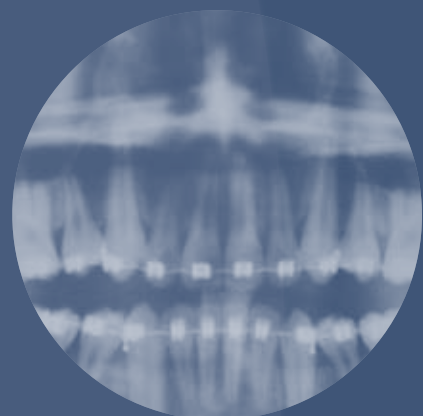
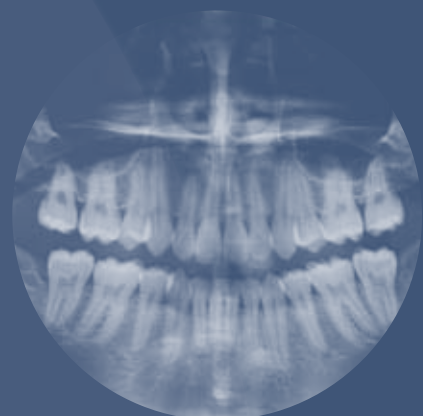


The Online Journal of Thai Association of Orthodontists

VOLUME 7 No 1

2017

2017





วิทยาสารออนไลน์สมาคมทันตแพทย์จัดฟันแห่งประเทศไทย The Online Journal of Thai Association of Orthodontists

ว ออนไลน์ ทันต จัดฟัน ปีที่ 7 ฉ.1 2560 OJ Thai Assoc Orthod Vol 7 No 1 2017

สารบัญ

รายงานผู้ป่วย

การผ่าตัดกระดูกที่ช่วยกับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน
ในผู้ป่วยที่มีลักษณะฟันยื่นในขากรรไกรบนและล่าง

วารณี ลินลาวรรณ

บัญชา สำรวเบญจกุล

CONTENTS

Case Report

Corticotomy-facilitated anterior teeth retraction in
bimaxillary protrusion patients

Waranee Linlawan

Bancha Samruajbenjakun

บทความปริทัศน์

การดึงยางแบบที่ III: แบบดั้งเดิม และการประยุกต์ใช้

สุทิwa เบญจกุล

อุดม ทองอุดมพร

Review Article

20 Class III elastic traction: classical and modified
design

Sutiwa Benjakul

Udom Thongudomporn

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลในเซลล์เอ็นยึดปริทันต์

สุทิwa เบญจกุล

สุวรรณา จิตภักดีบดินทร์

ชิดชนก ลีธนะกุล

29 Mechanotransduction pathways in periodontal
ligament cells

Sutiwa Benjakul

Suwanna Jitpukdeebodintra

Chidchanok Leethanakul



วิทยาลัยออนไลน์สมาคมทันตแพทย์จัดฟันแห่งประเทศไทย The Online Journal of Thai Association of Orthodontists

www.thaiortho.org/journal

Advisory Board:

Chuckpaiwong Somsak, Prof. Emeritus Dr.
 Godfrey Keith, Assoc. Prof.
 Satravaha Somchai, Clinical Assoc. Prof. Dr.
 Thongprasom Kobkan, Prof. Dr.

Editor:

Bancha Samruajbenjakul, Asst. Prof. Dr.

Editorial Board:

Anuwongnukroh Niwat, Assoc. Prof. Dr.
 Apivatanagul Piyarat, Assoc. Prof. Dr.
 Chaiwat Jiraporn, Clinical Prof. Dr.
 Chaiwat Paisal, Prof. Emeritus Dr.
 Chaiworawitkul Marasri, Asst. Prof. Dr.
 Charoemratrote Chairat, Assoc. Prof. Dr.
 Charoenying Hataichanok, Dr.
 Chiewcharat Porntip, Assoc. Prof. Dr.
 Chittanandha Piyathida, Dr.
 Jaruprakorn Tanan, Dr.
 Jotikasthira Dhirawat, Prof. Dr.
 Keinprasit Chutimaporn, Asst. Prof. Dr.
 Leethanakul Chidchanok, Assoc. Prof. Dr.
 Luppapanornlarp Suwanee, Assoc. Prof. Dr.
 Patanaporn Virush, Assoc. Prof. Dr.
 Pisek Poonsak, Dr.
 Poontaweekiat Thachpan, Dr.
 Ritthagol Wipapun, Asst. Prof. Dr.
 Ruangrat Komolpis, Dr.
 Sawaengkit Pornrachanee, Assoc. Prof. Dr.
 Sombuntham Nonglak, Asst. Prof. Dr.
 Srivicharnkul Pennapa, Dr.
 Verayangkura Porntip, Asst. Prof. Dr.
 Virarat Pongjai, Dr.
 Viwattanatipa Nita, Assoc. Prof. Dr.

ที่ปรึกษา:

ศ.เกียรติคุณ ทพ.สมศักดิ์ จักรไพวงศ์
 Godfrey Keith, Assoc. Prof.
 รศ.(พิเศษ) ทพญ.สมใจ สาตราวาหะ
 ศ.ทพญ.กอบกาญจน์ ทองประสม

สราณียกร:

ผศ.ทพ.ดร.บัญชา ตำรวจเบญจกุล

กองบรรณาธิการ:

รศ.ทพ.นิวัต อนุวงศ์นคราห์
 รศ.ทพญ.ปิยรัตน์ อภิวัฒนกุล
 ศ.(คลินิก) ทพญ.จิราภรณ์ ชัยวัฒน์
 ศ.คลินิกเกียรติคุณ ทพ.ไพศาล ชัยวัฒน์
 ผศ.ทพญ.มารศรี ชัยวรวิทย์กุล
 รศ.ทพ.ดร.ไพรัตน์ เฉลิมรัตนโรจน์
 ทพญ.หทัยชนก เจริญยิ่ง
 รศ.ทพญ.พรทิพย์ ชิวรัตน์
 ทพญ.ปิยะธิดา จิตตานันท์
 ทพ.ชานัน จารุประกร
 ศ.ทพ.ธีระวัฒน์ โชติกเสถียร
 ผศ.ทพญ.ชุติมาพร เขียนประสิทธิ์
 รศ.ทพญ.ดร.ชิดชนก ถิ่นทะกุล
 รศ.ทพญ.ดร.สุวรรณี ลักษณะพลาภ
 รศ.ทพ.วิรัช พัฒนภรณ์
 ทพ.พูนศักดิ์ ภิเศก
 ทพ.รัชพันธุ์ พูลทวีเกียรติ
 ผศ.ทพญ.วิภาพรรณ อุทธิถกุล
 ทพญ.เรืองรัตน์ โกมลภิส
 รศ.ทพญ.พรรัตน์ แสงวงกิจ
 ผศ.ทพญ.นงลักษณ์ สมบุญธรรม
 ทพญ.เพ็ญภา ศรีวิชาญกุล
 ผศ.ทพญ.พรทิพย์ วีระยงกูร
 ทพญ.ปองใจ วิรัตน์
 รศ.ทพญ.นิตา วิวัฒน์ทีปะ

การผ่าตัดกระดูกที่เกี่ยวกับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ในผู้ป่วยที่มีลักษณะฟันยื่นในขากรรไกรบนและล่าง

วารณี ลินลาวรรณ* บัญชา สำรวบุญกุล**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ : เพื่อแสดงผลทางทันตกรรมจัดฟันในผู้ป่วยที่มีลักษณะฟันยื่นในขากรรไกรบนและล่าง ร่วมกับการผ่าตัดกระดูกที่

แผนการรักษา : จัดฟันโดยการถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 ทั้ง 4 ซี่ เพื่อแก้ไขฟันที่ยื่นและซ้อนเก แต่เนื่องจากผู้ป่วยรายนี้มีแนวกระดูกประสาทรากที่ค่อนข้างบาง หากเลือกการรักษาจัดฟันเพียงอย่างเดียว อาจจะทำให้กระดูกหักได้ จึงได้ทำการเสนอแผนการรักษาที่เหมาะสม ผู้ป่วยได้ทราบข้อมูล เข้าใจและยอมรับ ในแผนการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัดกระดูกที่ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นการผ่าตัดเล็กไม่ต้องดมยาสลบ จึงมีความเสี่ยงต่อผู้ป่วยน้อยกว่า และมีค่าใช้จ่ายในการรักษาที่ต่ำกว่าการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัด

ผลการรักษา : สามารถแก้ฟันยื่นและซ้อนเกได้เป็นที่พึงพอใจของผู้ป่วย ริมฝีปากบนและล่างยุบลงลักษณะใบหน้าด้านข้างดูดีขึ้น ริมฝีปากปิดสนิทขณะพัก

สรุป : รายงานผู้ป่วยนี้แสดงผลการจัดฟันร่วมกับการผ่าตัดกระดูกที่ในผู้ป่วยที่มีลักษณะฟันยื่นในขากรรไกรบนและล่าง เนื่องจากผู้ป่วยมีแนวกระดูกประสาทรากที่บาง ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางกายวิภาคส่งผลต่อการเคลื่อนฟัน ดังนั้น การรักษาวิธีนี้ จึงเป็นทางเลือกให้ผู้ป่วยอีกทาง เพื่อแก้ไขลักษณะฟันยื่นและความอึดอัดของริมฝีปาก

* ทบ.วทม. วุฒิบัตรสาขาทันตกรรมจัดฟัน โรงพยาบาลสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์: ภาควิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* DDS. MSc. Thai board in Orthodontics: Samutsakorn Hospital.

** DDS. MSc. Ph.D. Thai board in Orthodontics Assistant professor: Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry Prince of Songkla University.

Case report: Corticotomy-facilitated anterior teeth retraction in bimaxillary protrusion patients

Waranee Linlawan* Bancha Samruajbenjakun**

Abstract

Objective: To describe a corticotomy-facilitated en-masse retraction of anterior teeth in anatomical limited bimaxillary protrusion patient.

Treatment plan: Four first premolars extraction to reduce anterior teeth and lip protrusion. After leveled and aligned until completed on 0.016" X 0.022" stainless steel wire, the patient was treated with corticotomy and bone graft. Two weeks later, retracted canines and anterior teeth with T-loop until the space were closed.

Result: The anterior retraction beyond anatomical limit, upper and lower anterior teeth normal inclination and position. The facial profile was improved. Lips became competent at rest position.

Conclusion: This case report showed the outcome of corticotomy-facilitated orthodontic treatment in a patient who refused orthognathic surgery. A careful plan and the other choice that awareness of possible side effects in every step of treatment is essential to obtain maximum intercuspation for function, stability and esthetic under the limitation of skeletal structure.

รายงานผู้ป่วย (Case Report)

ผู้ป่วยเพศชายไทย อายุ 22 ปี น้ำหนัก 68 กิโลกรัม ส่วนสูง 175 เซนติเมตร มาพบทันตแพทย์จัดฟันด้วยสาเหตุที่มีความรู้สึกว่าฟันหน้ายื่น ริมฝีปากอูมนูน สุขภาพโดยทั่วไปแข็งแรง และไม่มีโรคประจำตัว ปฏิเสธประวัติการได้รับอุบัติเหตุ เคยรับการรักษาทางด้านทันตกรรมโดยการอุดฟัน ซุดหินปูนและถอนฟัน มีทัศนคติที่ดีในการดูแลสุขภาพช่องปากของตนเอง นอกจากนี้ไม่มีปัญหาในเรื่องของการออกเสียง

จากการตรวจภายนอกช่องปากพบว่า ผู้ป่วยมีลักษณะใบหน้าเป็นแบบปกติที่มีความสมมาตร (symmetrical mesocephalic face) โดยมีลักษณะใบหน้าด้านข้างเป็นแบบนูน (convex profile) ริมฝีปากปิดไม่สนิทเมื่ออยู่ในสภาวะพัก (incompetent lips at rest position) ให้ประวัติว่ามารดามีลักษณะฟันยื่น

จากการตรวจภายในช่องปากพบว่า ลักษณะของเนื้อเยื่อในช่องปาก การเกาะของเนื้อเยื่อและขนาดของลิ้นปกติ มีอาการอักเสบของเหงือกเล็กน้อย การขึ้นของฟันมีพัฒนาการอยู่ในชุดฟันแท้ ฟันหน้าบนและล่างยื่น (upper and lower incisal proclination and protrusion) ฟันล่างซ้อนเก (lower anterior teeth moderate crowding) การสบฟันเป็นการสบฟันที่ผิดปกติประเภทที่ 2 ไม่พบว่ามี การเบี่ยงเบนของขากรรไกรในขณะสบฟัน (no functional shift) และไม่เคยมีอุปนิสัยที่ผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟันยื่น เช่น การกัดริมฝีปาก การดูดนิ้ว เป็นต้น นอกจากนี้ผู้ป่วยไม่เคยมีอาการหรืออาการแสดงของความผิดปกติของข้อต่อขากรรไกร รวมทั้งภาวะการกลืนและการหายใจมีลักษณะปกติ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ภาพถ่ายผู้ป่วยภายนอกและภายในช่องปากก่อนการรักษา

การวิเคราะห์แบบจำลองฟัน (Model analysis)

Frontal view

- Overbite = 2.0 mm.
- Upper dental midline was on facial midline.
- Lower dental midline deviated to the left 0.5 mm.

Occlusal view

- | | |
|-----------------|---|
| Maxillary arch | <ul style="list-style-type: none"> - Square shaped arch form - Right posterior teeth mild crowding - Canines and molars were sagittally symmetry |
| Mandibular arch | <ul style="list-style-type: none"> - Square shaped arch form - Anterior teeth moderate crowding - Canines were sagittally symmetry - Right molar was anterior to left molar 1 mm. |

Lateral view

- | | |
|------------------------|--|
| Angle's classification | <p>Right: Class II molar relationship (1 mm.)
Class II canine relationship (2 mm.)</p> <p>Left: Class II molar relationship (2 mm.)
Class II canine relationship (2 mm.)</p> |
|------------------------|--|
- Overjet = 4.0 mm
 - Curve of Spee = 3.0 mm.

Arch perimeter

- Upper : intercanine width = 37.0 mm.
intermolar width (central groove) = 50.0 mm.
- Lower : intercanine width = 30 mm.
intermolar width (distobuccal cusp) = 50.5 mm.

Tooth measurement

17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27
9.5	11	7.5	8	9	7.5	9	9	7.5	9	8	7.5	10	10
11	11.5	8	8	7	6.5	6	6	6.5	7.5	8	8.5	11.5	11
47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37

Space analysis

Type	Space lack / excess	
	Upper	Lower
Front	0	-2
Left	0	-1
Right	-0.5	0
Sum	-0.5	-3

Bolton's analysis

Anterior ratio (normal: 77.2 ± 1.65 %) = 77.45 %

Conclusion: ฟันหน้าทั้งหมด มีขนาดเป็นสัดส่วนปกติ

Overall ratio (normal; 91.3 ± 1.91 %) = 92.23 %

Conclusion: ฟันทั้งหมด มีขนาดเป็นสัดส่วนปกติ

การวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสี (Radiographic analysis)

1. ภาพรังสีพานอรามิก (Panoramic radiograph)

- Permanent dentition stage
- 38, 48 impacted teeth
- Nasal septum is normal.
- Maxillary sinus presented pneumatization
- Normal bone density and trabeculation
- Normal morphology and symmetry of mandibular condyles
- No visible pathology

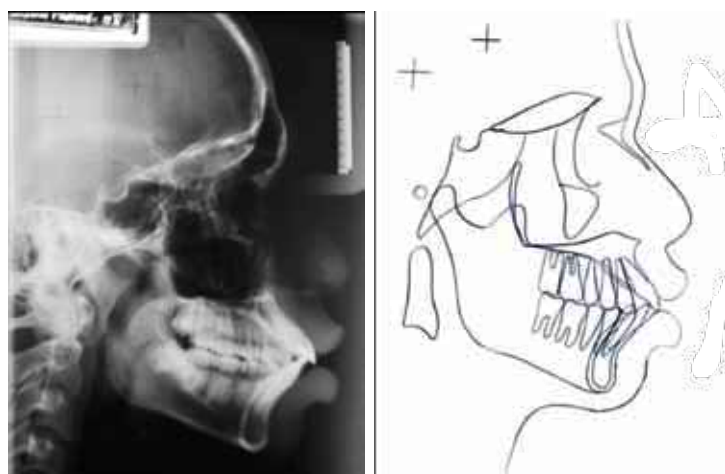


รูปที่ 2 ภาพรังสีพานอรามิกก่อนการรักษา

2. ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างและการวิเคราะห์ (Lateral cephalogram and analysis, ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์แปลผลภาพถ่ายรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้าง

Area		Measurement	Norm Mean $\pm$ SD	Pretreatment 16 ก.พ. 53	Interpretation
Skeletal	Maxilla to Cranial base	SNA (degree) A-Nperp (mm)	84 $\pm$ 4 5 $\pm$ 4	86 4	Orthognathic maxilla Orthognathic maxilla
	Mandible to Cranial base	SNB (degree) Pg- Nperp (mm)	81 $\pm$ 4 0 $\pm$ 6	80 -4.5	Orthognathic mandible Orthognathic mandible
	Maxillo- Mandibular	ANB (degree) Wits (mm)	3 $\pm$ 2 -3 $\pm$ 2	6 -1.5	Skeletal Class II Skeletal Class I
	Skeletal configuration	FMA (degree) SN-GoMe (degree) NS-Gn (degree) Occl-SN (degree)	23 $\pm$ 5 29 $\pm$ 6 68 $\pm$ 3 16 $\pm$ 5	22 30 67.5 19.5	Normodivergent pattern
Dental	Maxillary dentition	$\perp$ to NA (degree) $\perp$ to NA (mm) UIPP (degree)	22 $\pm$ 6 5 $\pm$ 2 119 $\pm$ 5	31.5 9.5 123	Proclined UI Protruded UI Normally inclined UI
	Mandibular dentition	$\bar{I}$ to NA (degree) $\bar{I}$ to NA (mm) LIMP (degree)	30 $\pm$ 6 7 $\pm$ 2 99 $\pm$ 5	39.5 14 110	Proclined LI Protruded LI Proclined LI
	Maxillo- Mandibular	$\perp$ to $\bar{I}$ (degree)	125 $\pm$ 8	105	Acute interincisal angle
Soft tissue	Soft tissue	U lip-E plane (mm) L lip-E plane (mm) NLA (degree) H-angle (degree)	-1 $\pm$ 2 2 $\pm$ 2 91 $\pm$ 8 14 $\pm$ 4	6 11 96 23	Protruded upper lip Protruded lower lip Normal NLA Protruded upper lip



รูปที่ 3 ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างและลายเส้นก่อนการรักษา

การวินิจฉัย (Diagnosis)

1. Skeletal โครงสร้างกระดูก

- Class I
- Bimaxillary orthognathism
- Normal bite configuration

2. Dental ฟัน

- Upper and lower incisal proclination and protrusion
- Right / Left: class II canine and class II molar relationships
- Mild upper and moderate lower arch crowding
- Overbite 2.0 mm, Overjet 4.0 mm, Curve of Spee 3.0 mm.
- Lower dental midline deviated to the left 0.5 mm.

3. Facial ใบหน้า

- Symmetrical mesocephalic face
- Convex facial profile
- Upper and lower lips protrusion
- Normal NLA
- Chin retrusion

4. Intraoral soft tissue เนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก

- Mild gingivitis with normal mucosa
- Normal frenum attachment and normal tongue size

5. Functional problems and abnormal habits
ปัญหาการทำหน้าที่ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการบดเคี้ยว
และนิสัยที่ผิดปกติ

- Within normal limit, no functional shift
- No hyperactivity of mentalis muscle

6. Other อื่นๆ

วัตถุประสงค์ของการรักษา (Objective of treatment)

1. ฟัน

Problem lists	Treatment objectives	Achieved by
<u>Maxilla</u> - Proclined and protruded upper incisors - Mild crowing	- To obtain normal upper incisal position - To obtain normal alignment	- Extraction of 14, 24 and retraction of upper incisors - Leveling and aligning
<u>Mandible</u> - Proclined and protruded lower incisors - Moderate crowing	- To obtain normal lower incisal inclination and position - To obtain normal alignment	- Extraction of 34, 44 and retraction of lower incisors - Leveling and aligning
<u>Intermaxillary Anteroposterior</u> - Class II canines and molars relationship - Overjet 4 mm.	- To obtain Class I canines and molars relationship - To obtain normal overjet	- Use extraction space for distalized canines and mesialized molars - Retraction of upper and lower incisors
<u>Transverse</u> - lower dental midline shifts to the left 0.5 mm.	- To obtain center midline	- Shifting lower dental midline to the right 0.5 mm.
<u>Vertical</u> - Curve of spee 3 mm.	- To obtain flat curve of spee	- Intrusion of lower incisors

2. ใบหน้า

Problem lists	Treatment objectives	Achieved by
- Convex facial profile	- To improve soft tissue facial profile	- Retraction of upper incisors
- Protruded upper and lower lips	- To obtain normal position of upper and lower lips	- Retraction of upper and lower incisors

3. โครงสร้างกระดูก

Problem lists	Treatment objectives	Achieved by
Skeletal Class I with Bimaxillary orthognathism	- To maintain class I skeletal relationship	---

แผนการรักษา (Treatment planning)

แผนการรักษาที่ 1	Extraction treatment (1 st premolars and maximum anchorage)
แผนการรักษาที่ 2	Orthognathic surgery combined with orthodontic treatment: upper and lower anterior segmental osteotomy
แผนการรักษาที่ 3	Extraction treatment (1 st premolars and maximum anchorage) with corticotomy (14-24 and 34-44)
Treatment of choice:	Extraction treatment (1 st premolars and maximum anchorage) with corticotomy (14-24 and 34-44)

เนื่องจากผู้ป่วยมีลักษณะของฟันหน้าทั้งบนและล่างที่มีการยื่นและมีความเอียงมาก การเลือกถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าการถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 2 เพราะตำแหน่งที่ถอนอยู่ใกล้กับบริเวณที่ต้องการใช้พื้นที่ในการแก้ไขการซ้อนเกและลดการยื่นของฟัน เนื่องจากผู้ป่วยรายนี้ฟันหน้ามีการยื่นและเอียงมาก ดังนั้นช่องว่างที่ได้จากการถอนฟันทั้งหมดจะถูกใช้ในการแก้ไขลักษณะฟันหน้าดังกล่าว แผนการรักษาต้องการให้เป็นหลักยึดระดับสูง (maximum anchorage) แต่เนื่องจากผู้ป่วยรายนี้มีแนวกระดูกประสาณ (symphysis) ที่ค่อนข้างบาง กล่าวคือ ระยะระหว่างปลายรากฟันไปถึงด้านใน (inner surface) ของกระดูกทึบ (compact bone) น้อยกว่าระยะที่ต้องการดึงฟัน ดังนั้นหากเลือกการรักษาโดยการจัดฟันเพียงอย่างเดียว อาจจะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน ได้แก่ เหงือกกร่น¹ รากฟันละลาย¹⁻⁴ กระดูกเบ้าฟันละลาย¹⁻⁴ ได้ ดังนั้นเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะแทรกซ้อนดังกล่าว แผนการรักษาที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยคือ การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัดกระดูกขากรรไกร (upper and lower anterior segmental

osteotomy) ได้เสนอแผนการรักษาแก่ผู้ป่วย ผู้ป่วยพิจารณาแล้วปฏิเสธแผนการรักษาที่มีการผ่าตัดกระดูกขากรรไกรร่วมด้วย จึงได้ทำการเสนอแผนการรักษาที่ 3 แก่ผู้ป่วย คือ การผ่าตัดกระดูกทึบร่วมกับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ร่วมกับการถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 ทั้ง 4 ซี่ ซึ่งวิธีนี้จะมีการใส่การปลูกถ่ายกระดูก (bone graft) บริเวณฟันหน้าบนและล่าง ทั้งทางด้านริมฝีปาก (labial) และด้านลิ้น (lingual) เพื่อเพิ่มปริมาณของกระดูกเบ้าฟัน (alveolar bone) และจากการศึกษาพบว่า หลังจากรักษาด้วยวิธีการนี้สามารถซ่อม (repair) ในส่วนของช่องโหว่ของกระดูกเบ้าฟันส่วนทึบ (alveolar cortical bone fenestrations) และรอยเปิดแยก (dehiscences) ได้ ซึ่งช่วยให้สามารถเคลื่อนฟันได้เกินกว่าข้อจำกัดทางกายวิภาค (anatomical limit) ซึ่งในกรณีนี้คือ แนวกระดูกประสาณที่บางได้อย่างปลอดภัย นอกจากนี้กระบวนการผ่าตัดเป็นการผ่าตัดเล็ก ไม่ต้องดมยาสลบ จึงมีความเสี่ยงต่อผู้ป่วยน้อยกว่าและมีค่าใช้จ่ายในการรักษาที่ต่ำกว่าการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัด ซึ่งผู้ป่วยได้ตัดสินใจเลือกแผนการรักษานี้

Treatment plan for space discrepancy

	R	L			
Crowding (Lower)	-1.5	-1.5			
Curve of Spee	-1.5	-1.5			
Midline	-0.5	+0.5			
Profile	-3.5	-3.5			
Space necessary	-7	-6			
Space available	8	8			
Movement of lower molars	1	2	Anchorage	R	L
Molar relationship	1	2		Max.	Mod.
Movement of upper molars	0	0	Anchorage	Max.	Max.

Introductory treatment : Oral hygiene instruction and scaling full mouth

Extraction : 14, 24, 34, 44

Anchorage situation

Upper arch: Maximum

Lower arch: Maximum

Mechanotherapy

Overbite = 2

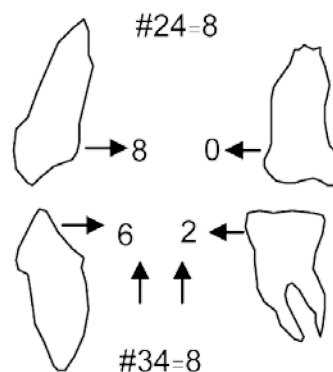
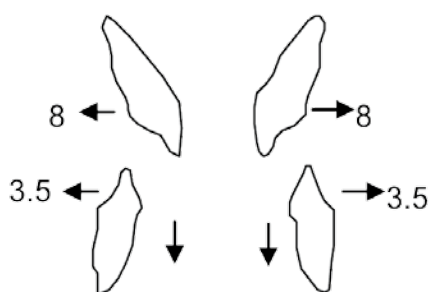
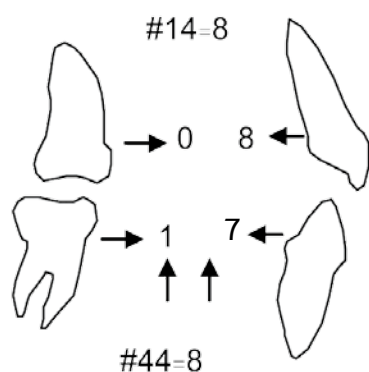
Overjet = 4

Class II (1)

Class II (2)

Class II (2)

Class II (2)



After

Molar I

Canine I

Overjet = 2

Overbite = 2

Canine I

Molar I

1. Direct bond: 17, 16, 15, 13, 12, 11, 21, 22, 23, 25, 26, 27
37, 36, 35, 33, 32, 31, 41, 42, 43, 45, 46, 47

2. Leveling phase

U/L : 0.014", 0.016", 0.016"x0.022" NiTi and 0.016"x0.022" SS wire

: Align and level all teeth

: Harmonize upper and lower dental arch

: Refer to oral surgery clinic for decortication with bone graft at the area 14-24 and 34-44 and extraction of 14, 24, 34 and 44

3. Contraction phase

U/L : 0.016"x0.022" SS wire contraction arch

: En-masse retraction with loop mechanic

: Reinforce anchorage with tip back, toe-in bend and co-ligate posterior segments

: Correct canine relationships into Class I

: Correct lower midline

: Align teeth in normal position and harmonize arch form

4. Adjustment phase

U/L : 0.016"x0.022" SS wire with torque and artistic bend

: Align teeth in normal position, harmonize arch form, and establish good intercuspation

Prognosis : Good

Estimated treatment time : 24 months

Retention

Upper arch : Wraparound retainer

Lower arch : Wraparound retainer

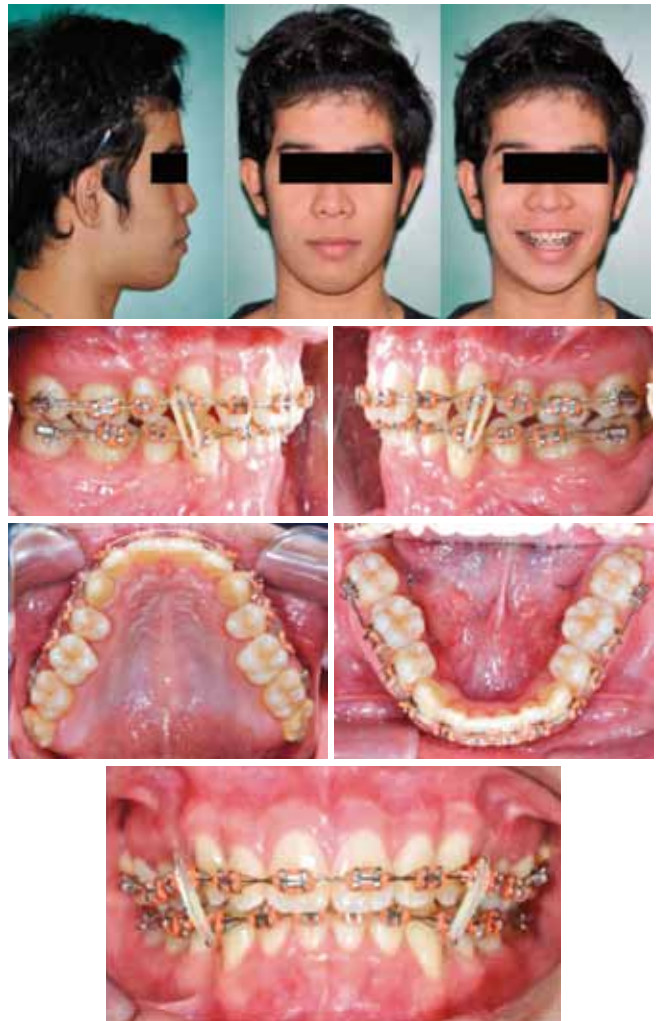
Full time wearing = 12 months

Night time wearing = 36 months

Step of treatment

ขั้นตอนการรักษา	ระยะเวลา (เดือน)
Leveling phase	6 เดือน
Contraction phase	9 เดือน
Finishing phase	24 เดือน
Debond	-
Retention phase: Follow up	1, 3, 6 เดือน

ผลการรักษาระหว่างการรักษา (Treatment Progress)



รูปที่ 4 ภาพถ่ายผู้ป่วยภายนอกและภายในช่องปาก ระหว่างการรักษา

การประเมินทางคลินิกะหว่างการรักษา (รูปที่ 4)

- Improved overjet
- Increased overbite
- Excessive curve of spee
- Right and left canines and molars relationship

2 mm.

- Lower dental midline shifts was corrected

การวิเคราะห์และการประเมินภาพรังสีระหว่างการรักษา (รูปที่ 5 และ รูปที่ 6)

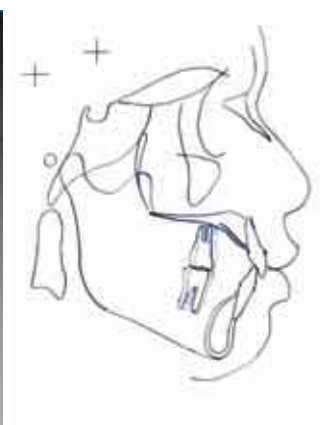
- Normal morphology and symmetry of mandibular condyles
- No root resorption
- No visible pathology



รูปที่ 5 ภาพรังสีพานอรามิกระหว่างการรักษา



รูปที่ 6 ภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างและลายเส้นระหว่างการรักษา



ผลการรักษา



รูปที่ 7 ภาพถ่ายผู้ป่วยภายนอกและภายในช่องปากหลังการรักษา



รูปที่ 8 ภาพรังสีพานอรามิกหลังการรักษา

การประเมินทางคลินิกภายหลังการรักษา

Interarch relationship and arch perimeter

		Pre-treatment	Final
Overjet		4.0 mm.	2.5 mm.
Overbite		2.0 mm.	2.5 mm.
Canine relationships	Right	Cl. II	Cl. I
	Left	Cl. II	Cl. I
Molar relationships	Right	Cl. I	Cl. I
	Left	Cl. II	Cl. I
Upper	Midline	Center	Center
	Arch form	Square	V-shaped
	Inter canine width	37.0 mm.	34.0 mm.
	Inter molar width	50.0 mm.	46.0 mm.
Lower	Midline	Shifted to the left 0.5 mm.	Center
	Arch form	square	V-shaped
	Inter canine width	30.0 mm.	28.0 mm.
	Inter molar width	50.5 mm.	45.0 mm.

การวิเคราะห์และการประเมินภาพรังสีฟันอราไมกภายหลังการรักษา (รูปที่ 8)

Radiographic findings	Before treatment	After treatment
Root resorption	None	None
Root parallel	Parallel	Parallel
Morphology and symmetry of mandibular condyles	Normal	Normal
Height of marginal bone and density	Normal	Normal



รูปที่ 9 ภาพกะโหลกศีรษะด้านข้างและลายเส้นหลังการรักษา (เส้นสีแดง)

รูปที่ 10 ภาพลายเส้นกะโหลกศีรษะด้านข้างซ้อนทับก่อนและหลังการรักษา

การวิเคราะห์และการประเมินภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างภายหลังการรักษา

Area		Measurement	Norm Mean±SD	Pre-tx	After tx.	Difference
Skeletal	Maxilla to Cranial base	SNA (degree)	84 ± 4	86	86.5	0.5
		A-Nperp (mm.)	5±4	4	5	1
	Mandible to Cranial base	SNB (degree)	81 ± 4	80	79	-1
		Pg- Nperp (mm.)	0±6	-4.5	-5	-0.5
	Maxillo- Mandibular	ANB (degree)	3 ± 2	6	7.5	1.5
Wits (mm.)		-3 ± 2	-1.5	6	7.5	
	Skeletal configuration	FMA (degree)	23±5	22	25.5	3.5
		SN-GoMe (degree)	29 ± 6	30	34	4
		NS-Gn (degree)	68 ± 3	67.5	70	2.5
		Occl-SN (degree)	16 ± 5	19.5	21	1.5
Dental	Maxillary dentition	⊥ to NA (degree)	22 ± 6	31.5	12	-19.5
		⊥ to NA (mm.)	5 ± 2	9.5	1	-8.5
		UIPP (degree)	119 ± 5	123	102	-21
	Mandibular dentition	⌒ to NB (degree)	30 ± 6	39.5	32.5	-7
		⌒ to NB (mm.)	7 ± 2	14	8	-6
		LIMP (degree)	99 ± 5	110	101	-9
	Maxillo- Mandibular	⊥ to ⌒ (degree)	125 ± 8	105	131	26
Soft tissue	Soft tissue	U lip-E plane (mm.)	-1 ± 2	6	2	-4
		L lip-E plane (mm.)	2 ± 2	11	5	-6
		NLA (degree)	91 ± 8	96	98	2
		H-angle (degree)	14 ± 4	23	20	-3

ความสําร็จของการรักษา (Evaluation of treatment objectives)

Basal

- ANB angle was increased from 6° to 7.5° .
- SNA angle was increased from 86° to 86.5° .
- SNB angle was decreased from 80° to 79° .
- The vertical configuration was still in normal configuration range but slightly increased.

Dento-basal

- Maxillary incisors were retroclined and positioned backward. (U1-NA was decreased 19.5° , 8.5 mm, and U1-PP was decreased 21° .)
- Mandibular incisors were retroclined and positioned backward. (L1-NB was decreased 7° , 6 mm, and L1-MP was decreased 9° .)

Dento-alveolar

Intramaxilla

Maxilla

- Dental crowding was corrected.
- Inter canine width was decreased 3 mm.
- Intermolar width was decreased 4 mm.
- Acceptable root parallelism
- Normal periodontium

Mandible

- Dental crowding was corrected.
- Inter canine width was decreased 2 mm.
- Intermolar width was decreased 5.5 mm.
- Flat curve of Spee was achieved.
- Acceptable root parallelism
- Normal periodontium

Intermaxilla

- Proper overjet and overbite were achieved.
- Right/ Left class I canine and molar relationships were obtained.
- Lower dental midline shifted was corrected.
- Interincisal angle was corrected.
- Upper and lower teeth were aligned in a good intercuspatation.
- No interference was found.

Soft tissue

- Convex facial profile was improved.

- More retruded upper and lower lips position but still more than the normal range.
- Nasolabial angle was increased.
- Chin position was slightly moved forward.

Lateral cephalometric superimposition

Cranial base superimposition

In order to evaluate the changes of maxillary and mandibular bony base, the cranial base was superimposed on SN plane registered at S point.

- N point was stable.
- Maxilla was stable.
- Mandible moved slightly downward.

Maxillary superimposition

In order to evaluate the maxillary dental changes, the maxilla was superimposed on the best fit of internal palatal structure and lingual contour of oral part of palate.

- Point A was slightly moved forward.
- Maxillary first molars was extruded 1.5 mm.
- Maxillary incisors tipped palatally 8.5° and extruded 2.0 mm.

Mandibular superimposition

In order to evaluate the mandibular dental changes, the mandible was superimposed on best fit of the inner contour of the cortical plates at inferior border of symphysis, trabecular structure in the lower part of symphysis and the contour of mandibular canal.

- No remaining growth of mandibular condyles.
- Mandibular first molars moved forward 2.0 mm. in more upright position and extruded 1.0 mm.
- Mandibular incisors were tipped lingually 6.0° and intruded 2.0 mm.

Soft tissue profile

Convex facial profile was improved. More retruded upper and lower lips but still slightly more than the normal limits. Nasolabial angle was increased. Soft tissue of chin was slightly moved forward.

การวิจารณ์ผลและสรุป

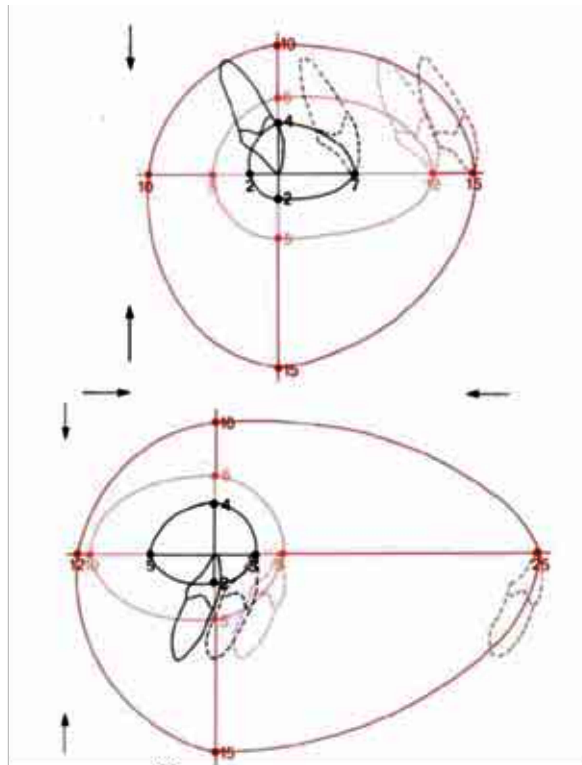
เนื่องจากผู้ป่วยมีลักษณะของฟันหน้าทั้งบนและล่างยื่นและมีความเอียงมาก การเลือกถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าการถอนฟันกรามน้อยซี่ที่ 2 เพราะตำแหน่งที่ถอนอยู่ใกล้กับบริเวณที่ต้องการใช้พื้นที่ในการแก้ไขการยื่นของฟัน และเนื่องจากผู้ป่วยรายนี้ฟันหน้ามีการยื่นและเอียงมาก ดังนั้นช่องว่างที่ได้จากการถอนฟันทั้งหมดจะถูกใช้ในการแก้ไขลักษณะฟันหน้าดังกล่าว แผนการรักษาจึงต้องอาศัยการเตรียมหลักยึดระดับสูง แต่เนื่องจากผู้ป่วยรายนี้มีแนวกระดูกประสาทรูปที่ค่อนข้างบาง กล่าวคือ ระยะระหว่างปลายรากฟันไปถึงขอบด้านในของกระดูกทึบน้อยกว่าระยะที่ต้องการเคลื่อนฟันเข้าไป

Proffit และ Sarver⁵ นำเสนอโมเดลเกี่ยวกับข้อจำกัดในการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟัน เรียกว่า **“envelope of discrepancy”** ซึ่งแสดงถึงข้อจำกัดในการเคลื่อนฟัน โดยเส้นในสุด เป็นกรณีที่ได้รับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพียงอย่างเดียว เส้นตรงกลางเป็นการรักษาร่วมกันระหว่างการศัลยกรรมกระดูก (orthopedic) และการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันในผู้ป่วยที่ยังมีการเจริญเติบโต เส้นนอกสุดเป็นกรณีที่ทำการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัด (รูปที่ 11) หากมีความแตกต่างของโครงสร้างกระดูก (skeletal discrepancy)

มากเกินกว่าที่จะทำการชดเชยด้วยการเคลื่อนฟัน (dental compensation) ก็คือ อยู่นอก **“envelope of discrepancy”** จำเป็นต้องได้รับการผ่าตัดร่วมกับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเพื่อปรับปรุงและแก้ไขความสัมพันธ์ของโครงสร้างกระดูกขากรรไกร และลักษณะของเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ที่ผิดปกติ แต่อย่างไรก็ตามตัวเลขที่ปรากฏใน **“envelope of discrepancy”** ไม่ได้บ่งบอกถึงลักษณะของกระดูกในผู้ป่วยที่มักมีความแตกต่างกันในแต่ละคน

Handelman¹ อธิบายว่า ลักษณะของกระดูกทึบของกระดูกขาฟันที่ระดับปลายรากฟัน เป็นข้อจำกัดทางกายภาพในการดึงฟันหน้า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Horiuchi และคณะ⁴ ที่พบว่ากระดูกทึบทางด้านเพดานและความกว้างของกระดูกขาฟันเป็นปัจจัยที่ทำให้การดึงฟันหน้าทำได้จำกัด อย่างไรก็ตามในระหว่างที่มีการดึงฟันนั้นกระดูกขาฟันก็มีการเปลี่ยนแปลง (remodeling)

จากการศึกษาผู้ป่วยที่มีลักษณะการสบฟันผิดปกติประเภทที่ 2 (Class II malocclusion) และมีลักษณะฟันยื่นของ Edward⁶ พบว่ากระดูกบริเวณกึ่งกลางรากฟันและกระดูกทึบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่มีการเคลื่อนฟัน ดังนั้น Edward จึงกล่าวว่า ข้อจำกัดทางกายวิภาคสำหรับการดึงฟันหน้านั้น คือ บริเวณที่สูงขึ้นไปจากส่วนโค้งทางเพดาน



รูปที่ 11 Envelop of discrepancy

ด้านหน้า (anteropalatal curvature) ซึ่ง Handelman¹ พบว่า กระดูกบริเวณฟันหน้าล่างนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะบางกว่าฟันหน้าบน ดังนั้น ความกว้างในแนวหน้า-หลัง (sagittal) ของแนวกระดูก ประสานบริเวณฟันหน้าล่างจึงเป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณการ เคลื่อนฟัน หากมีการเคลื่อนฟันออกนอกกระดูกเข้าฟันนี้ก็จะ ทำให้เกิดผลข้างเคียง (iatrogenic side effect) ต่างๆ ตามมาได้

ดังนั้นหากเลือกการรักษาโดยการจัดฟันเพียงอย่างเดียว ในผู้ป่วยรายนี้จะมีการเคลื่อนที่ของฟันมากกว่าความหนาของ กระดูกซึ่งอาจจะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อน ได้แก่ เหงือกกร่น¹ ปลายรากฟันละลาย¹⁻⁴ กระดูกเข้าฟันละลาย¹⁻⁴ ได้ ดังนั้น เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะแทรกซ้อนดังกล่าว แผนการ รักษาที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย คือ การรักษาทางทันตกรรม จัดฟันร่วมกับการผ่าตัดกระดูกขากรรไกร แต่เมื่อได้เสนอแผน การรักษาแก่ผู้ป่วย ผู้ป่วยพิจารณาแล้วปฏิเสธแผนการรักษาที่มี การผ่าตัดกระดูกขากรรไกรร่วมด้วย จึงได้ทำการเสนอแผนการ รักษาที่สามแก่ผู้ป่วย คือ การผ่าตัดกระดูกทึบ (corticotomy) ร่วมกับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน ร่วมกับการถอนฟันกรามน้อย ซี่ที่หนึ่ง ทั้ง 4 ซี่ ซึ่งวิธีนี้จะมีการปลูกถ่ายกระดูกบริเวณฟันหน้า บนและล่าง ทั้งทางด้านใกล้แก้มและทางด้านใกล้ลิ้น เพื่อเพิ่ม ปริมาณของกระดูกเข้าฟัน จากการศึกษาของ Germec⁷ และ คณะ นำเสนอกรณีศึกษา ผู้ป่วยเพศหญิง อายุ 22 ปี ที่มีลักษณะ ฟันยื่นและมีลักษณะใบหน้าด้านข้างนูน ได้รับการรักษาด้วยการ ผ่าตัดกระดูกทึบที่ฟันหน้าล่าง พบว่าหลังจากการรักษามีลักษณะ ใบหน้าด้านข้างที่ดีขึ้น ไม่พบเหงือกกร่นและรากฟันละลาย

Lino⁸ และคณะ นำเสนอกรณีศึกษา ผู้ป่วยเพศหญิง ชาวญี่ปุ่น อายุ 24 ปี มีลักษณะความผิดปกติในการสบฟันแบบ ที่ 1 ร่วมกับฟันยื่น ได้รับการรักษาด้วยการผ่าตัดกระดูกทึบ ร่วมกับเหล็กยึดไททาเนียมขนาดเล็ก (titanium miniplates) พบว่าภายหลังจากการรักษา ความสูงของสันกระดูก (crest bone) ไม่มีการลดลงและไม่พบการสูญเสียของปลายรากฟัน (apical root resorption) นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า ภายหลังจากการรักษาด้วยวิธีการนี้ สามารถซ่อมในส่วนของ กระดูกทึบเข้าฟันที่เป็นช่องโหว่ (alveolar cortical bone fenestrations) และรอยเปิดแยกได้ นอกจากนี้กระบวนการ ผ่าตัดเป็นการผ่าตัดเล็กไม่ต้องดมยาสลบ จึงมีความเสี่ยงต่อผู้ป่วย น้อยกว่าและมีค่าใช้จ่ายในการรักษาที่ต่ำกว่าการรักษาทาง ทันตกรรมจัดฟันร่วมกับการผ่าตัด ซึ่งผู้ป่วยได้ตัดสินใจเลือก แผนการรักษา

จากแผนการรักษาได้เลือกถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ทั้ง 4 ซี่ เพื่อแก้ไขลักษณะฟันซ้อนเกและลดความยื่นของฟัน⁵ โดยพิจารณาจากรูปใบหน้าด้านข้าง (facial profile)^{9, 10}

เสถียรภาพของการสบฟันภายหลังการขยายส่วนโค้งแนวฟัน¹⁰ ดังนั้นสิ่งที่จะทำให้การรักษาประสบความสำเร็จคือการเตรียม หลักยึดที่ดี โดยพยายามให้ฟันหลังเคลื่อนที่มาทางด้านหน้า น้อยที่สุด

Wilcko^{11, 12} ได้กล่าวว่าการรักษาโดยการทำการผ่าตัด กระดูกทึบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ (tissue engineering principle) 3 ประการ คือ

1. การกรอกระดูกทึบกระตุ้นให้เกิดกระบวนการซ่อมแซม ของเนื้อเยื่อบริเวณที่ทำการผ่าตัด (local tissue repair) และ ทำให้เกิดเซลล์ต้นกำเนิดกระดูก (osteoprogenitor cells) และ สารเหนี่ยวนำการสร้างกระดูก (osteoinductive agents)
2. เกิดภาวะกระดูกพรุนชั่วคราว (transient osteopenia) โดยมีความหนาแน่นของกระดูก (bone density) ลดลงแต่ ปริมาณของกระดูก (bone volume) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
3. มีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อบริเวณที่ทำการผ่าตัดและ บริเวณใกล้เคียง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฟันอย่างรวดเร็ว (rapid tooth movement)

ดังนั้นจึงเป็นผลดีต่อการเตรียมหลักยึดในผู้ป่วยรายนี้ ซึ่งใช้วิธีการเคลื่อนฟันแบบการดึงฟันหน้าเป็นยูนิต (En-masse retraction) ด้วยลูปแมคคาณิก (loop mechanic) มีการเตรียม หลักยึด โดยการมัดฟันด้วยลวด (co-ligate)¹³ ฟันกรามน้อยซี่ ที่สองและฟันกรามซี่ที่หนึ่งและสองเข้าด้วยกัน ร่วมกับการใช้การ ดัดลวดโทอินทิปแบกเบนด์ (toe in-tip back bend)¹⁴

ภายหลังการรักษาระยะที่หนึ่งซึ่งก็คือ ช่องว่างจากการ ถอนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งทั้ง 4 ซี่ปิดหมดแล้ว พบผลข้างเคียง จากการรักษาที่สำคัญ ได้แก่

- ความสัมพันธ์ระหว่างฟันเขี้ยวและฟันกรามประเภทที่ 2 (Class II canine and molar relationships) ทางด้านซ้าย และขวาเกิดจากการสูญเสียหลักยึดของฟันกรามบน ซึ่งน่าจะ มีสาเหตุมาจากการให้แรงในการดึงฟันหน้าในปริมาณที่ มากเกินไป
- การสบลึกด้านหน้า (Anterior deep bite) ซึ่งมีสาเหตุ มาจากการดึง (extrusion) และ การเอียงไปด้านหลัง (retroclination) ของฟันหน้าบนและล่าง แม้ว่าในลวดโค้ง ดึงฟัน (contraction arch) จะมีการดัดลวดสเตป (Step) และ กาเบิลเบนด์ (Gable bend) เพื่อเพิ่มโมเมนต์ของ แรงคู่ควบ (moment of couple) ด้านต่อโมเมนต์ของแรง (moment of force) ที่เกิดจากแรงในการดึงฟันแล้วก็ตาม แต่ลักษณะทางคลินิกและภาพถ่ายรังสีก็แสดงให้เห็นว่า โมเมนต์ของแรงคู่ควบนั้นมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะต้าน ต่อโมเมนต์ของแรงดึงทับ สิ่งที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายแบ่งได้



รูปที่ 12 และ 13 แสดงลักษณะรูปใบหน้าด้านข้างก่อนการ
รักษา (ซ้าย) และภายหลังการรักษา (ขวา)

เป็นสองสาเหตุร่วมกัน คือ หนึ่งปริมาณแรงที่ใช้ในการดึงฟันหน้ามาก และสอง คือ เมื่อกระดูกเบ้าฟันของกลุ่มฟันหน้าเกิดภาวะกระดูกพรุนชั่วคราว ทำให้ศูนย์กลางความต้านทาน (center of resistance) ของกลุ่มฟันหน้าเคลื่อนต่ำลงไปทางปลายรากฟัน ส่งผลให้แขนโมเมนต์ (moment arm) ของโมเมนต์ของแรงยาวขึ้น ทั้งสองสาเหตุนี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลให้โมเมนต์ของแรงมีปริมาณมากเกินไปที่โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่ใส่เข้าไปที่ลวดโค้งดึงฟันจะหักล้างได้หมด

หลังจากพิจารณาผลที่เกิดขึ้นในการรักษาระยะที่หนึ่งทำการแก้ไขผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น โดยแก้ไขการสบลึกก่อนด้วยการใช้ลวดโค้งสปีแบบเน้น (Accentuated curve of Spee) และ โค้งสปีกลับทาง (Reverse curve of Spee) ในขากรรไกรบนและล่างตามลำดับ ภายหลังจากแก้ไขปัญหาในแนวตั้ง (vertical) ได้แล้ว จึงเริ่มแก้ไขความสัมพันธ์ของฟันกรามประเภทที่ 2 (Class II molar relationship) โดยทำการขยับฟันกรามไปทางด้านหลัง (molar distalization) ด้วยขดลวดไนไทสปริงแบบเปิด (open-coil NiTi spring) ร่วมกับการดึงยางประเภทที่ 2 (Class II elastic)

จากภาพซ้อนทับของภาพรังสีกะโหลกศีรษะด้านข้างพบการเคลื่อนที่ของฟันกรามล่างมาทางด้านหน้า 1 มม. และมีการเคลื่อนที่ของฟันหน้าบนและล่างไปทางด้านหลังภายหลังแก้ไขการซ้อนเกและการยื่นของฟันแล้ว โดยพบว่าการดึงฟันกรามบนล่างเล็กน้อยในระหว่างการเรียงฟันและลวดโค้งสปี (curve of Spee) และไม่พบการเจริญเติบโตของขากรรไกรล่างจากหน้าไปหลัง (antero-posterior growth of mandible) จึงพบการหมุนของขากรรไกรล่างไปทางด้านหลัง นอกจากนี้พบว่าการเคลื่อนที่ของจุด A มาทางด้านหน้าเล็กน้อย

ทำให้ผู้ป่วยมีความสัมพันธ์ของโครงกระดูก (skeletal relationship) เป็นประเภทที่ 2 (Class II) มากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามลักษณะรูปใบหน้าด้านข้างของผู้ป่วยเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการรักษาพบว่าลักษณะด้านข้างที่มุมมนลดลง (รูปที่ 12 และ 13)

ภายหลังการรักษาพบว่ามีการสบเหลื่อมแนวตั้ง (overbite), การสบเหลื่อมแนวราบ (overjet) ปกติ ริมฝีปากบนล่างยุบ นอกจากนี้ยังไม่พบการเกิดรากฟันละลายที่ชัดเจนจากภาพรังสีพานอรามิกภายหลังการรักษาอีกด้วย

จากแผนการรักษาข้างต้นสามารถคาดการณ์การพยากรณ์โรค (Prognosis) ของการรักษาผู้ป่วยรายนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- ฟันหน้าควรมีปริมาณการสบเหลื่อมแนวตั้งและการสบเหลื่อมแนวราบ ภายหลังการรักษาที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการคืนกลับ

- ช่วงระหว่างการรักษามีการลดลงของระยะห่างระหว่างฟันเขี้ยว (intercanine width) บนและล่าง การปรับลวดทำให้เกิดลักษณะการประสานกันของส่วนโค้งขากรรไกร (arch co-ordination) จะช่วยให้มีการคงสภาพตำแหน่งฟันในขากรรไกรที่ดีและลดโอกาสการคืนกลับ (relapse) ได้^{15, 16}

การคงสภาพฟันภายหลังการรักษาผู้ป่วยรายนี้เลือกใช้เครื่องมือคงสภาพการจัดฟันชนิดโอเวอร์บ (wraparound retainer) ในฟันบนและฟันล่าง เนื่องจากสามารถควบคุมการยื่นของฟันหน้าบนได้ดี อีกทั้งการไม่มีลวดเส้นใหญ่พาดผ่านระหว่างฟันที่เคยถูกถอนไปซึ่งช่วยป้องกันการเปิดช่องว่างดังกล่าวได้¹⁷ ลักษณะการคงสภาพฟันสามารถกระทำได้โดยค่อยๆ ลดความถี่ของการใส่เครื่องมือคงสภาพลงได้เมื่อการสบฟันของผู้ป่วยมีตำแหน่งคงที่แล้ว ภายหลังการใส่เครื่องมือคงสภาพฟันได้มีการติดตามผลการรักษาเป็นระยะเวลาทุก 1, 3, 6 เดือน ไม่พบว่าการคืนกลับและควรจะมีการติดตามอย่างต่อเนื่องทุกๆ 1 ปี

สรุปผลการรักษาผู้ป่วยรายนี้สามารถแก้ปัญหาฟันยื่นและฟันซ้อนเกได้เป็นที่พึงพอใจของผู้ป่วย ความสัมพันธ์ของกระดูกขากรรไกรทั้งแนวหน้าหลังและแนวตั้งมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการ extrude ของฟันกราม ริมฝีปากบนและล่างยุบลงทำให้ลักษณะใบหน้าด้านข้างของผู้ป่วยดูดีขึ้น การสบฟันในช่องปากมีลักษณะแบบการสบสักระหว่างปุ่มฟันที่ดี (maximum intercuspation) มีความปกติของการสบเหลื่อมแนวราบและแนวตั้ง (normal overjet and overbite) และความสัมพันธ์ของฟันบนล่างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟันเขี้ยวและฟันกรามประเภทที่ 1 (Class I canine and molar relationship)

เอกสารอ้างอิง

1. Handelman CS. The anterior alveolus: its importance in limiting orthodontic treatment and its influence on the occurrence of iatrogenic sequelae. *Angle Orthod* . 1996;66(2):95-110.
2. Chung KR, Kim SH, Baek SL. Speedy surgical-orthodontic treatment with temporary anchorage devices as an alternative to orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;135(6):787-98.
3. Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod*. 1975;67:522-37.
4. Heinrich W, Waltraud B, Peter D. Mandibular incisors, alveolar bone, and symphysis after orthodontic treatment. A retrospective study. . *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1996;110:339-46.
5. Proffit WR. *Contemporary Orthodontics*. 3rd ed. St.Louis: Mosby; 2000
6. Edwards JG. A study of the anterior portion of the palate as it relates to orthodontic therapy. *Am J Orthod*. 1976;69:249-273.
7. Germec D, Giray B, Kocadereli L, Enacar A. Lower incisor retraction with a modified corticotomy. *Angle Orthod*. 2006;76:882-890.
8. Lino S, Sakoda S, Miyawaki S. An adult bimaxillary protrusion treated with corticotomy-facillitated orthodontics and titanium miniplates. *Angle Orthod*. 2006;76:1074-82.
9. Mitchell L. *An Introduction to Orthodontics*. Oxford, New York. 1996:75-9.
10. Bishara SE, Cummins DM, Jakobsen JR. The morphologic basis for the extraction decision in class II, Division 1 malocclusions: A comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995; 107:129-35.
11. Ferguson DJ et al. The contribution of periodontics to orthodontic therapy.In: *Practical advanced periodontal surgery*.
12. Murphy KG, Wilcko T, Wilcko WM, Ferguson DJ. Periodontal accelerated osteogenic orthodontics: A description of the surgical technique. *J Oral Maxillofac Surg*. 2009;67:2160-66.
13. Strang RHW. *A Text-book of orthodontia*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1950.
14. Mulligan TF. *Common Sense Mechanics in Everyday Orthodontics*. Phoenix: CSM Publishing; 1998.
15. Little RM. Stability and Relapse of Dental Arch Alignment. *Br J Orthod*. 1990; 17(3):235-241.
16. Bishara SE, Treder JE, Damon P, Olsen M. Changes in the dental arches and dentition between 25 and 45 years of age. *Angle Orthod*. 1996;66(6):417-422.
17. Graber TM, Vanarsdall RL. *Orthodontics Current Principles and Techniques*. 3 ed. Missouri: Mosby; 2000.

การดึงยางแบบที่ III: แบบดั้งเดิม และการประยุกต์ใช้

สุทิwa เบญจกุล* อุดม ทองอุดมพร**

บทคัดย่อ

การดึงยางแบบที่ III เป็นการดึงยางจากฟันเขี้ยวล่างไปยังฟันกรามบน ทำให้เกิดการเคลื่อนของฟันบนไปด้านหน้า และฟันล่างเคลื่อนไปด้านหลัง การดึงยางแบบที่ III นี้ใช้ประโยชน์ได้ในหลายกรณี เช่น ในการจัดฟันเพื่ออำพรางความผิดปกติของโครงสร้างขากรรไกรแบบที่ III, ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของขากรรไกรบน ในผู้ป่วยที่มีโครงสร้างขากรรไกรแบบที่ III เนื่องจากขากรรไกรบนมีขนาดเล็ก และการเสริมหลักยึดสำหรับการเคลื่อนฟันในหลายๆ กรณี อย่างไรก็ตาม การดึงยางแบบนี้อาจส่งผลข้างเคียงที่ไม่พึงปรารถนา เช่น การเคลื่อนฟันตัดบนออกไปด้านหน้า การเคลื่อนฟันตัดล่างเข้าไปด้านหลัง รวมทั้งการหมุนของขากรรไกรล่างตามเข็มนาฬิกา จากการยื่นยาวของฟันกรามบน ซึ่งจะส่งผลเสียทั้งในด้านความสวยงาม และการคงสภาพฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีใบหน้ายาว จึงมีการประยุกต์การดึงยางแบบที่ III นี้ในรูปแบบต่างๆ หรือใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ เพื่อลดผลข้างเคียงดังกล่าว เช่น การใช้ร่วมกับลวดโค้งข้ามเพดาน แนนซ์ ลิงกัว อาร์ช การปรับเปลี่ยนแบร็คเก็ต การดัดลวดชนิดต่างๆ เครื่องมือนอกช่องปาก และเครื่องมือหลักยึดชั่วคราว

คำสำคัญ: การเสริมหลักยึด, การจัดฟันเพื่ออำพรางความผิดปกติ, ยางจัดฟันแบบที่ III, การกระตุ้นการเจริญเติบโตของขากรรไกรบน

Class III elastic traction: classical and modified design

Sutiwa Benjakul* Udom Thongudomporn**

Abstract

Class III elastic traction is an inter-maxillary traction from the lower canine region to the molar region of the upper arch. This moves upper teeth forward and lower teeth backward. Class III elastic traction is utilized in several situations such as, camouflage treatment in non-growing Class III patients, a maxillary orthopedic protraction in skeletal Class III patients with maxillary deficiency and an anchorage reinforcement. There are 2 types of Class III elastic traction's design 1). Classical design and 2). Triangular Class III elastic traction, with or without upper lateral incisors engaged. This literature review presents various applications as follows 1). Class III elastic traction with accentuated curve of Spee archwires, 2). Class III elastic traction in

* ทันตแพทย์เอกชน

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ : ภาควิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Private Dentist.

** DDS. MSc. Ph.D. Thai Board in Orthodontics Assistant Professor: Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University.

multi-loop edgewise archwire appliance, 3). Class III elastic traction with headgear for lower arch retraction, 4). Class III elastic traction with temporary anchorage devices, and 5). Class III elastic traction with bone-anchored maxillary protraction. However, Class III elastic traction may result in undesirable side effects such as proclination of the maxillary incisors, retroclination of the mandibular incisors and upper molar extrusion. These side effects can cause the clockwise rotation of the mandible, which may result in many problems of dentofacial esthetics and stability, especially in the long face patients. To minimize these undesirable side effects, the modified design and several techniques such as transpalatal arch, Nance lingual arch, modified bracket system, modified arch wire, multi-loop edgewise archwire, extra-oral appliance, and temporary anchorage devices have been proposed to be used in combination with Class III elastic traction.

Keywords: anchorage reinforcement, camouflage treatment, class III elastic, maxillary protraction

Introduction

Class III elastic traction is an inter-maxillary traction that uses the force from elastic loop connected between the maxillary and mandibular arches, to move the teeth of upper and lower arch reciprocally or using the teeth in one arch as anchorage for tooth movements in the opposite arch. In the classical design, the direction of Class III traction is from the lower canine region to the upper molar region. This moves upper teeth forward and lower teeth backward. As a general rule, Class III elastic traction is used in the treatment of Class III malocclusion. With respect to anchorage, Class III elastic traction is commonly used to reinforce the anchorage by using the tooth from one arch to help produce desired tooth movement in the opposite arch. Moreover, in the cases that intra-oral anchorage is insufficient to carry out the desired tooth movements, Class III elastic traction in combination with extra-oral head gear force to the upper molar can be used to reinforce extra-oral anchorage. However, Class III elastic traction may result in some undesirable side effects such as proclination of the maxillary incisors, retroclination of the mandibular incisors, and upper molar extrusion, and this causes clockwise rotation of the mandible. These changes may cause the problems of dentofacial

esthetics and also the stability, especially in the long face patients. To minimize these undesirable side effects, the modified design and several techniques such as the transpalatal arch, Nance lingual arch, modified bracket systems, modified arch wire, multi-loop edgewise archwire (MEAW), extra-oral appliance, and temporary anchorage devices (TADs) have been proposed to be used in conjunction with Class III elastic traction. In addition, Class III elastic traction can be modified to use with skeletal anchorages to protract the maxilla in the growing patient who has skeletal Class III relation with maxillary deficiency.⁽¹⁾

Design of class III elastic traction

1. Classical design of class III elastic traction

The classical design of Class III elastic traction starts from the lower canine and goes to the upper first molar (Fig. 1). This force direction causes forward movement of upper teeth and backward movement of lower teeth. In the upper arch, it moves the posterior teeth forward to close the space and/or proclines the upper incisors along with the mesialization of the whole arch. The classical design can be modified in order to create a desired component of the force. It can go to the upper second molar as the more horizontal

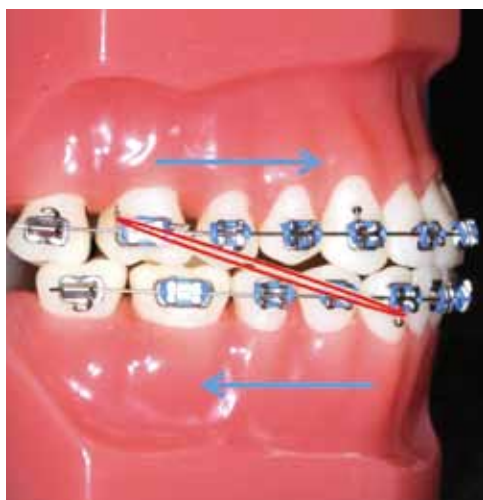


Fig. 1 The classical design of Class III elastic traction



Fig. 2 Triangular Class III elastic traction

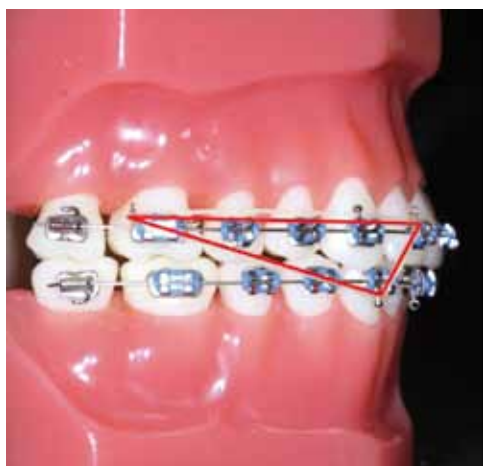


Fig. 3 Triangular Class III elastic traction that attach to the upper lateral incisors to extrude upper anterior teeth for closing the bite in the anterior region.

component of force is required. In the other hand, it can go to the upper first or second premolar, in the term of short Class III elastic, as the more vertical component of force is required in order to minimize the extrusive effect on the back of the arches especially in the anterior open bite cases.⁽²⁾

2. Triangular Class III elastic traction

Like the classical design of Class III elastic traction, this triangular Class III elastic traction starts from the lower canine. It also attaches to the upper canine or bicuspid along with the upper first or second molar forming a triangle (Fig. 2). This triangular Class III traction moves upper teeth forward and lower teeth backward and also has the vertical component of force that brings the posterior teeth together. Moreover, Class III elastic traction tends to extrude molars, leading to development of anterior open bite. In the patient that some elongation of the molars and incisors is desirable, this Class III elastic traction may attach to the upper lateral incisors forming triangle that has the vertical component of force to extrude upper anterior teeth for closing the bite in the anterior region (Fig. 3).⁽³⁾

Applications of Class III elastic traction

There are many applications of Class III elastic traction such as 1). a camouflage treatment in non-growing Class III patients, 2). in growth modification (a maxillary orthopedic protraction in skeletal Class III patients with maxillary deficiency), and 3). an anchorage reinforcement in the other situations.

1. Class III elastic traction as a camouflage treatment in non-growing Class III patients

Class III elastic traction is most helpful in non-surgical orthodontic correction of Class III malocclusion. It favours proclination of upper incisors along with mesialization of the whole arch, simultaneously retroclination of lower incisors and distalization of lower arch. All force components of the Class III elastic traction can be helpful in reaching treatment goals in average or low angle cases. However, in high angle Class III cases with an open

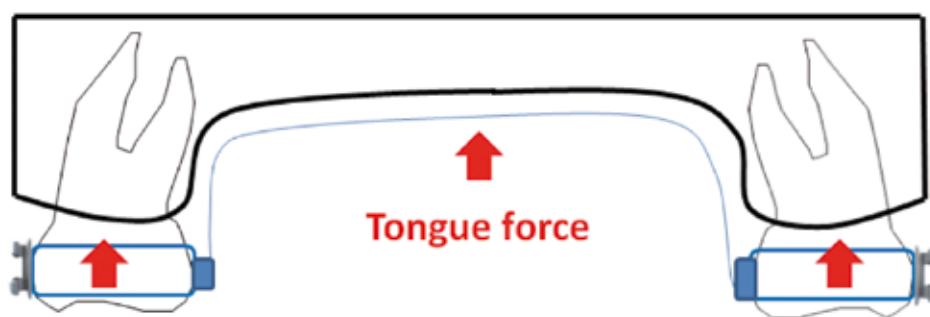


Fig. 4 Tongue forces can assist in vertical control of the upper molars when palatal bar is placed 2 mm away from the palate.

bite tendency, the vertical force components may have undesirable side effects that cause extrusion of the upper molars which rotates the occlusal plane posterior, and this results in the clockwise rotation of the mandible leading to a decrease of overbite as well as an increase of lower face height. Other undesirable side effect of Class III elastic traction is that it may cause labial proclination of the upper anterior teeth and lingual retroclination of the lower anterior teeth. These changes may compromise the profile esthetic outcome and stability of the treatment, especially in patients with long face.⁽⁴⁾

To provide appropriate treatment outcome and reduce these adverse effects, several techniques such as transpalatal arch, Nance lingual arch, modified bracket systems, modified arch wire, multi-loop edgewise archwire, extra-oral appliance, and temporary anchorage devices have been used in association with Class III elastic traction in the treatment of patients with skeletal Class III relation.

To minimize the upper molar extrusion in high angle class III cases with an open bite tendency, transpalatal arch that is placed 2 mm away from the palate can be used so that the tongue can exert a vertical intrusive effect. This can counteract with the side effect of Class III elastic traction (Fig. 4).⁽²⁾

Nance lingual arch together with 1/4 inch medium force of Class III elastic traction from the

upper first molars and hooks that are soldered between lower canines and lateral incisors has been used to control anchorage during retraction of lower anterior teeth into extraction space with sliding mechanics for compensatory orthodontic treatment in patient with skeletal Class III malocclusion with an anterior crossbite. The satisfactory treatment results, ideal overjet and overbite, and eight years stability after treatment were reported.⁽⁵⁾

Self-ligating bracket system on the maxillary arch with Class III elastic traction has been proposed as the compensatory treatment of the Class III malocclusion. Enhanced treatment results are due to greater expansive and protrusive tooth movement than the conventional bracket systems. The decrease of treatment time and the increase of compensatory tooth movement in adult Class III patients have been reported with this approach.⁽⁶⁾

The use of modified arch wire with an accentuated curve of Spee in the upper arch and reverse curve of Spee in the lower arch in association with 150 gram of force per side of Class III elastic traction and 150 gram of force of anterior vertical elastic traction can promote efficient vertical control, with the closure of the anterior open bite due to the clockwise rotation of the upper occlusal plane and due to counter clockwise rotation of the lower occlusal plane (Fig. 5). This technique is appropriate to control vertical

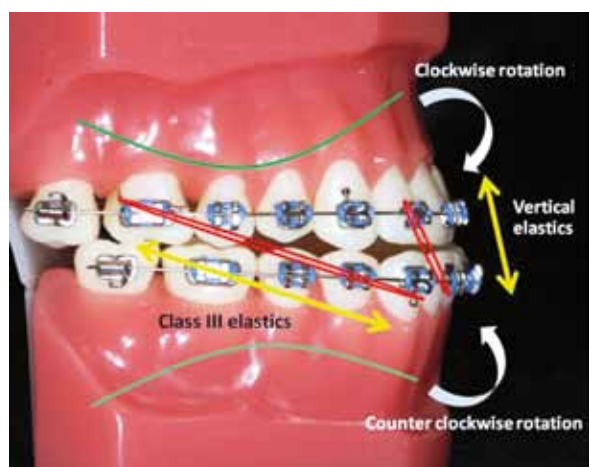


Fig.5 Class III elastic traction associated to an accentuated curve of Spee in the upper arch and reverse curve of Spee in the lower arch, combined with vertical elastics in the anterior region. This technique can close the anterior open bite due to the clockwise rotation of the upper occlusal plane and counter clockwise rotation of the lower occlusal plane.



Fig. 6 Multiloop edgewise archwire appliance along with short Class III elastic traction can reconstruct the occlusal plane to a counterclockwise rotation, without significant downward and backward rotation of the mandible.

dimension for hyper-divergent patients with a more balanced facial pattern. Sobral, et al (2013) reported that mandibular plane could be maintained after using this technique, but that a proclination of upper incisors and retroclination of the lower incisors could not be avoided.⁽⁷⁾

Multiloop edgewise archwire had many loops with second-order bend to control the vertical movement of the posterior teeth.⁽⁸⁾ The use of multiloop edgewise archwire technique that had progressive tip back bend activation of 3° to 5° from the premolar teeth to molar area along with short Class III elastic traction (3/16 inch, 6 ounce) on the anterior teeth could steepen the upper posterior occlusal plane, and could upright the inclination of the lower teeth, so the entire mandibular arch could be distalized. These effects reconstructed the occlusal plane to a counterclockwise rotation, without significant downward and backward rotation of the mandible (Fig. 6).⁽⁹⁾ This technique was suitable for patients with long face and an open bite

tendency. However, it might result in flaring and extrusion of the upper incisors. The excessive proclination of the maxillary incisors that compromised the pleasing smile was reported after treatment with multiloop edgewise archwire and short Class III elastic traction.⁽¹⁰⁾ In addition, it greatly depended on patient compliance and the open bite could become worse without patient cooperation wearing elastic traction.

Several alternatives to class III elastic traction have been suggested. To minimize the above adverse effects during en-mass distalization of the mandibular dentition, the application of mini-screws in the posterior area of the mandible as anchorage to distalize and retract the lower teeth using 300-gram forces of nickel-titanium coil springs on each side was a better approach.⁽¹⁰⁾ In addition, extra-oral appliances such as 150 gram of force per side of high-pull J hook head gear to the lower arch with the Class III direction of force at least 12 hours per day had been used instead of Class III elastic traction in order to promote efficient vertical control during treatment, specifically during

lower canine and incisor retraction (Fig. 7).⁽⁷⁾ Due to the high pull vector, it promoted efficient vertical control, generating a counterclockwise rotation of the lower occlusal plane, which was favorable for the closure of the open bite. Moreover, the J hook headgear promoted the distal tipping of the terminal molars, prepared mandibular anchorage, and eliminated intrusive forces on the incisors.⁽¹¹⁾ The significant improvement on the inter-incisal relations without proclination and extrusion of upper anterior teeth was reported after using this technique.⁽⁷⁾ The use of this apparatus was possibly an alternative to the use of Class III elastic traction for treating Class III malocclusion.

Nowadays, TADs placed in upper posterior region had been used in combination with 150 gram of force per side of Class III elastic traction function similar to high-pull headgear. Maxillary TADs could prevent undesirable extrusion of the upper molars and proclination of the upper incisors as a counteraction of Class III elastic traction when the upper dentition was used as the anchorage unit to move the lower dentition distally (Fig. 8).^(7, 12-13) These temporary anchorage devices simplify the treatment mechanics, reduce the amount of archwire bending, and minimize the anchorage loss. Moreover, maxillary mini-implant could be used in combination with multiloop edgewise archwire and Class III elastic traction (5/16 inch, 3.5 ounce) to provide an appropriate treatment strategy especially for patients with hyper-divergent pattern and open bite tendency. This technique could effectively tip the mandibular molars distally without any extrusion and tip the lower incisors lingually. He, et al (2013) reported that there was no extrusion of upper molars or any clockwise rotation of mandible, and that the upper incisors were not further proclined and patients had no gummy smile after the treatment.⁽¹⁴⁾

2. Class III elastic traction in growth modification

Maxillary orthopedic protraction is indicated for skeletal Class III young patients with maxillary deficiency. The treatment should begin during

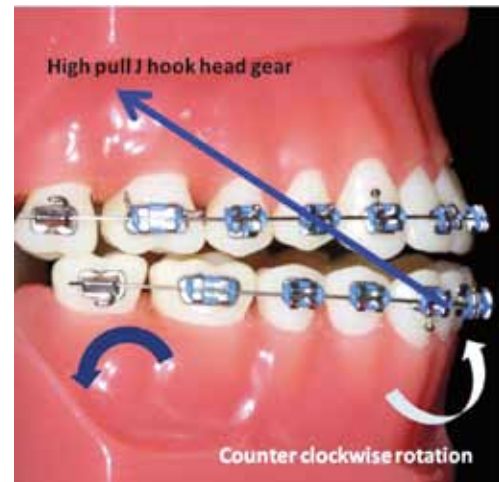


Fig. 7 High-pull J hook headgear to the lower arch can generate a counterclockwise rotation of the lower occlusal plane, which was favorable for the closure of the open bite.

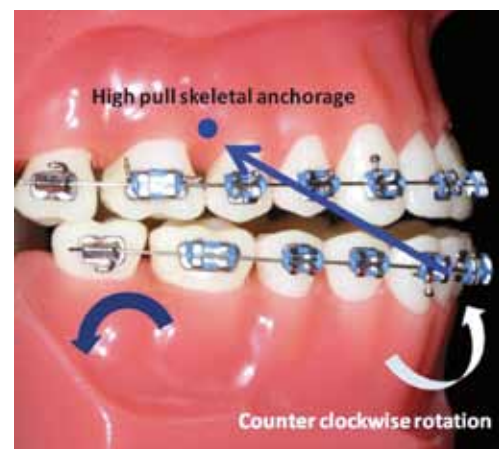


Fig. 8 Class III elastic traction in combination with TADs place in upper posterior region, the efficient vertical control during lower canines and incisors retraction can be achieved.



Fig. 9 Bone-anchored maxillary protraction (BAMP)

deciduous or early mixed dentition, before the maxillary growth cessation. Face mask is a preferred appliance, heavy anterior traction is applied on the maxilla to stimulate maxillary development and restrain or redirect the mandibular growth. However, it has many disadvantages including a lack of esthetics and discomfort. Moreover, due to the force that applies indirectly to the circum-maxillary suture through tooth-borne anchorage, causes both skeletal and dental changes because the applied force is directed below the center of resistance of the maxilla.⁽¹⁵⁾ This may result in a counterclockwise rotation of the maxilla, clockwise rotation of the mandible, labial tipping of the maxillary incisors, and lingual tipping of the mandibular incisors. Many reports found the increase of vertical dimension due to counterclockwise rotation of the maxilla and clockwise rotation of the mandible after Face mask treatment.⁽¹⁶⁻¹⁹⁾ Furthermore, the usual effects of Face mask on the dentition including extrusion and mesial movement of the maxillary molars, proclination of the maxillary incisors, and retroclination of the mandibular incisors are observed as consequences of the forces on the teeth.^(16, 19) In addition, its wearing time is limited to only 14 hours per day. Due to these limitations and the undesirable side effects of the Face mask, Class III elastic traction in combination with many techniques that is aimed to correct skeletal Class III malocclusion without the Face mask side effects have been proposed.

In the 1980s, Ferro, et al (2003) proposed a new orthopedic approach-splint, Class III elastic traction and chincup for Class III (SEC III). It composes of two removable splints with hooks for Class III elastic traction and a chincup. Elastics deliver a force of 150 to 700 gram on each side and are attached to buccal hooks on either side of the intraoral appliance, distal to the maxillary last molars and between the mandibular canines and lateral incisors. The vector of the chincup force is through the maxillary first molars; total amount of force is approximately 300 to 1500 gram per side. Patients are instructed to use

splints and elastics for 16 to 18 hours per day. The two splints with flat occlusal plane would facilitate correcting the Class III relationship, eliminate both intercuspation and aggravating factors, such as anterior tongue thrust. The successful results and high percentage of long-term stability at the end of the facial growth of this appliance was reported.⁽²⁰⁾

Pertaining to undesirable dento-alveolar effects of the Face mask treatment, skeletal anchorages have been proposed in combination with Class III elastic traction in order to transfer orthopedic forces directly to the circum-maxillary sutures. De Clerck, et al (2009 and 2010) developed bone-anchored maxillary protraction (BAMP) by using Class III elastic traction between miniplates in the zygomatic crests and in the anterior mandibular region (Fig. 9). Three week after surgery, class III elastics were applied with an initial force of about 150 gram on each side, increased to 200 gram after 1 month of traction, and to 250 gram after 3 months. With this technique, extra-oral Face mask was no longer needed and Class III inter-maxillary elastic traction could be applied 24 hours a day. They reported that this technique had a successful treatment of class III patients without dento-alveolar side effects and no deformation in vertical dimension. In addition, more favorable patient compliance in comparison with Face mask treatment was reported.⁽¹⁻²¹⁾ Heymann, et al (2010), using three dimensional superimposition of patients who were treated with this technique, found that the effects were throughout the nasomaxillary structures, and that all patients showed improvements in the skeletal relationship, primarily through maxillary advancement with little effect on the dento-alveolar units.⁽²²⁾ Moreover, De Clerck, et al (2012) reported posterior displacement of the mandible, remodeling of the glenoid fossa at the anterior eminence, and bone resorption at the posterior wall, in patients were treated with this treatment approach. They suggested that this new treatment approach offered a promising alternative to restrain mandibular growth for Class III

patients with a component of mandibular prognathism or to compensate for maxillary deficiency in patients with hypoplasia of the midface.⁽²³⁾ However, one disadvantage of this technique was the necessity for surgical placement and removal of the bone plate.

To reduce the surgical procedure, Esenlik, et al (2015) proposed the use of Class III elastic traction between maxillary self-drilling mini-implants and mandibular miniplates. Class III elastic traction was applied with 75 gram of force on both sides one week after surgical procedure. After three weeks, the force was increased to 200 gram on both sides. They reported that this approach could protract the maxilla and improve the facial profile in a case of skeletal Class III malocclusion without dento-alveolar side effects.⁽²⁴⁾ Furthermore, Aglarci, et al (2016) compared the results of the Face mask therapy (400 gram of force per side, 20° to 30° downward from the occlusal plane) and the skeletal anchorage group, maxillary mini-implants and mandibular mini-plates for Class III elastic traction (75 gram of force on each side and increase to 200 gram of force on each side after 3 weeks), and reported that favorable skeletal outcomes could be achieved and undesired dento-alveolar effects of the Face mask treatment were eliminated, with the skeletal anchorage group.⁽²⁵⁾

3. Class III elastic traction as an anchorage reinforcement in the other situations

In cases with severe lower anterior crowding or lower anterior protrusion, where a maximum anchorage support in the lower arch is needed. Class III elastic traction to upper molars, worn simultaneously with headgear might be used during the lower arch retraction in order to reinforce the anchorage.⁽²⁾ In addition, Class III elastic traction in association with TADs could be used as absolute anchorage.⁽²⁶⁾ Ishida, et al (2013) reported the use of Class III elastic traction that applied from the mandibular first premolar to the zygomatic anchorages could successfully upright the mandibular molars and level the mandibular teeth in a camouflage treatment of skeletal Class II

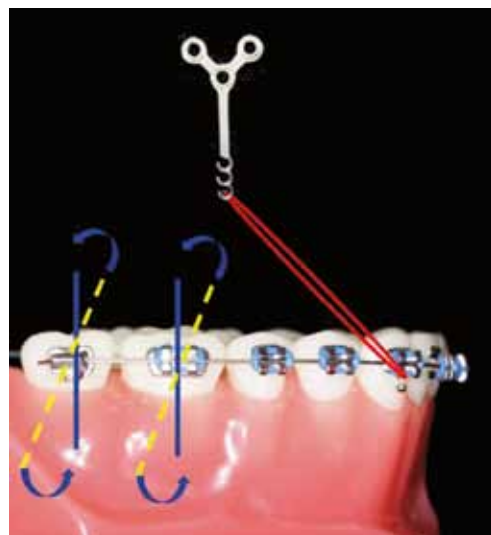


Fig. 10 Applying Class III elastic traction to zygomatic anchorages can upright the mandibular molars and leveling the mandibular teeth without reciprocal forces on the maxillary dentition.

patient without the use of maxillary dentition and also extra-oral appliances as the anchorages. With this technique, the reciprocal force on the maxillary dentition can be avoided (Fig. 10).⁽²⁶⁾

Conclusion

Basic designs of Class III elastic traction are 1). Classical design and 2). Triangular class III elastic traction, with or without upper lateral incisors engaged. Class III elastic traction can be used in 1). Non-growing patients 2). Growth modification, and 3). Class III elastic traction as an anchorage reinforcement in the other situations. Various applications are also presented as follows, 1). Class III elastic traction with accentuated curve of Spee archwires, 2). Class III elastic traction in multiloop edgewise archwire appliance, 3). Class III elastic traction with headgear for lower arch retraction, 4). Class III elastic traction with TADs, and 5). Class III elastic traction with bone-anchored maxillary protraction. Modifications to counter side effects of using class III elastic traction are for example, transpalatal arch, Nance lingual arch, modified bracket systems, modified arch wire, multiloop edgewise archwire, extra-oral appliance, and TADs. The satisfactory treatment results had been reported.

References

- De Clerck HJ, Cornelis MA, Cevidanes LH, Heymann GC, Tulloch CJ. Orthopedic traction of the maxilla with miniplates: a new perspective for treatment of midface deficiency. *J Oral Maxillofac Surg* 2009;67:2123-9.
- McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ. Systemized orthodontic treatment mechanics. Edinburgh: Mosby Elsevier Science Limited; 2002.
- William RP, Henry WF, David MS. Contemporary orthodontics. St. Louis: Mosby Elsevier Saunders; 2013.
- Sato S. Developmental characterization of skeletal Class III malocclusion: a case report. *Angle Orthod* 1994;64:105-11.
- Valladares NJ. Compensatory orthodontic treatment of skeletal Class III malocclusion with anterior crossbite. *Dental Press J Orthod* 2014;19:113-22.
- Capistrano A, Cordeiro A, Siqueira DF, Capelozza FL, Cardoso MA, Almeida-Pedrin RR. From conventional to self-ligating bracket systems: Is it possible to aggregate the experience with the former to the use of the latter? *Dental Press J Orthod* 2014;19:139-57.
- Sobral MC, Habib FA, Nascimento AC. Vertical control in the Class III compensatory treatment. *Dental Press J Orthod* 2013;18:141-59.
- Kim YH. Anterior openbite and its treatment with multiloop edgewise archwire. *Angle Orthod* 1987;57:290-321.
- Msv K, Sravya RL, Chandaveni V, Khan Y. CLASS III MALOCCLUSION-Ways to combat it non surgically. *The IJST* 2016;6:13-24.
- Jing Y, Han X, Guo Y, Li J, Bai D. Nonsurgical correction of a Class III malocclusion in an adult by miniscrew-assisted mandibular dentition distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:877-87.
- Kuroda Y, Kuroda S, Alexander RG, Tanaka E. Adult Class III treatment using a J-hook headgear to the mandibular arch. *Angle Orthod* 2010;80:336-43.
- Chung KR, Kim SH, Choo HR. Class III correction using biocreative therapy (C-Therapy). *Semin orthod* 2011;17:108-23.
- Kuroda S, Tanaka E. Application of temporary anchorage devices for the treatment of adult class III malocclusions. *Semin orthod* 2011;17:91-7.
- He S, Gao J, Wamalwa P, Wang Y, Zou S, Chen S. Camouflage treatment of skeletal Class III malocclusion with multiloop edgewise arch wire and modified Class III elastics by maxillary mini-implant anchorage. *Angle Orthod* 2013;83:630-40.
- Lee KG, Ryu YK, Park YC, Rudolph DJ. A study of holographic interferometry on the initial reaction of maxillofacial complex during protraction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;111:623-32.
- Chong YH, Ive JC, Artun J. Changes following the use of protraction headgear for early correction of Class III malocclusion. *Angle Orthod* 1996;66:351-62.
- Keles A, Tokmak EC, Erverdi N, Nanda R. Effect of varying the force direction on maxillary orthopedic protraction. *Angle Orthod* 2002;72:387-96.
- Baik HS. Clinical results of the maxillary protraction in Korean children. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:583-92.
- Ngan PW, Hagg U, Yiu C, Wei SH. Treatment response and long-term dentofacial adaptations to maxillary expansion and protraction. *Semin Orthod* 1997;3:255-64.
- Ferro A, Nucci LP, Ferro F, Gallo C. Long-term stability of skeletal Class III patients treated with splints, Class III elastics, and chincup. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123:423-34.
- De Clerck HJ, Cevidanes L, Baccetti T. Dentofacial effects of bone-anchored maxillary protraction: a controlled study of consecutively treated Class III patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138:577-81.
- Heymann GC, Cevidanes L, Cornelis M, De Clerck HJ, Tulloch JF. Three-dimensional analysis of maxillary protraction with intermaxillary elastics to miniplates. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:274-84.
- De Clerck HJ, Nguyen T, de Paula LK, Cevidanes L. Three-dimensional assessment of mandibular and glenoid fossa changes after bone-anchored Class III intermaxillary traction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;142:25-31.
- Esenlik E, Aglarci C, Albayrak GE, Findik Y. Maxillary protraction using skeletal anchorage and intermaxillary elastics in Skeletal Class III patients. *Korean J Orthod* 2015;45:95-101.
- Aglarci C, Esenlik E, Findik Y. Comparison of short-term effects between face mask and skeletal anchorage therapy with intermaxillary elastics in patients with maxillary retrognathia. *Eur J Orthod* 2016;38:313-23.
- Ishida T, Yoon HS, Ono T. Asymmetrical distalization of maxillary molars with zygomatic anchorage, improved superelastic nickel-titanium alloy wires, and open-coil springs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:583-93.

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลในเซลล์เอ็นยัดปริทันต์

สุทิwa เบญจกุล* สุวรรณ จิตภักดีบดินทร์** ชิดชนก ลิธนะกุล***

บทคัดย่อ

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของเนื้อเยื่อในร่างกาย ปัจจุบันมีการศึกษามากมายเกี่ยวกับการให้แรงกระตุ้นทางกลในเซลล์ชนิดต่างๆ เพื่อนำข้อมูลมาใช้อธิบายกระบวนการดังกล่าวสำหรับในทางทันตกรรม เซลล์ที่มีบทบาทสำคัญในการรับรู้ และตอบสนองต่อแรงกระตุ้นทางกล คือ เซลล์เอ็นยัดปริทันต์ ซึ่งกระบวนการที่เซลล์เอ็นยัดปริทันต์ใช้ตอบสนองต่อแรงกลนี้ เป็นกระบวนการสำคัญในการรักษาสมดุลของเนื้อเยื่อเอ็นยัดปริทันต์ และการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อรอบข้าง โดยวัตถุประสงค์ของบทความปริทัศน์นี้ เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวรับแรงกล และวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ รวมถึงวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์เอ็นยัดปริทันต์เมื่อตอบสนองต่อแรงกลชนิดต่างๆ เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงกระบวนการดังกล่าวมากขึ้น และสามารถนำแรงกระตุ้นทางกลที่เหมาะสมมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาทางทันตกรรม รวมทั้งเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: กระบวนการเปลี่ยนแปลงของกระดูกรองรับฟัน, แรงกระตุ้นทางกล, ตัวรับแรงกล เซลล์เอ็นยัดปริทันต์, แรงสั่นสะเทือน

Mechanotransduction pathways in periodontal ligament cells

Sutiwa Benjakul* Suwanna Jitpukdeebodintra ** Chidchanok Leethanakul***

Abstract

Mechanotransduction has a critical role in the regulation of several physiological processes. Nowadays, many studies investigated these mechanisms. In the field of dentistry, mechanotransduction in periodontal ligament cells plays an important role for periodontal homeostasis and tissue remodeling. In the present review, we consider the major mechanoreceptors, mechanotransduction pathways and mechanotransduction

* ทันตแพทย์เอกชน

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ : ภาควิชาชีววิทยาช่องปากและระบบการบดเคี้ยว คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*** รองศาสตราจารย์ : ภาควิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Private Dentist.

** DDS. Ph.D. Assistant Professor: Department of Oral Biology and Occlusion, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University.

*** DDS. MSc. Ph.D. Thai board in Orthodontics Assistant Professor: Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University.

pathways in periodontal ligament cells in response to several mechanical stimuli. To provide more information about these mechanisms in order to properly apply the mechanical stimuli to improve the dental treatment, and also to provide the basic knowledge for further studies.

Keywords: Alveolar bone remodeling, Mechanical stimuli, Mechanoreceptors, PDL cells, Vibration

วนำ (Introduction)

แรงกระตุ้นทางกล (mechanical stimuli) และวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ (mechanotransduction) มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของเนื้อเยื่อในร่างกาย โดยเซลล์จะรับรู้ผ่านทางตัวรับแรงกล จากนั้นจะส่งสัญญาณเข้าไปภายในเซลล์ โดยผ่านวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ และเกิดการตอบสนองของเซลล์ต่อตัวกระตุ้นนั้นๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากมายทั้งชนิดของเซลล์ และลักษณะของแรงกระตุ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการตอบสนองที่แตกต่างกัน ปัจจุบันมีการศึกษามากมาย เกี่ยวกับการให้แรงกระตุ้นทางกลกับเซลล์ชนิดต่างๆ เพื่อมุ่งอธิบายกระบวนการดังกล่าว สำหรับในทางทันตกรรม เซลล์ที่มีบทบาทสำคัญ คือ เซลล์เอ็นไยดปริทันต์ (periodontal ligament cells, PDL cells) ซึ่งการตอบสนองของเซลล์เอ็นไยดปริทันต์ต่อแรงกระตุ้นทางกล มีบทบาทสำคัญในกระบวนการรักษาสถิตของเนื้อเยื่อเอ็นไยดปริทันต์ (periodontal homeostasis) และการปรับเปลี่ยนของเนื้อเยื่อรอบข้าง (tissue remodeling) โดยผ่านทาง การเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีน และการหลั่งสารต่างๆ รวมทั้งการแปรสภาพของเซลล์ไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการรักษาตำแหน่งของฟัน รวมทั้งการเคลื่อนตำแหน่งของฟันขณะจัดฟันด้วย ปัจจุบันจึงได้มีความสนใจศึกษาถึงกระบวนการรับรู้ และตอบสนองต่อแรงกลชนิดต่างๆ ในเซลล์เอ็นไยดปริทันต์มากขึ้น เพื่อให้สามารถนำแรงกระตุ้นทางกลที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการรักษาทางทันตกรรม อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าว ประกอบด้วยกลไกที่ซับซ้อน ซึ่งองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบันยังไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ คือ กระบวนการที่เซลล์รับรู้ต่อตัวกระตุ้นทางกล และเปลี่ยนสัญญาณให้กลายเป็น

สัญญาณชีวเคมี (biochemical signals) เพื่อส่งผลให้เกิดการตอบสนองต่อตัวกระตุ้นนั้น โดยกระบวนการนี้มีความสำคัญมาก ในการกำหนดโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ เพื่อการตอบสนองและปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม⁽¹⁾

ตัวรับแรงกล

เซลล์จะรับรู้ต่อตัวกระตุ้นทางกล ผ่านทางตัวรับแรงกล โดยตัวรับแรงกลที่สำคัญ ตามรูปที่ 1

1. อินทิกริน (integrin)

อินทิกริน คือ ตัวรับบนผิวเซลล์ (transmembrane receptor) ซึ่งเชื่อมต่อระหว่าง เมทริกซ์ภายนอกเซลล์ (extracellular matrix) กับสารโครงร่างเซลล์ (cytoskeleton) จึงทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการกระตุ้นวิธีการส่งสัญญาณต่างๆ ภายในเซลล์รวมถึงวิธีการส่งสัญญาณแรงกลด้วย⁽²⁾

2. จี-โปรตีน-คัปเปิลด์รีเซปเตอร์ (G-protein-coupled receptors, GPCRs)

จี-โปรตีน-คัปเปิลด์รีเซปเตอร์ เป็นตัวรับที่ผิวเซลล์ที่มีบทบาทในการถ่ายทอดสัญญาณ 2 วิธีที่สำคัญ คือ วิธีที่เกี่ยวข้องกับไซคลิกอะดีโนซีนโมโนฟอสเฟต (cyclic adenosine monophosphate, cAMP) และวิธีที่เกี่ยวข้องกับฟอสฟาติดีลอิโนซิทอล (phosphatidylinositol) ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของโปรตีนไคเนสเอ (protein kinase A, PKA) และโปรตีนไคเนสซี (protein kinase C, PKC) ซึ่งทำให้เกิดการส่งสัญญาณเข้าไปในเซลล์เพื่อให้เกิดการตอบสนองของเซลล์ต่อไป⁽³⁾

3. รีเซปเตอร์ไทโรซีนไคเนส (receptor tyrosine kinases, RTKs)

รีเซปเตอร์ไทโรซีนไคเนส เป็นไกลโคโปรตีนสายเดี่ยวที่แทรกอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ (single transmembrane glycoproteins) ทำหน้าที่เป็นตัวรับของไซโตไคน์ (cytokines) ต่างๆ หลายชนิด เมื่อไลแกนด์เฉพาะมาจับกับตัวรับ ทำให้ตัวรับ 2 อันมารวมกัน ซึ่งส่งผลกระตุ้นไทโรซีนไคเนส (tyrosine kinase) ให้เติมหมู่ฟอสเฟตให้กับไทโรซีนเรซิดิวของตัวรับ

อีกอันที่มาจับคู่ด้วย (autophosphorylation) จากนั้นมีโปรตีนส่งทอดสัญญาณอื่นๆ มาจับกับตัวรับที่ตำแหน่งไทโรซีนที่ถูกเติมหมู่ฟอสเฟต ซึ่งการจับกันดังกล่าว นำไปสู่การส่งทอดสัญญาณเข้าสู่ภายในเซลล์⁽⁴⁾

4. ช่องไอออนที่ไวต่อการยืด (stretch-activated ion channels)

การกระตุ้นทางกลทำให้เกิดการผิดรูป และการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อการเปิดปิดของช่องไอออนที่ไวต่อการยืด ทำให้เกิดการผ่านเข้าออกของไอออนต่างๆ ซึ่งไอออนเหล่านี้กระตุ้นวิธีการส่งสัญญาณต่างๆ ภายในเซลล์ต่อไป⁽⁵⁾

วิธีการถ่ายโอนเชิงกล

เมื่อเซลล์รับรู้ต่อตัวกระตุ้นทางกลผ่านทางตัวรับแรงกลแล้ว สัญญาณถูกส่งเข้าไปภายในเซลล์ ผ่านวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ โดยวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ที่สำคัญ ตามรูปที่ 1

1. วิธีการส่งสัญญาณไมโทเจน-แอคทีเวตโปรตีนไคเนส (mitogen-activated protein kinase signaling)

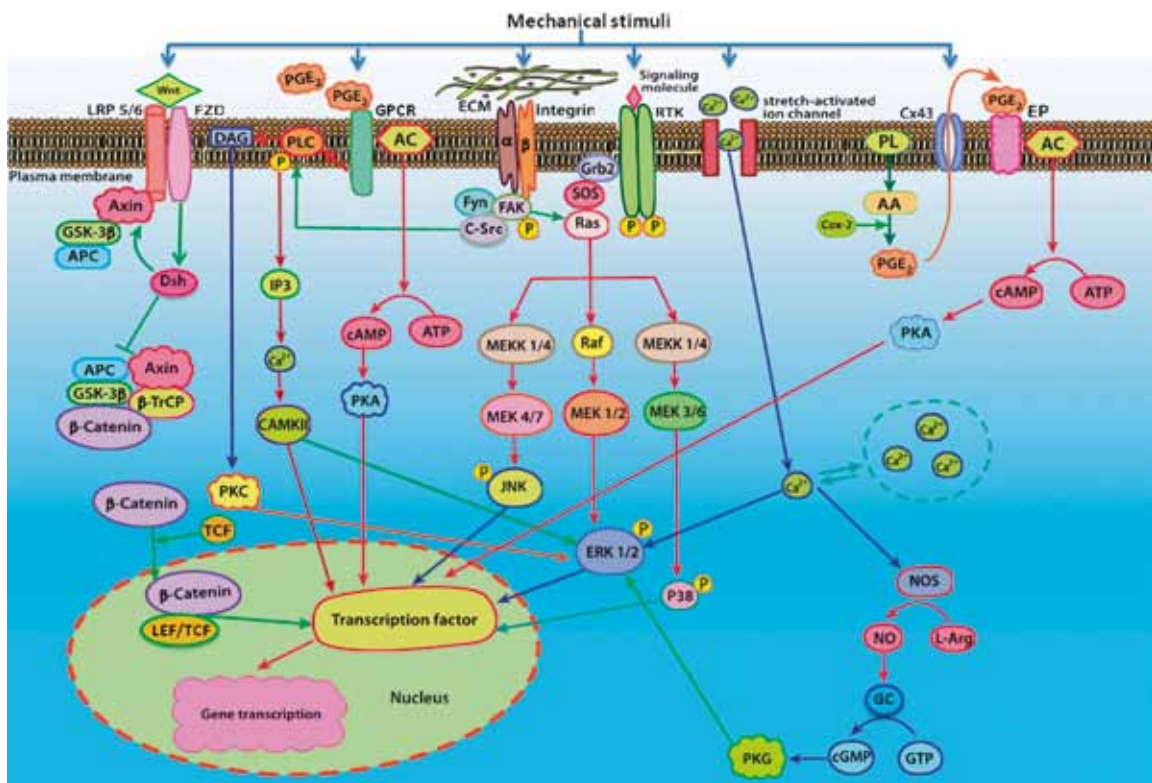
วิถีไมโทเจนแอคทีเวตโปรตีนไคเนส หรือ แมพไคเนส (mitogen-activated protein kinase, MAPK) ในรูปที่ 2 ประกอบด้วย โปรตีนหลายชนิดที่อยู่ในกลุ่ม ซีรีน/ทรีโอนีนไคเนส (serine/threonine kinase, Ser/Thr kinases) ซึ่ง

เชื่อมต่อกับตัวรับบนเยื่อหุ้มเซลล์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับการเปลี่ยนแปลงจากภายนอกเซลล์⁽⁶⁾

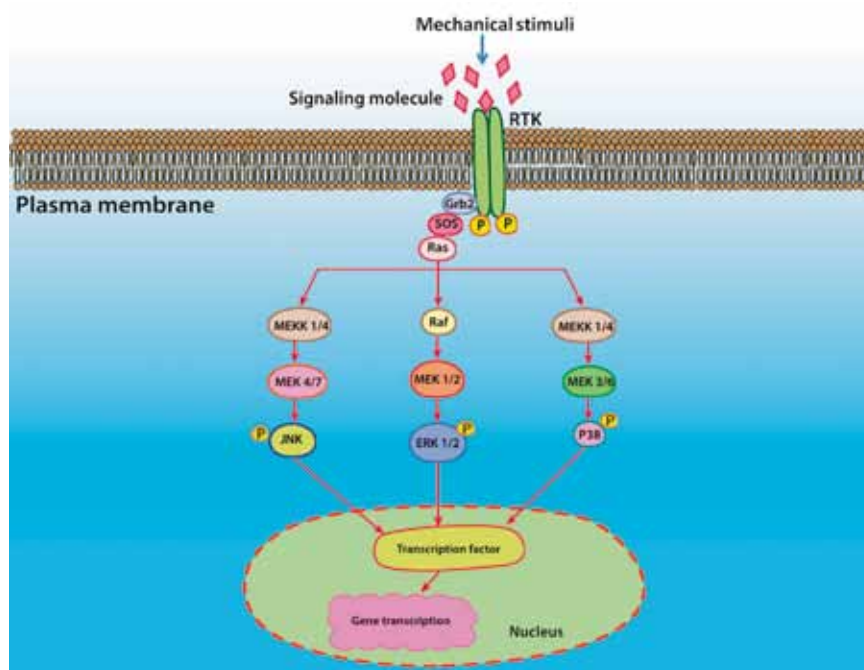
วิถีแมพไคเนส (MAPK) เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณหลากหลายอย่าง ซึ่งแต่ละลำดับไคเนส (kinase cascades) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการภายในเซลล์ที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ ขึ้นกับ ชนิดของเซลล์ และสิ่งกระตุ้นที่มากระทำ⁽⁷⁾

โปรตีนตัวสำคัญของแมพไคเนส (MAPK) ประกอบด้วย 3 กลุ่มใหญ่ๆ ที่แยกกันควบคุม ลำดับวิธีการส่งสัญญาณ คือ เอกตราเซลล์ลูลาร์ซิกเนล-เรกูเลทไคเนส (extracellular signal-regulated kinase1/2, ERK1/2), ซี-จุนเอ็นเอชทูเทอมีนอลไคเนส (c-Jun NH₂-terminal kinase1/2/3, JNK1/2/3), พิตเอร์ทีเอแอลฟา, บีตา, แกมมา และเดลตาไอโซฟอร์ม (p38 α , β , λ and δ isoforms) โดยแต่ละกลุ่มของแมพไคเนส (MAPK) ประกอบด้วยลำดับของกลุ่มโปรตีนไคเนสจำเพาะ 3 ตัว คือ แมพไคเนส, แมพไคเนสไคเนส หรือเม็ค (MAPK kinase, MAPKK or MEK) และ แมพไคเนสไคเนสไคเนส หรือเม็คเค (MAPKK kinase, MAPKKK or MEKK)⁽⁷⁾

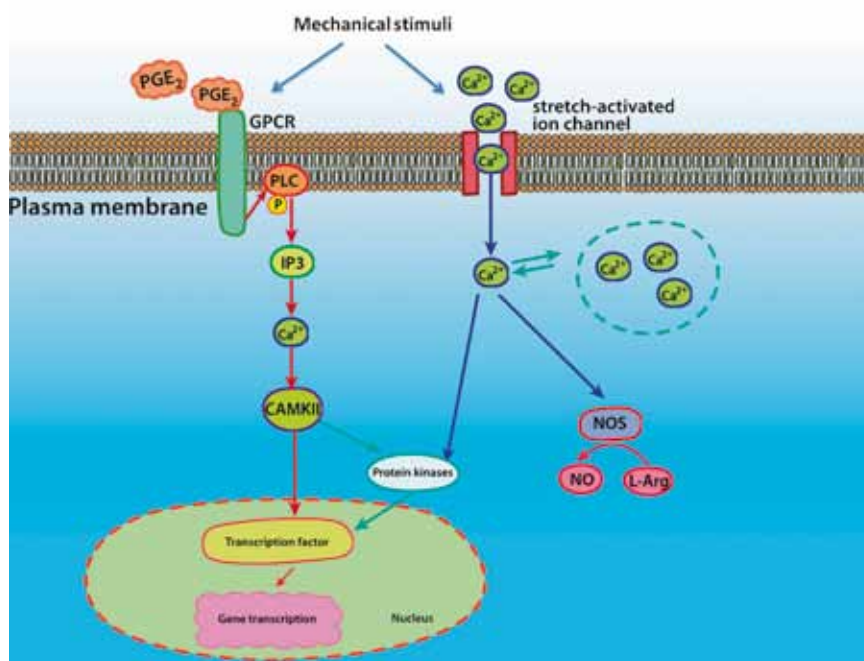
เมื่อตัวรับที่ผิวเซลล์ถูกกระตุ้น มีการชักนำให้เกิดการจับกันของกลุ่มโปรตีนจำเพาะภายในเซลล์ นำไปสู่การกระตุ้นการทำงานของแรพซาร์โคมาโมโนเมอร์ริก หรือแรส (Rat sarcoma monomeric, Ras) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการส่งสัญญาณ



รูปที่ 1 ตัวรับแรงกล และวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์



รูปที่ 2 วิธีการส่งสัญญาณไมโทเจน-แอกทีเวเตดโปรตีนไคเนส



รูปที่ 3 วิธีการส่งสัญญาณแคลเซียมไอออน

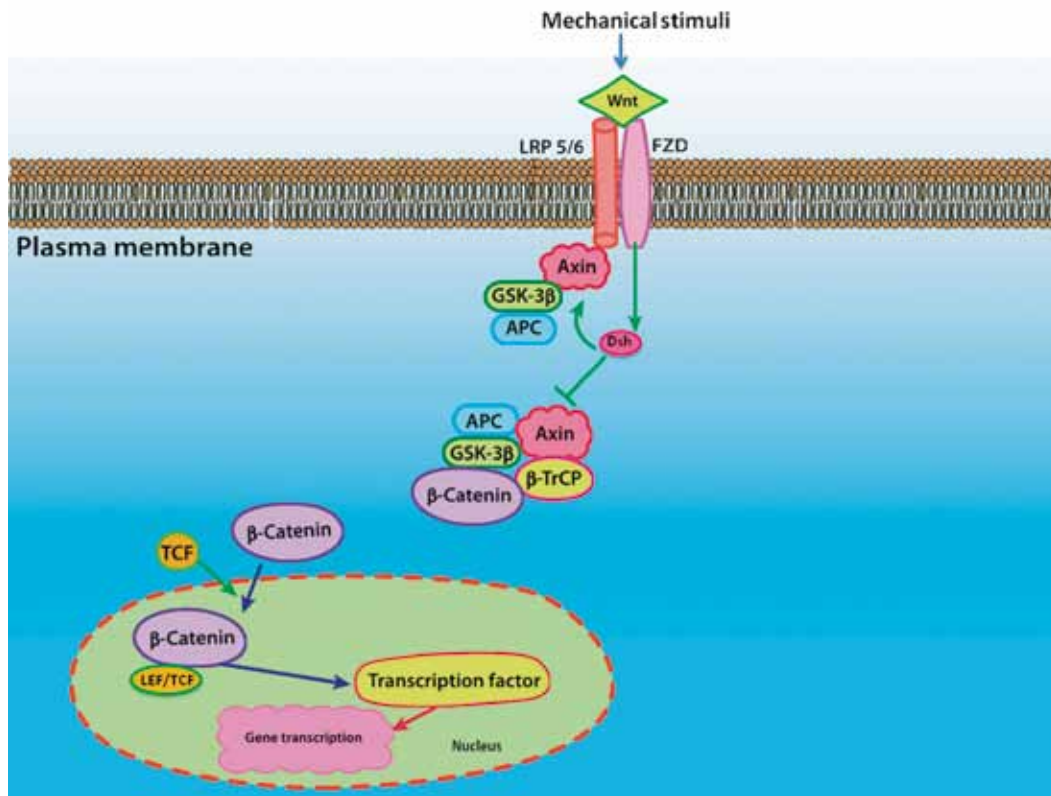
เบื้องต้น จากนั้นส่งผลให้เกิดการเติมหมู่ฟอสเฟต และการกระตุ้น MEKK, MEK และ MAPK ต่อไปตามลำดับ ซึ่ง MAPK ไปกระตุ้นการทำงานของทรานสคริปชันแฟกเตอร์ที่สำคัญต่อการแสดงออกของเซลล์ต่อไป⁽⁷⁻⁸⁾ (รูปที่ 2)

2. วิธีการส่งสัญญาณแคลเซียมไอออน (Ca²⁺ signaling)

เมื่อได้รับแรงกระตุ้นทางกล จะเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของแคลเซียมไอออนภายในเซลล์ ซึ่งมาจาก 2 ทาง

คือ จากภายนอกเข้าสู่เซลล์ ผ่านทางช่องไอออนที่เยื่อหุ้มเซลล์ และจากการที่ตัวรับจี-โปรตีน-คัปเปิลด์รีเซปเตอร์ถูกกระตุ้น ส่งผลชักนำให้เกิดการปลดปล่อยแคลเซียมไอออนจากในไซโทพลาซึม⁽⁹⁾ (รูปที่ 3)

โดยการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมไอออนภายในเซลล์ สามารถกระตุ้นการทำงานของโปรตีนไคเนสต่างๆ ให้มาทำหน้าที่เติมหมู่ฟอสเฟต ให้กับโมเลกุลส่งสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ



รูปที่ 4 วิธีการส่งสัญญาณวินท/เบตาแคทีนิน

ส่งสัญญาณต่างๆ มากมาย (รูปที่ 3) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของแคลเซียมไอออน ยังสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไนตริกซออกไซด์ซินเทส (nitric oxide synthase, NOS) ซึ่งส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของไนตริกซออกไซด์ (nitric oxide, NO) ซึ่งเป็นโมเลกุลส่งสัญญาณสำคัญในกระบวนการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ และยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมไอออนมีส่วนเกี่ยวข้องกับโมเลกุลอื่นๆ อีกมากมาย เช่น JNK, p38, ซี-จุน (c-Jun) และ ซี-ฟอส (cFos)⁽¹⁰⁾

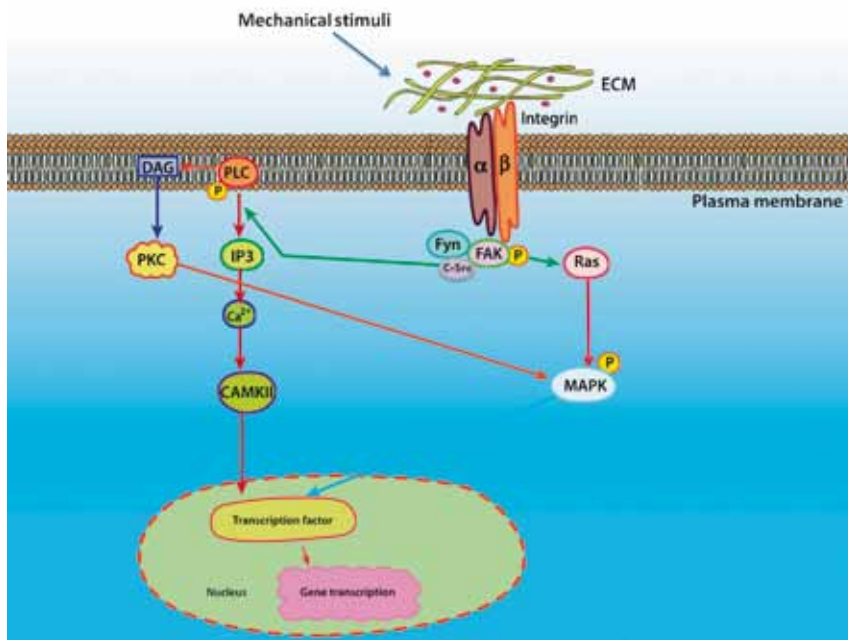
3. วิธีการส่งสัญญาณวินท/เบตาแคทีนิน (Wnt/β-catenin signaling)

วิธีการส่งสัญญาณนี้ถูกกระตุ้นได้โดย เริ่มจากการจับกันของวินท (Wnt) ที่อยู่ภายนอกเซลล์ กับตัวรับ เฉพาะที่ประกอบด้วย ตัวรับในกลุ่มฟรีซเซิลด์ (the Frizzled family of receptors, FZD) และส่วนของโปรตีนแอลดีแอลที่เกี่ยวข้องกับตัวรับภายนอกเซลล์ (the extracellular domain of the LDL receptor-related proteins, LRP) ชนิดที่ 5 และ 6 (LRP5/6) เกิดเป็นกลุ่มของวินท-แอลอาร์พี-ฟรีซเซิลด์ (Wnt-LRPs-FZD complex) ซึ่งจะไปกระตุ้นการทำงานของดิเมฟแอลดีฟอสโฟโปรตีนในไซโทพลาซึม หรือ แดช (the cytoplasmic phosphoprotein Disheveled, Dsh) ซึ่งเป็น

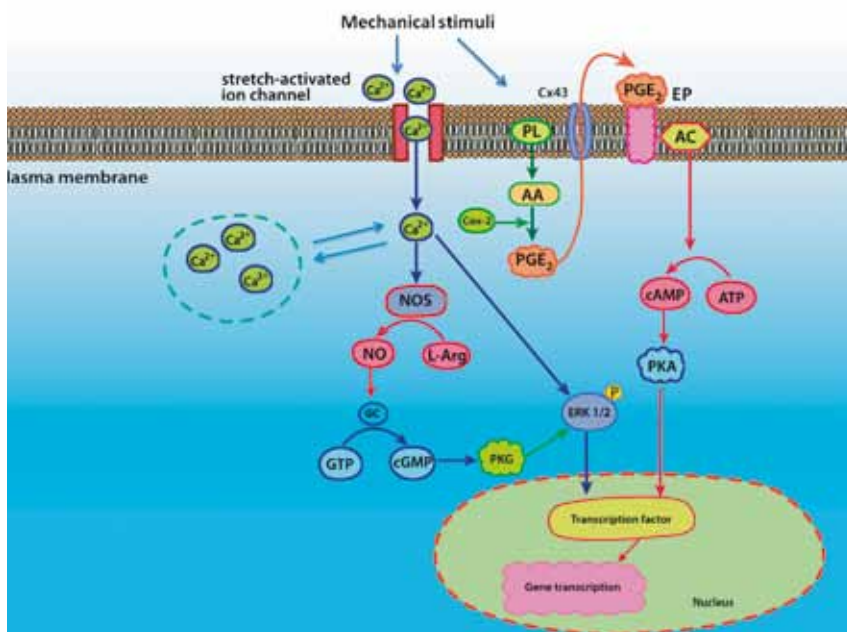
ตัวชักนำให้เกิดการจับกันของแอ็กซิน (Axin) และ LRP5/6 และไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไกลโคเจนซินเทสไคเนสทีรีปีตา หรือ จีเอสเคทีรีปีตา (glycogen synthase kinase-3β, GSK-3β) จึงส่งผลให้เกิดการรักษาเสถียรภาพ และการเก็บสะสมของเบตาแคทีนิน (β-catenin) ภายในไซโทพลาซึม และเกิดการเคลื่อนที่ (translocation) เข้าสู่นิวเคลียส เพื่อไปรวมตัวกับลิมฟอยด์เอนฮานเซอร์แฟคเตอร์/ทีเซลล์แฟคเตอร์ (lymphoid enhancer factor/T cell factors, LEF/TCFs) ซึ่งไปกระตุ้นให้เกิดการถอดรหัส (transcription) ของยีน และเกิดการตอบสนองของเซลล์ต่อตัวกระตุ้นนั้น⁽⁸⁾ (รูปที่ 4)

4. วิธีการส่งสัญญาณอินทิกริน (integrin signaling)

เมื่อได้รับแรงกระตุ้นทางกล อินทิกรินส่งสัญญาณได้ทั้งทางตรง ผ่านทางการส่งผ่านแรงที่มากระทำกับเมทริกซ์ภายนอกเซลล์ไปยังสารโครงร่างเซลล์⁽¹¹⁾ และทางอ้อม จากการที่แรงกลไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอินทิกรินไลแกน (integrin ligands) ซึ่งส่งผ่านสัญญาณไปทางฟอคัลแอดฮีชันคอมเพล็กซ์ (focal adhesion complex) ที่เกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนโคเนสชนิดต่างๆ ภายในเซลล์⁽¹²⁾ ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการเติมหมู่ฟอสเฟต และกระตุ้นการทำงานของโปรตีนในวิธีการส่งสัญญาณต่างๆ ต่อไป (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 วิธีการส่งสัญญาณอินทิกริน



รูปที่ 6 วิธีไนตริกออกไซด์ และวิธีพรอสตราแกรนดิน

5. วิธีไนตริกออกไซด์ และวิธีพรอสตราแกรนดิน (nitric oxide and prostaglandin signaling)

ไนตริกออกไซด์ (NO) สร้างมาจากแอล-อาร์จินิน (L-arginine, L-Arg) และโมเลกุลของออกซิเจน (oxygen) โดยการทำงานของเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทส (nitric oxide synthase, NOS) ซึ่ง ไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดขึ้น สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์กัวนิเลตไซเคเลส (guanylate cyclase, GC) และส่งผลต่อการแสดงออกของเซลล์ ผ่านทางวิธีที่เกี่ยวข้องกับไซคลิกกัวโนซีนโมโนฟอสเฟต หรือ ไซคลิกจีเอ็มพี

(cyclic guanosine monophosphate, cGMP) และโปรตีนไคเนสที่ขึ้นกับ cGMP (cGMP-dependent protein kinase, PKG) (รูปที่ 6)

PGE₂ ถูกสร้างขึ้นจากการทำงานของเอนไซม์ COX-2 ซึ่งเปลี่ยนกรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid) ให้กลายเป็น PGE₂ มีการศึกษาที่พบว่า แรงกลสามารถชักนำให้เกิดการเปิดออกอย่างรวดเร็วของคอนเนคซินโพรตีทรี Cx43 ซึ่งเป็นช่องรอยต่อระหว่างเซลล์ (hemichannels) ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อย PGE₂ ออกสู่ภายนอกเซลล์⁽¹³⁾ จากนั้น PGE₂ จะไปจับกับตัวรับ

เฉพาะ ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อะดีนิลไซคลเอส (adenyl cyclase, AC) และส่งผลต่อการแสดงออกของเซลล์ ผ่านทางวิถีที่เกี่ยวข้องกับไซคริกอะดีโนซีนโมโนฟอสเฟต (cyclic adenosine monophosphate, cAMP) และโปรตีนไคเนสที่ขึ้นกับ cAMP (cAMP-dependent protein kinase A, PKA)⁽¹⁴⁾ (รูปที่ 6)

แม้ปัจจุบันจะมีการศึกษาในแง่ที่มากมาย แต่กระบวนการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ชนิดต่างๆ ก็ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด มีหลายการศึกษาที่พบว่า เซลล์รับรู้ และส่งสัญญาณแตกต่างกันไปตามสิ่งกระตุ้นที่ได้รับ ทั้งการตอบสนองยังขึ้นกับ ขนาด, ระยะเวลา และความถี่ของแรงกระทำ รวมทั้งลักษณะของแรงกระทำด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า การตอบสนองต่อแรงกระทำแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของเซลล์ด้วย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้เข้าใจกระบวนการดังกล่าวได้มากขึ้น และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อนำแรงกระตุ้นทางกลที่เหมาะสม มาใช้ในการรักษาความผิดปกติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลในเซลล์เอ็นดอทีเรียล

แรงกระตุ้นทางกลสามารถชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแสดงออกของยีนต่างๆ ในเซลล์เอ็นดอทีเรียล ซึ่งส่งผลให้เกิดการหลั่งสารสื่อระหว่างเซลล์ และเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteinases) ต่างๆ ที่มีผลต่อการปรับเปลี่ยนของเมทริกซ์ภายนอกเซลล์ รวมทั้งมีผลต่อการทำงานของเซลล์สร้างกระดูก (osteoblasts) และเซลล์สลายกระดูก (osteoclasts) ด้วย⁽¹⁵⁾ นอกจากนี้เซลล์เอ็นดอทีเรียลยังสามารถแปรสภาพไปเป็นเซลล์สร้างกระดูกได้หลังจากถูกกระตุ้นด้วยแรงกลอีกด้วย⁽¹⁶⁻¹⁷⁾ ดังนั้นกระบวนการที่เซลล์เอ็นดอทีเรียลรับรู้ และตอบสนองต่อแรงกล จึงมีบทบาทในกระบวนการปรับเปลี่ยนของเนื้อเยื่อปริทันต์ และกระดูกรองรับฟัน ซึ่งมีความสำคัญมากในการรักษาดำแหน่งของฟัน รวมทั้งการเคลื่อนฟันขณะทำการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันด้วย

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของเซลล์เอ็นดอทีเรียลต่อแรงชนิดต่างๆ เพื่อนำองค์ความรู้มาประยุกต์ใช้ในการนำแรงกลที่เหมาะสม มาใช้ในการรักษาทางทันตกรรมทั้งในแง่การรักษาสมดุลของ เนื้อเยื่อรองรับฟัน, การกระตุ้นการเคลื่อนฟัน และการคงสภาพฟันหลังการจัดฟันด้วย

จากการศึกษาเรื่องการตอบสนองต่อแรงกลของเซลล์เอ็นดอทีเรียล หลายการศึกษาพบว่า แรงดึงยืด (tension) มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนกลุ่มคอลลาเจน (collagen, COL) และเมทริกซ์เมทัลโลโปรตีเอส (matrix metalloproteinase, MMP) ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนของเนื้อเยื่อ

เกี่ยวพัน โดยผ่านทางวิถีแมพไคเนส (MAPK)⁽¹⁸⁻¹⁹⁾ สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า แรงดึงยืดส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของยีนหลายตัวที่เกี่ยวข้องกับเมทริกซ์ภายนอกเซลล์ และโมเลกุลยึดเกาะของเซลล์ รวมทั้งโปรตีนอินทิกรินด้วย⁽²⁰⁾ แสดงให้เห็นว่าแรงดึงยืด มีบทบาทสำคัญในการรักษาสสมดุล และการปรับเปลี่ยนของเนื้อเยื่อรองรับฟันในเอ็นดอทีเรียล นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ให้แรงดึงยืดแบบเป็นจังหวะ (cyclic tension) กับเซลล์เอ็นดอทีเรียล ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของทรานสคริปชันแฟกเตอร์ (transcription factor) และยีนที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก ทั้งซีฟอสเอ็มอาร์เอ็นเอ (c-fos m-RNA)⁽²¹⁾, ยีนอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase, ALP)⁽²²⁾ รวมทั้งยีนรันช์ทู (Runx2) และยีนออกซ์ทีริกซ์ (osterix, Osx)⁽²³⁾ โดยผ่านทางกระบวนการกระตุ้น ERK, JNK และ p38 ในวิถี MAPK และยังมีผลเพิ่มการแสดงออกของยีนออกซ์ทีโอโปรทีจรีน หรือ โอพีจี (osteoprotegerin, OPG) และลดการแสดงออกของยีนรีเซปเตอร์แอกติเวเตอร์ออฟนิวเคลียร์แฟกเตอร์แคปปาบีไลแกนด หรือ แรงค์ไคแกนด (receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand, RANKL) ซึ่งส่งผลให้ยับยั้งการทำงานของเซลล์สลายกระดูก จากการศึกษานี้สอดคล้องกันข้างต้น แสดงให้เห็นว่าวิถีแมพไคเนส (MAPK) น่าจะมีบทบาทสำคัญในการตอบสนองต่อแรงดึงยืดแบบเป็นจังหวะของเซลล์เอ็นดอทีเรียล ซึ่งจะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนกระดูกรองรับฟัน โดยผ่านทางกระบวนการแปรสภาพไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก และการควบคุมการทำงานของเซลล์สลายกระดูก

ปัจจุบันมีการศึกษาที่พบว่า การให้แรงกด (compression) กับเซลล์เอ็นดอทีเรียล ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของยีน RANKL และมีผลเพิ่มจำนวนเซลล์สลายกระดูก โดยผ่านกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ COX-2 และ PGE₂^(15, 24) และยังพบว่าแรงกดทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของออกซ์ทีโอพอนติน (osteopontin, OPN) ผ่านทางวิถีโรไคเนส (Rho kinase pathway) ซึ่งเป็นวิถีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารโครงร่างเซลล์ โดย OPN เป็นสารที่ควบคุมการยึดเกาะของเซลล์สลายกระดูก ซึ่งส่งผลให้เกิดการสลายกระดูกเพิ่มขึ้น⁽²⁵⁾ จากหลายการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการตอบสนองต่อแรงกดของเซลล์เอ็นดอทีเรียล น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการปรับเปลี่ยนของกระดูกรองรับฟัน ไปในทางการกระตุ้นการสลายกระดูก ผ่านทางกระบวนการควบคุมการทำงานของเซลล์สลายกระดูก แต่อย่างไรก็ตามก็มีการศึกษาที่พบการเพิ่มขึ้นของยีน OPG หลังได้รับแรงกดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่า 6 ชั่วโมง ซึ่งมีผลลดการทำงานของเซลล์สลายกระดูก แสดงให้เห็นว่าการตอบสนองของเซลล์เอ็นดอทีเรียลต่อแรงกดจะไปในทางการกระตุ้นการสร้าง หรือการสลายกระดูกนั้น ขึ้นกับ

ลักษณะของการให้แรงกดด้วย⁽²⁶⁾

นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของเซลล์เอ็นยิตปริทันต์ต่อแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง ก็เป็นที่สนใจอย่างแพร่หลาย โดยพบว่า แรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางมีผลเพิ่ม *Osx* ซึ่งเป็นทรานสคริปชันแฟกเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการแปรสภาพของเซลล์ไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก⁽²⁷⁾ และยังพบการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ ALP และการเพิ่มขึ้นของยีนคอร์-ไบนด์ดิ้งแฟกเตอร์แอลฟาวัน (core-binding factor alpha I, *Cbfa I*), ALP, OPN, โบนีสโอะโลโปรตีน (bone sialoprotein), ออสทีโอแคลซิน (osteocalcin, *OCN*) และ *COL I* ซึ่งเป็นกลุ่มยีนที่แสดงถึงการแปรสภาพของเซลล์ไปเป็นเซลล์สร้างกระดูก⁽²⁸⁾ โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของยีน *COL I* จากแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางถูกควบคุมผ่านทางวิถี *ERK/JNK*⁽²⁹⁾ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่พบว่าแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางมีผลยับยั้งการทำงานของเซลล์สลายกระดูก จากการเพิ่มขึ้นของยีน *OPG* โดยผ่านทางวิถี *ERK* อีกด้วย⁽³⁰⁾ จากการศึกษาที่สอดคล้องกันนี้ แสดงให้เห็นว่าแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลางมีผลไปในทางกระตุ้นการสร้างกระดูก โดยผ่านทั้งทางการแปรสภาพไปเป็นเซลล์สร้างกระดูกมากขึ้น และทางการยับยั้งการทำงานของเซลล์สลายกระดูก ซึ่ง *Osx* และ วิถี *ERK* น่าจะมีบทบาทสำคัญในกระบวนการนี้

แม้จะมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อแรงกระตุ้นทางกลในเซลล์เอ็นยิตปริทันต์มากมาย แต่กระบวนการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ปัจจุบันยังไม่มีผู้ใดอธิบายกระบวนการที่แท้จริงทั้งหมดได้ นอกจากนี้การตอบสนองของเซลล์ยังแตกต่างกันไป ขึ้นกับชนิดของแรงกระตุ้นด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก เพื่อที่จะสามารถนำองค์ความรู้มาใช้อธิบายกระบวนการต่างๆ ทั้งหมดได้

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลต่อแรงจากการสั่นสะเทือนในเซลล์เอ็นยิตปริทันต์

แรงสั่นสะเทือนมีคุณสมบัติในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเซลล์ รวมทั้งกระตุ้นกระบวนการปรับเปลี่ยนของกระดูก ทางกายภาพมีการนำแรงสั่นสะเทือนที่มีแรงขนาดต่ำความถี่สูง (low magnitude high frequency, LMHF) มาใช้ในแง่ของการกระตุ้นการสร้างกระดูก โดยมีการศึกษาพบว่า ให้ผลเพิ่มมวลกระดูกทั้งในสัตว์ทดลอง และในมนุษย์⁽³¹⁾ และด้วยคุณสมบัตินี้เอง ในทางทันตกรรมจึงให้ความสนใจมากขึ้น ในการนำมาใช้กระตุ้นการเคลื่อนฟัน และการคงสภาพฟันหลังการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน

หลายการศึกษาพบว่า แรงสั่นสะเทือน LMHF ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของยีนที่เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพไปเป็นเซลล์สร้างกระดูกทั้งในเซลล์ต้นกำเนิดจากไขกระดูก (bone marrow-derived

mesenchymal stromal cells, *BMSCs*) และเซลล์ต้นกำเนิดในเอ็นยิตปริทันต์ (periodontal ligament stem cells, *PDLSCs*) โดยผ่านทางวิถี *ERK1/2* ซึ่งส่งผลให้มีการสร้างกระดูกเพิ่มมากขึ้น^(16, 32-33) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการหลั่งสารที่มีผลลดการทำงานของเซลล์สลายกระดูกด้วย⁽³⁴⁻³⁵⁾

แม้จะมีการศึกษาที่พบว่า การใช้แรงสั่นสะเทือนกระตุ้น *BMSCs* และ *PDLSCs* ให้ผลกระตุ้นการสร้างกระดูก แต่เนื่องจากการกระบวนการถ่ายโอนเชิงกลเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน และการตอบสนองยังขึ้นกับปัจจัยต่างๆ มากมาย รวมทั้งการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เอ็นยิตปริทันต์ยังมีน้อยมาก ดังนั้น การที่จะสรุปได้ว่าเซลล์เอ็นยิตปริทันต์ใช้กระบวนการใดบ้างในการรับรู้และตอบสนองต่อแรงจากการสั่นสะเทือน รวมทั้งการตอบสนองจะเป็นไปในทิศทางใดนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต เพื่อที่จะสามารถนำแรงสั่นสะเทือนมาใช้ประโยชน์ในทางทันตกรรมได้มากขึ้น ทั้งในแง่การรักษาสมดุลของเนื้อเยื่อรองรับฟัน การกระตุ้นการเคลื่อนฟัน และการคงสภาพฟันหลังการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันด้วย

บทสรุป (Conclusion)

วิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ เป็นกระบวนการสำคัญที่เซลล์รับรู้ และตอบสนองต่อตัวกระตุ้นทางกล โดยเซลล์รับรู้ผ่านตัวรับที่สำคัญ ได้แก่ อินทิกริน, GPCRs, RTKs และช่องไอออนที่ไวต่อการยืด จากนั้นส่งสัญญาณเข้าไปภายในเซลล์ผ่านวิธีการถ่ายโอนเชิงกลภายในเซลล์ที่สำคัญ ได้แก่ วิถี *MAPK*, วิธีการส่งสัญญาณแคลเซียมไอออน, วิธีการส่งสัญญาณวินท/เบตาแคทีนิน, วิธีการส่งสัญญาณอินทิกริน รวมทั้งวิถีไนตริกออกไซด์และวิถีพรอสตราแกรนดิน สำหรับในทางทันตกรรมเซลล์เอ็นยิตปริทันต์ เป็นเซลล์ที่มีบทบาทสำคัญในการรับรู้ และตอบสนองต่อแรงกระตุ้นทางกล ซึ่งกระบวนการดังกล่าว มีความสำคัญมากในการรักษาตำแหน่งของฟัน รวมทั้งการเคลื่อนฟันขณะทำการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันด้วย ดังนั้นการศึกษาและการทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการรับรู้และการตอบสนองของเซลล์เอ็นยิตปริทันต์ต่อแรงกระตุ้นทางกลชนิดต่างๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่จะสามารถนำแรงกระตุ้นทางกลที่เหมาะสม มาประยุกต์ใช้ในการรักษาทางทันตกรรมได้มากขึ้น และแม้ว่าปัจจุบันมีการศึกษาในแง่ nàyมากมาย แต่เนื่องจากกระบวนการดังกล่าว ประกอบด้วยกลไกที่มีความซับซ้อน ซึ่งองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง (References)

- Huang H, Kamm RD, Lee RT. Cell mechanics and mechanotransduction: pathways, probes, and physiology. *Am J Physiol Cell Physiol* 2004;287:C1-11.
- Hynes RO. Integrins: bidirectional, allosteric signaling machines. *Cell* 2002;110:673-87.
- Gilman AG. G proteins: transducers of receptor-generated signals. *Annu Rev Biochem* 1987;56:615-49.
- Lemmon MA, Schlessinger J. Cell signaling by receptor tyrosine kinases. *Cell* 2010;141:1117-34.
- Sackin H. Mechanosensitive channels. *Annu Rev Physiol* 1995;57:333-53.
- Chang L, Karin M. Mammalian MAP kinase signalling cascades. *Nature* 2001;410:37-40.
- Cargnello M, Roux PP. Activation and function of the MAPKs and their substrates, the MAPK-activated protein kinases. *Microbiol Mol Biol Rev* 2011;75:50-83.
- Papachristou DJ, Papachroni KK, Basdra EK, Papavassiliou AG. Signaling networks and transcription factors regulating mechanotransduction in bone. *Bioessays* 2009;31:794-804.
- Ogasawara A, Arakawa T, Kaneda T, Takuma T, Sato T, Kaneko H, et al. Fluid shear stress-induced cyclooxygenase-2 expression is mediated by C/EBP beta, cAMP-response element-binding protein, and AP-1 in osteoblastic MC3T3-E1 cells. *J Biol Chem* 2001;276:7048-54.
- Hughes-Fulford M. Signal Transduction and Mechanical Stress. *Sci STKE* 2004;RE12
- Hynes RO. Integrins: versatility, modulation, and signaling in cell adhesion. *Cell* 1992;69:11-25.
- Mitra SK, Schlaepfer DD. Integrin-regulated FAK-Src signaling in normal and cancer cells. *Curr Opin Cell Biol* 2006;18:516-23.
- Cherian PP, Siller-Jackson AJ, Gu S, Wang X, Bonewald LF, Sprague E, et al. Mechanical strain opens connexin 43 hemichannels in osteocytes: a novel mechanism for the release of prostaglandin. *Mol Biol Cell* 2005;16:3100-6.
- Cherian PP, Cheng B, Gu S, Sprague E, Bonewald LF, Jiang JX. Effects of mechanical strain on the function of Gap junctions in osteocytes are mediated through the prostaglandin EP2 receptor. *J Biol Chem* 2003;278:43146-56.
- Kanzaki H, Chiba M, Shimizu Y, Mitani H. Periodontal ligament cells under mechanical stress induce osteoclastogenesis by receptor activator of nuclear factor kappaB ligand up-regulation via prostaglandin E2 synthesis. *J Bone Miner Res* 2002;17:210-20.
- Zhang C, Li J, Zhang L, Zhou Y, Hou W, Quan H, et al. Effects of mechanical vibration on proliferation and osteogenic differentiation of human periodontal ligament stem cells. *Arch Oral Biol* 2012;57:1395-407.
- Jacobs C, Grimm S, Ziebart T, Walter C, Wehrbein H. Osteogenic differentiation of periodontal fibroblasts is dependent on the strength of mechanical strain. *Arch Oral Biol* 2013;58:896-904.
- Ziegler N, Alonso A, Steinberg T, Woodnutt D, Kohl A, Mussig E, et al. Mechano-transduction in periodontal ligament cells identifies activated states of MAP-kinases p42/44 and p38-stress kinase as a mechanism for MMP-13 expression. *BMC Cell Biol* 2010;11:10.
- Kook SH, Jang YS, Lee JC. Involvement of JNK-AP-1 and ERK-NF-kappaB signaling in tension-stimulated expression of type I collagen and MMP-1 in human periodontal ligament fibroblasts. *J Appl Physiol* (1985) 2011;111:1575-83.
- Ma J, Zhao D, Wu Y, Xu C, Zhang F. Cyclic stretch induced gene expression of extracellular matrix and adhesion molecules in human periodontal ligament cells. *Arch Oral Biol* 2015;60:447-55.
- Yamaguchi N, Chiba M, Mitani H. The induction of c-fos mRNA expression by mechanical stress in human periodontal ligament cells. *Arch Oral Biol* 2002;47:465-71.
- Konstantonis D, Papadopoulou A, Makou M, Eliades T, Basdra E, Kletsas D. The role of cellular senescence on the cyclic stretching-mediated activation of MAPK and ALP expression and activity in human periodontal ligament fibroblasts. *Exp Gerontol* 2014;57:175-80.
- Li S, Zhang H, Yang Y, Huo B, Zhang D. Connexin 43 and ERK regulate tension-induced signal transduction in human periodontal ligament fibroblasts. *J Orthop Res* 2015;33:1008-14.
- Mayahara K, Yamaguchi A, Takenouchi H, Kariya T, Taguchi H, Shimizu N. Osteoblasts stimulate osteoclastogenesis via RANKL expression more strongly than periodontal ligament cells do in response to PGE(2). *Arch Oral Biol* 2012;57:1377-84.
- Wongkhantee S, Yongchaitrakul T, Pavasant P. Mechanical stress induces osteopontin expression in human periodontal ligament cells through rho kinase. *J Periodontol* 2007;78:1113-9.
- Wu Y, Yang Y, Yang P, Gu Y, Zhao Z, Tan L, et al. The osteogenic differentiation of PDLSCs is mediated through MEK/ERK and p38 MAPK signalling under hypoxia. *Arch Oral Biol* 2013;58:1357-68.

27. Nakashima K, Zhou X, Kunkel G, Zhang Z, Deng JM, Behringer RR, et al. The novel zinc finger-containing transcription factor osterix is required for osteoblast differentiation and bone formation. *Cell* 2002;108:17-29.
28. Zhao Y, Wang C, Li S, Song H, Wei F, Pan K, et al. Expression of Osterix in mechanical stress-induced osteogenic differentiation of periodontal ligament cells in vitro. *Eur J Oral Sci* 2008;116:199-206.
29. Kook SH, Hwang JM, Park JS, Kim EM, Heo JS, Jeon YM, et al. Mechanical force induces type I collagen expression in human periodontal ligament fibroblasts through activation of ERK/JNK and AP-1. *J Cell Biochem* 2009;106:1060-7.
30. Kook SH, Son YO, Hwang JM, Kim EM, Lee CB, Jeon YM, et al. Mechanical force inhibits osteoclastogenic potential of human periodontal ligament fibroblasts through OPG production and ERK-mediated signaling. *J Cell Biochem* 2009;106:1010-9.
31. Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, Belli A, Vico L. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev* 2008;7:319-29.
32. Zhou Y, Guan X, Zhu Z, Gao S, Zhang C, Li C, et al. Osteogenic differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stromal cells on bone-derived scaffolds: effect of microvibration and role of ERK1/2 activation. *Eur Cell Mater* 2011;22:12-25.
33. Zhang C, Lu Y, Zhang L, Liu Y, Zhou Y, Chen Y, et al. Influence of different intensities of vibration on proliferation and differentiation of human periodontal ligament stem cells. *Arch Med Sci* 2015;11:638-46.
34. Lau E, Al-Dujaili S, Guenther A, Liu D, Wang L, You L. Effect of low-magnitude, high-frequency vibration on osteocytes in the regulation of osteoclasts. *Bone* 2010;46:1508-15.
35. Wu SH, Zhong ZM, Chen JT. Low-magnitude high-frequency vibration inhibits RANKL-induced osteoclast differentiation of RAW264.7 cells. *Int J Med Sci* 2012;9:801-7.

Empower² Self Ligating

For more information, visit www.dental-siam.co.th or call 02-318-4248



Empower² Clear Self Ligating

Interception or passive options offer treatment flexibility. Ceramic bracket body and rhodium-plated clip deliver patient pleasing aesthetics. Dependable bond strength combined with predictable debonding provide bonding confidence.



MASTER²

Traditional-size brackets and tubes for uncompromising control.



BRACKET
Color coded by quadrant:

Black	Green
Red	White

WING
HGW: high gingival wing
D-G: distal gingival
M-G: mesial gingival
VS: vertical slot

power SCOPE²

CLASS II CORRECTION SIMPLIFIED

PowerScope 2 delivers simple, efficient Class II correction like you've never seen before. The latest generation of PowerScope features a stronger wire attachment nut and visual activation indicators.



Fixed one piece, one size fits all design.
Easy chloride wire-to-wire installation.
No assembly or set up required.
No headgear or special band assemblies.
Use with banding or bondable molar tubes.
World-class clinical results.



Low Profile LP buccal tubes feature smooth contours for patient comfort, a funneled mesial opening for easy wire insertion, and occlusal/gingival positioning guides designed to make bonding easier at the posterior.



Elastomerics

