith,R. Force in orthodontics and its relation t tooth movement. Aust. J. Dent. 56(1952); 11-18

Tanne,K. ; Koenig,H.A. ; Burstone,C.J. Moment to force ratios and the center of rotation. Am. J.Orthod.Dentofac.Orthop. 94(1988);426-431

Ziegler,P. ; Ingervall,B. A clinical study of maxillary canine retraction with a retraction spring and with sliding mechanics. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.95(1989);99-106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง

แรง (กรัม)	ระยะทางที่เคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)						แรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ ในแนวดิ่ง(กรัม)						โมเมนต์ที่เกิดขึ้น						ค่าเฉลี่ย โมเมนต์/แรง
	A1	A2	A3	A4	A5	ค่าเฉลี่ย	A1	A2	A3	A4	A5	ค่าเฉลี่ย	A1	A2	A3	A4	A5	ค่าเฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	8.00	7.78	8.12	7.95	7.97	7.96	918.8	893.53	932.58	913.05	915.35	894.64	....
25	0.26	0.24	0.29	0.27	0.28	0.26	7.58	7.54	7.61	7.63	7.57	7.58	870.56	865.96	874.00	875.30	391.41	874.24	34.8
50	0.53	0.51	0.54	0.50	0.57	0.53	6.97	6.93	6.99	6.94	7.02	6.97	800.50	795.91	802.80	797.05	806.24	800.50	16.0
75	0.80	0.82	0.85	0.79	0.84	0.82	6.19	6.17	6.21	6.18	6.20	6.19	710.92	708.62	718.21	709.77	712.07	710.91	9.4
100	1.18	1.16	1.19	1.18	1.20	1.18	5.61	5.60	5.64	5.66	5.59	5.62	644.30	643.16	647.75	650.05	638.56	644.76	6.4
125	1.52	1.57	1.50	1.54	1.53	1.53	5.19	5.21	5.24	5.17	5.23	5.20	596.07	621.81	601.81	593.77	600.66	602.82	4.8
150	2.40	2.42	2.41	2.38	2.43	2.40	4.38	4.35	4.41	4.42	4.32	4.37	503.04	499.59	506.48	507.63	496.15	502.57	3.3
175	2.69	2.67	2.71	2.65	2.70	2.68	4.00	4.05	3.98	3.92	4.15	4.02	459.40	465.14	457.10	460.21	476.66	461.70	2.6
200	2.96	2.94	2.99	2.97	2.93	2.95	3.61	3.57	3.63	3.62	3.59	3.60	414.60	410.01	416.90	415.75	412.31	413.91	2.0
225	3.43	3.40	3.45	3.41	3.44	3.42	2.00	2.07	2.09	2.02	2.04	2.03	229.70	237.73	240.03	231.99	234.29	234.74	1.0
250	3.69	3.68	3.71	3.65	3.67	3.68	1.53	1.49	1.54	1.55	1.50	1.52	175.72	171.21	176.68	178.01	172.27	174.76	0.6
275	4.01	4.05	4.04	3.98	4.02	4.02	1.00	1.05	1.02	1.02	1.03	1.02	114.85	120.59	117.14	117.14	117.14	117.37	0.4
300	4.41	4.43	4.38	4.40	4.45	4.41	0.75	0.72	0.73	0.79	0.76	0.75	86.13	82.69	83.84	90.73	87.28	86.14	0.2

ภาคผนวก ก

การทดสอบคุณสมบัติของเครื่องมือเคลื่อนฟันเขี้ยวชนิดต่างๆ

คุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด พีจี ยูนิเวอร์ซัล รีแทรกชั่น สปริง

ตารางที่ 9. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน คัสปิดรีแทรกชั่น สปริง

แรง (กรัม)	ระยะทางที่เคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)						แรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ ในแนวดิ่ง(กรัม)						โมเมนต์ที่เกิดขึ้น						ค่าเฉลี่ย โมเมนต์/แรง
	B1	B2	B3	B4	B5	ค่าเฉลี่ย	B1	B2	B3	B4	B5	ค่าเฉลี่ย	B1	B2	B3	B4	B5	ค่าเฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	21.14	21.39	21.41	21.43	21.38	21.41	2458.95	2456.64	2465.82	2461.25	2499.49	2459.62	-------
25	0.15	0.17	0.14	0.15	0.16	0.15	20.42	20.47	20.36	20.44	20.43	20.42	2345.23	2350.97	2338.24	2347.53	2346.38	2345.69	93.8
50	0.49	0.37	0.50	0.63	0.42	0.48	19.58	19.52	19.59	19.45	19.54	19.54	2248.76	2241.87	2249.91	2236.12	2244.16	2244.16	44.8
75	0.86	0.81	0.79	0.91	0.84	0.84	18.58	18.52	18.49	18.54	18.57	18.54	2133.91	2127.02	2123.57	2129.31	2132.76	2129.31	28.3
100	1.12	1.09	1.23	1.17	1.34	1.19	17.79	17.74	17.76	17.91	17.72	17.76	2023.18	2037.43	2039.73	2056.96	2035.14	2042.48	20.4
125	1.73	1.84	1.62	1.75	1.77	1.74	16.79	16.73	16.82	16.71	16.75	16.76	1928.33	1921.44	1931.44	1919.14	1923.73	1924.81	15.3
150	2.27	2.34	2.23	2.26	2.31	2.28	16.20	16.19	16.23	16.24	16.21	16.21	1860.27	1859.42	1860.01	1865.16	1861.71	1861.37	12.4
175	2.56	2.49	2.57	2.63	2.51	2.55	15.41	15.39	15.43	15.41	15.47	15.42	1769.83	1767.54	1772.13	1770.98	1766.72	1771.44	10.1
200	2.86	2.79	2.82	2.90	2.87	2.84	14.79	14.81	14.73	14.76	14.78	14.77	1698.63	1700.92	1691.74	1695.18	1697.48	1696.79	8.4
225	3.27	3.20	3.21	3.34	3.25	3.25	14.20	14.23	14.17	14.19	14.21	14.20	1630.87	1634.31	1627.42	1629.72	1632.01	1630.86	7.2
250	3.75	3.71	3.79	3.64	3.79	3.73	13.00	13.14	13.11	13.09	13.07	13.08	1493.05	1509.12	1505.68	1503.38	1501.08	1502.46	6.0
275	4.35	4.32	4.39	4.31	4.37	4.34	12.58	12.57	12.59	12.54	12.60	12.57	1444.81	1443.61	1449.96	1440.21	1447.11	1445.15	5.2
300	4.81	4.85	4.76	4.84	4.83	4.81	12.00	12.05	12.02	11.89	12.14	12.02	1378.20	1383.94	1365.56	1380.49	1394.27	1380.49	4.6

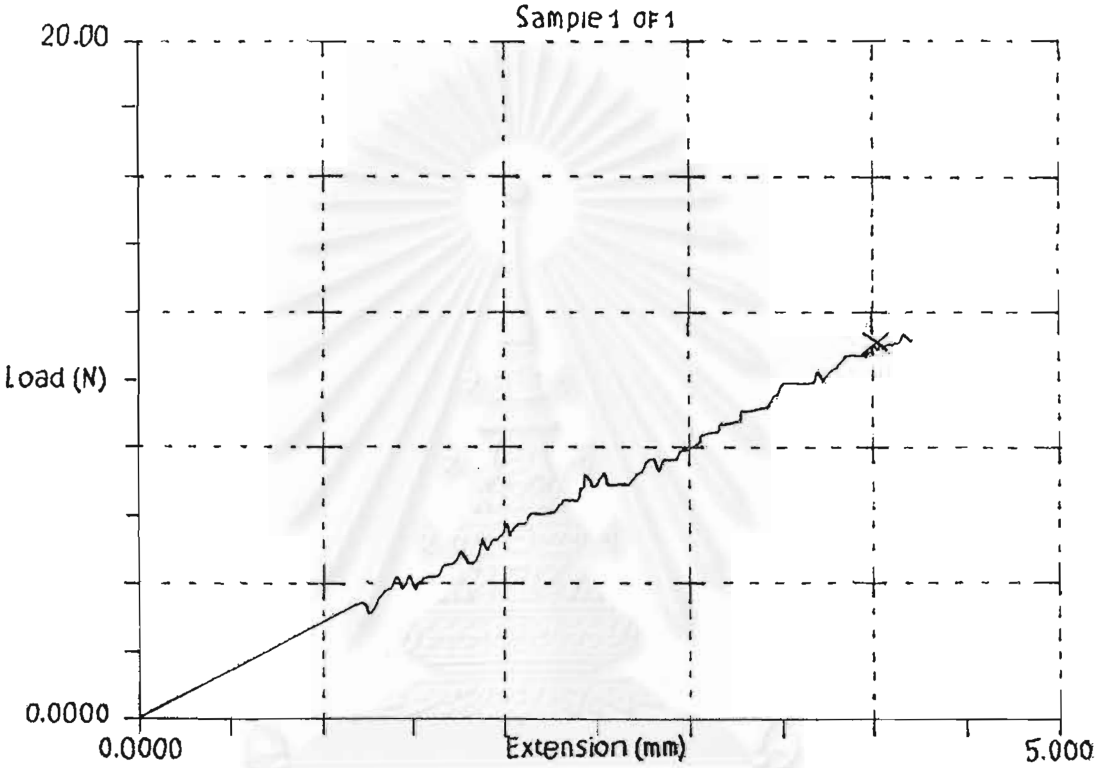
ตารางที่ 8. แสดงการทดสอบคุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิดแมนดิบูลาร์ คัสปิด รีแทรกชั่น สปริง

แรง (กรัม)	ระยะทางที่เคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)						แรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์ ในแนวดิ่ง(กรัม)						โมเมนต์ที่เกิดขึ้น						ค่าเฉลี่ย โมเมนต์/แรง
	C1	C2	C3	C4	C5	ค่าเฉลี่ย	C1	C2	C3	C4	C5	ค่าเฉลี่ย	C1	C2	C3	C4	C5	ค่าเฉลี่ย	
0	0	0	0	0	0	0	2.00	2.05	2.02	1.97	1.85	1.97	229.70	231.99	231.97	226.65	212.47	226 47	------
25	0.61	0.59	0.63	0.62	0.60	0.61	2.82	2.74	2.83	2.80	2.84	2.80	323.87	314.68	325.02	321.58	326.173	322 26	12.8
50	1.30	1.28	1.35	1.32	1.29	1.30	3.80	3.81	3.78	3.76	3.83	3.79	436.43	437.57	434.13	431.43	439.87	439 97	8.7
75	2.26	2.20	2.28	2.22	2.27	2.24	4.61	4.58	4.63	4.60	4.59	4.60	529.46	526.01	531.75	528.31	527.16	528 53	7.0
100	3.47	3.44	3.49	3.41	3.50	3.46	5.62	5.64	5.57	5.61	5.81	5.65	646.45	647.75	639.71	647.75	667.27	649 58	6.4
125	4.30	4.28	4.32	4.37	4.26	4.30	6.80	6.83	6.81	6.79	6.82	6.81	780.98	784.72	782.12	779.93	783.27	782 12	6.2
150	4.92	4.94	4.97	4.85	4.89	4.91	7.58	7.59	7.60	7.54	7.53	7.56	870.50	871.71	872.86	865.96	864.82	869 17	5.7
175	6.00	6.02	6.07	5.97	6.01	6.01	8.18	8.20	8.15	8.14	8.23	8.18	939.47	941.77	936.02	934.87	945.21	939.46	5.3
200	6.83	6.82	6.85	6.80	6.84	6.82	9.79	8.74	8.81	8.76	8.75	8.77	1009.53	1003.78	1011.82	1004.93	1007.23	1007.45	5.0
225	7.83	7.81	7.85	7.80	7.87	7.83	9.79	9.74	9.80	9.83	9.74	9.78	1124.38	1118 63	1125.53	1128.97	1118.63	1123.22	4.9
250	8.76	8.74	8.72	8.77	8.73	8.74	10.58	10.52	10 61	10.57	10.59	10.57	1215.11	1208 22	1218.55	1213.96	1216.26	1214.42	4.8
275	9.84	9.80	9.83	9.87	9.83	9.83	11.37	11.32	11.39	11.41	11.35	11.36	1305.84	1300 10	1308.14	1310.43	1303.54	1305.65	4.7
300	10.92	10.94	10.90	10.91	10.93	10.92	12.20	12.23	12.18	12.21	12.19	12.20	1401.17	1404 61	1398.87	1402.31	1400.02	1401.43	4.6

คุณสมบัติของสปริงดึงฟันเขี้ยวชนิด เบอร์สโตน รีแทรกชั่น สปริง

ภาคผนวก ข

ทำการทดสอบคุณสมบัติของสารที่หล่อที่ใช้ในการทดลอง โดยทำการทดลองแบบจำลองก่อนที่จะทำการวิจัย และทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งหลังจากที่ทำการทดลองไปแล้ว

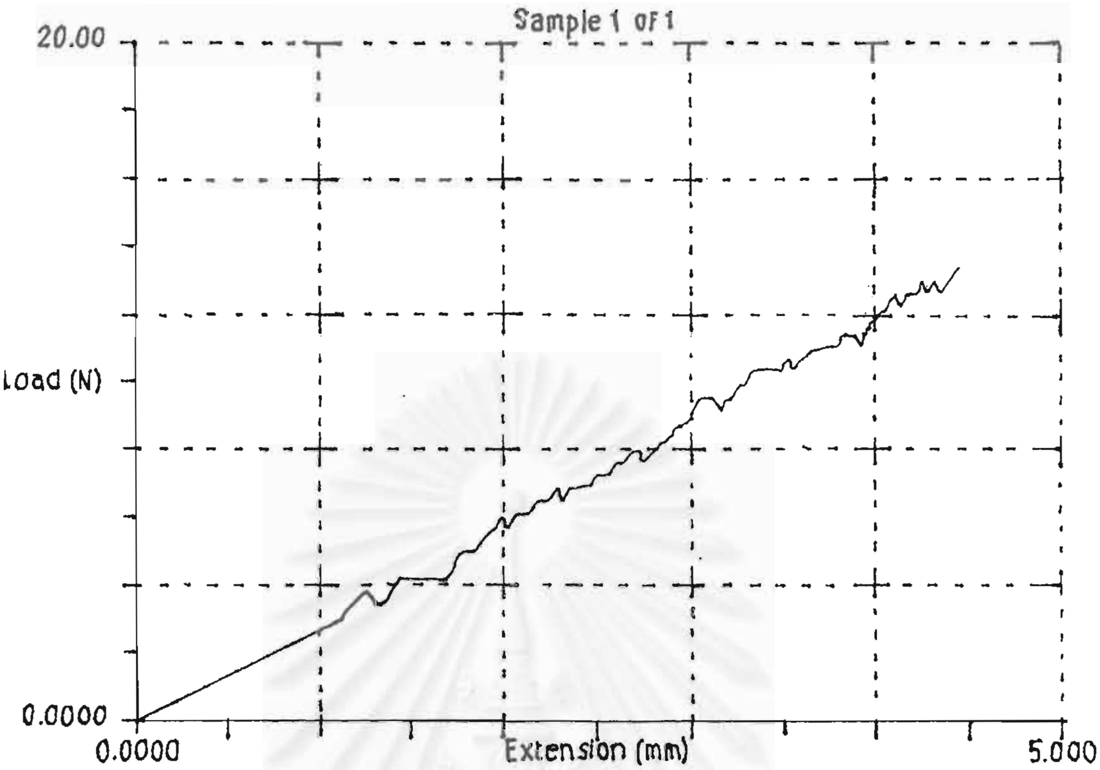


WORK DONE (N.mm)	ELASTIC SLOPE (N/mm)	YIELD STRESS (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	ELONGATION (%)
0.0000	4.251	0.1113	0.1189	0.0000

MAX LOAD (N)	LOAD AT BREAK (N)	POSTTEST BREAK (N)
11.89	0.0000	0.0000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 38. กราฟแสดงค่า เอฟ แวลยู ของแบบจำลอง ก่อนที่ทำการทดลอง



WORK DONE (N.mm)	ELASTIC SLOPE (N/mm)	YIELD STRESS (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	ELONGATION (%)
0.0000	4.249	0.1187	0.1340	0.0000

MAX LOAD (N)	LOAD AT BREAK (N)	POST TEST BREAK (N)
13.40	0.0000	0.0000

รูปที่ 39. กราฟแสดงค่า เอฟ แวลยู ของแบบจำลอง หลังที่ทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายบัญชา สำรวจเบญจกุล เกิดเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2513 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2538 เข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 4 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 1 ปี จึงเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย