

ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่กลุ่มฟันหลังบนไปด้านหลัง และทิศทางของแนวแรงจากหลักยึดหมุดฝังในกระดูก ไปยังตะขอเกี่ยวหลายระดับ วิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Maxillary Posterior Teeth Distalization with Miniscrew Anchorage Relative to Force Vectors Applied to Different Lengths of Retraction Hook, Analyzed Using the Finite Element Method

ธัญญภัทร์ อังคทะวิวัฒน์¹, วิรัช พัฒนภรณ์², ชัย รังสิยากุล³

¹โรงพยาบาลพหลพลพยุหเสนา จังหวัดกาญจนบุรี

²ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Thannapat Aungkatawiwat¹, Virush Patanaporn², Chaiy Rungsiyakul³

¹Paholpolpayuhasena Hospital, Kanchanaburi

²Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

ชม. ทันตสาร 2561; 39(2) : 77-89

CM Dent J 2018; 39(2) : 77-89

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อประเมินและเปรียบเทียบการกระจายแรงและรูปแบบการเคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางของกลุ่มฟันหลังบนเมื่อใช้ปริมาณแรงขนาด 250 กรัม โดยให้แรงจากหลักยึดหมุดฝัง ไปยังตะขอเกี่ยวที่ระดับต่าง ๆ ได้แก่ 0 2 4 6 และ 8 มิลลิเมตร วิเคราะห์ โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

The purposes of this study were to investigate and compare the stress distributions and displacement pattern for maxillary posterior segment distalization. When the force magnitude 250 g was applied from the miniscrew anchorage to the vertical positions of the retraction hook of 0, 2, 4, 6 and 8 mm, analyzed using the finite element method.

Corresponding Author:

วิรัช พัฒนภรณ์

ศาสตราจารย์คลินิก ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Virush Patanaporn

Clinical Professor, Department of Orthodontics
and Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry,
Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand
E-mail: virush.p@cmu.ac.th

โมเดลสามมิติถูกสร้างขึ้นประกอบด้วยฟันกรามน้อยบนซี่ที่หนึ่ง ฟันกรามน้อยบนซี่ที่สอง ฟันกรามบนซี่ที่หนึ่ง และฟันกรามบนซี่ที่สอง เอ็นยึดปริทันต์ และกระดูกขาฟัน โดยให้แรงไปทางด้านไกลกลางขนาดต่าง ๆ จากหลักยึดหมุดฝังที่บริเวณใต้ต่อกระดูกโหนกแก้ม เพื่อเคลื่อนกลุ่มฟันหลังบนไปทางด้านหลัง ประเมินการเคลื่อนที่ของฟันแต่ละซี่ ตามแนวแกน x y และ z รวมทั้งดูค่าความเค้นวอนมิสโดยใช้ระดับแถบสีมาตรฐาน

พบว่าเมื่อให้แรงที่ตะขอเกี่ยวระดับต่ำสุด (0 มิลลิเมตร) ฟันทุกซี่จะเคลื่อนที่โดยตัวฟันเคลื่อนไปทางด้านไกลกลาง ร่วมกับฟันซี่กรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง และฟันกรามซี่ที่สองถูกดันเข้าไปทาง รากฟัน แต่พบว่าฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ถูกดันออกไปทาง ระบายสบ ฟันเล็กน้อย และ ฟันทุกซี่เคลื่อนหมุนออกทางด้านแก้ม แต่เมื่อให้แรงที่ตะขอเกี่ยวระดับสูงที่สุด (8 มิลลิเมตร) พบว่าตัวฟัน ของฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง และ ฟันกรามซี่ที่สอง เคลื่อนที่ไปทางด้าน ไกลกลางมากขึ้น แต่ ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งจะเคลื่อนไปทางด้านไกลกลางลดน้อยลง ร่วมกับตัวฟันของ ฟันทุกซี่เคลื่อนแบบดันออกไปทางระบายสบฟัน และฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันกรามซี่ที่หนึ่ง และฟันกรามซี่ที่สอง เคลื่อนที่หมุนเข้าทางด้านลิ้น ส่วนฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่งเคลื่อนหมุนออกทางด้านแก้มเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าที่ ระดับตะขอเกี่ยวสูง 0 และ 2 มิลลิเมตร จะมีการเคลื่อนที่ของฟันทุกซี่โดยส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลาง และมีการเคลื่อนที่ไปทาง แนวตั้งน้อย ส่วนที่ระดับตะขอเกี่ยว 2 และ 4 มิลลิเมตร จะมีการเคลื่อนที่ของฟันทุกซี่โดยส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางและมีการเคลื่อนที่ไปทาง แนวขวางน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่ง ตะขอเกี่ยวระดับอื่น ๆ

ผลจากการศึกษาพบว่าตะขอเกี่ยวระดับต่ำ 0 2 และ 4 มิลลิเมตร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางมาก ร่วมกับฟันเคลื่อนที่แนวตั้งและแนวขวางน้อยเมื่อเทียบกับระดับตะขออื่น ๆ สำหรับตะขอเกี่ยวระดับสูง 6 และ 8 มิลลิเมตร พบการเคลื่อนที่ในแนวตั้งและแนวขวางมากในฟันทุกซี่ ยกเว้นฟันกรามบนซี่ที่สอง ที่พบการ

A 3-D finite element model was constructed to simulate the maxillary first and second premolars and molars, periodontal ligament, and alveolar process. Distalizing forces were applied through a miniscrew at modified infrazygoma area for maxillary posterior segment distalization. The displacement of each tooth was evaluated on x, y, and z-axis, and the von Mises stress distribution was visualized using color-coded scales.

When the force vector acted at the lowest vertical position of the retraction hook (0 mm), distal crown tipping occurred in every tooth, and intrusion occurred in the second premolars, first molars and second molars. But first premolars showed slightly extrusion. Furthermore, buccal out-rotation occurred in every tooth. When the force vector acted at the highest level of the retraction hook (8 mm), greater distal crown movement occurred in the second premolars, first molars and second molars than at any other level. But the first premolars showed a progressive decrease in distal crown tipping. Moreover, extrusion occurred in every tooth. Lingual in-rotation occurred in the second premolars, first molars and second molars. But the first premolars showed slight buccal out-rotation. However, the retraction hook levels of 0 mm and 2 mm showed distal movement in every tooth, with minimal movement in the vertical direction, but the retraction hook levels of 2 mm and 4 mm showed distal movement in every tooth, with minimal movement in the transverse direction than at the other hook levels.

These results suggest that the low retraction hook levels of 0 mm, 2 mm and 4 mm showed greater distal movement with minimal vertical and transverse movement than at the other hook levels. The high

เคลื่อนที่ในแนวตั้ง และฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง ที่พบการเคลื่อนที่ในแนวขวางในปริมาณน้อยมาก สรุปได้ว่าระดับความสูงแนวตั้งของตะขอเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดรูปแบบของการเคลื่อนที่ไปทางด้านไกลกลางของกลุ่มฟันหลังบน เนื่องจากรูปแบบการเคลื่อนที่ของฟันขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างแนวแรงและตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความต้านทานของระบบแรง

คำสำคัญ: การเคลื่อนที่ของกลุ่มฟันหลังบนไปด้านไกลกลาง วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จุดศูนย์กลางความต้านทาน

retraction hook levels of 6 mm and 8 mm showed greater vertical and transverse movement in every tooth except the second molar in the vertical direction and the first premolar in the transverse direction, which showed the least amount of movement. It was concluded that the vertical position of the retraction hook is an important factor in achieving controlled maxillary posterior teeth distalization because the type of tooth movement depends on the relationship between the line of force and the location of the center of resistance of the force system.

Keywords: maxillary posterior teeth distalization, Finite element, Center of resistance

Introduction

Distalization of the maxillary posterior teeth is one of the treatment options to correct molar Class II relationships or maxillary anterior crowding with non-extraction mechanics.⁽¹⁾ Extraoral appliances for distalizing maxillary molar teeth is the application of extra-oral headgear,⁽²⁾ but it requires patient cooperation. To overcome this problem, various fixed appliances can be used that do not require patient compliance. Fixed intraoral appliances for maxillary molar distalization are: the pendulum, push-coils, magnets, superelastic NiTi wires, the distal jet, and molar slider.⁽³⁾ However non-compliance devices also have undesired anchorage loss side effects, such as maxillary incisor protrusion and increase in overjet and overbite.⁽³⁾ Moreover, these devices are limited to single- or two-molar distalization.⁽⁴⁾

Today we can rely on resources, such as skeletal anchorage, in particular with miniscrews, which have proved efficacious as an anchorage control method by

significantly reducing, or even eliminating, the need for patient compliance, thereby rendering treatment more predictable and efficient.⁽⁵⁾

In cases of maxillary posterior distalization, miniscrews can be inserted in a variety of maxillary sites. Miniscrew implant placement at the modified infrazygomatic crest site has been suggested, especially for group distal movement of maxillary posterior teeth during Class II malocclusion treatment, because the tip of the miniscrew implant at this site does not interfere with dental root movement.⁽⁶⁻⁸⁾

When the retraction force is provided to an archwire by miniscrews (at the modified infrazygomatic crest), the patterns of tooth movement in posterior segmental distalization with direct-miniscrew anchorage tend to generate a more intrusive force vector on posterior teeth than do traditional mechanics.⁽⁹⁾ This force vector can be controlled by changing the height of the miniscrew insertion site and/or the vertical position of the retraction hook.

In sliding mechanics, hooks are used on the archwire as force application points to achieve posterior distalization. The vertical position of the retraction hook plays an important role in determining force vectors. Some hook position variation can also be employed to compensate for anatomic limitations at miniscrew insertion sites.⁽⁹⁻¹¹⁾

Displacement of the posterior segment may be dictated by a direct relationship between the center of resistance of the segment and the line of action generated between the miniscrew and the vertical hook position. The need may arise to increase position during the distalization phase to achieve a force action line as parallel as possible to the occlusal plane.⁽¹²⁾

To analyze the effects of orthodontic forces and mechanics on teeth with periodontal tissue, the finite element method (FEM) is a useful computer-simulation tool in engineering for solving stress-strain problems in the mechanics of solids and structures.⁽¹³⁾ The FEM has become a powerful technique for stress analysis in biological structures,⁽¹⁴⁾ by which loads can be applied in different directions and at different magnitudes for a more complete analysis. FEM has been applied widely to orthodontic research, in which the mechanical responses of periodontal tissue and bony structures relative to orthodontic forces on the teeth were studied.⁽¹⁵⁾

The purposes of this study were to investigate and compare the displacement patterns of force vectors produced by retraction hook positions of 0, 2, 4, 6 and 8 mm above the archwire when force vectors were applied to mini-screw anchorage for maxillary posterior segment distalization, using the finite element method.

Materials and Methods

Generation of the finite element model

1. Modeling of 3-D models

For the finite-element model, we obtained the

tooth outline forms through the 3-D laser scanning of a maxillary left dentition from a dental study model (base model) (model-i21D-400G, Nissin Dental Products, Kyoto, Japan) of an adult with normal occlusion. The geometry of the maxillary models was reconstructed using the Solid Works (SolidWorks Corporation, Dassault Systèmes S.A., Seattle, Washington, USA.) software. The first and second maxillary premolar and molar teeth were the subjects of this study.

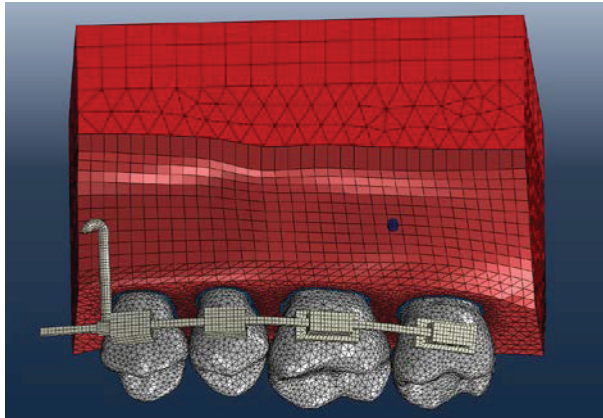
The thickness of the periodontal ligament was assumed to be uniform (0.25 mm),⁽¹⁶⁾ The brackets were simulated as attachments to the teeth. The bracket position was at the vertical and horizontal center of the clinical crown of each tooth. The main archwire was modeled according to the dimensions of a 0.017×0.025-inch (in) stainless steel archwire, and it was assumed that there was no play between the brackets and the archwire. The retraction hook was modeled using a rigid (0.036-in) stainless steel wire, in order to reduce the deflection when retraction force was applied to the archwire mesial to the first premolar. The miniscrew position was set at 8 mm apical to the archwire, at the midpoint between adjacent brackets of the first and second molar teeth (Figure 1).

The midpoints of the buccal cusp tips of the premolars, the mesio-buccal cusp tips of the molars, the buccal root apices of the premolars and the mesio-buccal root apices of the molars were used as landmarks for the assessment of displacement (Figure 2).

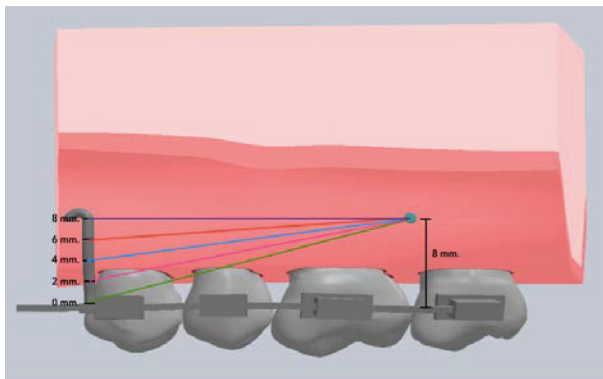
2. Material properties

The teeth, alveolar bone, brackets and archwire were all constructed using fine tetrahedron solid elements, and were all assumed to be isoparametric and homogeneous, linear, elastic bodies. Altogether, the model was constructed with 572,390 nodes and 2,884,369 elements. The Young's modulus and

A.



B.



รูปที่ 1 A แบบจำลอง 3 มิติ ไฟไนต์เอลิเมนต์
B ตำแหน่งของหลักยึดหมุดฝังในกระดูก และตะขอ
เกี่ยวหลายระดับ หลักยึดหมุดฝังถูกจำลองให้อยู่
ระหว่าง ฟันกรามแท้ซี่ที่ 1 และซี่ที่ 2 โดยอยู่สูงขึ้นไป
จากหลอดเลือดหลักขึ้นไป 8 มิลลิเมตร

Figure 1 A Three-dimensional finite element model.
B Location of the miniscrew and retraction hook.
Miniscrew position was simulated 8 mm above
the main archwire, at the contact point between
the first molar and second molar

Poisson's ratio of the elements were obtained from previous studies (Table 1).^(17,18) A non-linear and non-symmetric approach was used to describe the material properties of the PDL, and a Poisson's ratio of 0.3 was used.^(19,20) The elements were examined with Mesh Verify command in ABAQUS (Abaqus Unified FEA,

Dassault Systèmes S.A.) to ensure convergence of the FE model

3. Loading and boundary conditions

Due to the large number of elements, teeth and bone were approximated as uniform structures, without differentiation between enamel and dentin. Each tooth contacted the adjacent tooth at the contact point as an individual element. At the interface between the archwire and the brackets, transitional degrees of freedom were not constrained and the friction in the interface was ignored.

4. Simulation of force vectors

In order to investigate the influence of the vertical position of the retraction hook on the displacement pattern and stress distribution, a retraction hook was located mesial to the first premolar. A single force vector (250 g) was applied through a miniscrew positioned between the maxillary second premolar and first molar to retraction hooks extending 0, 2, 4, 6, and 8 mm apical to the archwire (Figure 3).

A standard coordinate system was constructed with the x-axis corresponding to the bucco-palatal direction, the y-axis the superior-inferior direction, and the z-axis the antero-posterior direction. A +x value

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของฟัน เหล็กกล้าไร้สนิม กระดูกขาฟัน
และเอ็นยึดปริทันต์

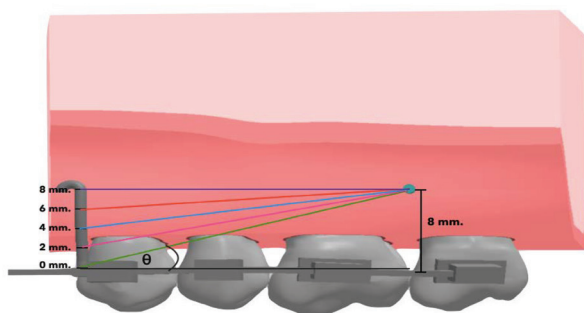
Table 1 Material properties⁽¹⁸⁾ of tooth, Stainless steel,
Alveolar bone and Periodontal ligament

	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Teeth	2.0E + 07	0.3
Stainless steel	2.0E + 08	0.3
Alveolar bone	2.0E + 03	0.3
Periodontal ligament	Hyperelastic ⁽²¹⁾	0.45



รูปที่ 2 กำหนดตำแหน่งเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่แต่ละจุด จะแสดงจุดกึ่งกลางของปุ่มยอดฟันด้านแก้มของฟันกรามน้อย ปุ่มยอดฟันด้านแก้มใกล้กลางของฟันกรามปลายรากฟันด้านแก้มของฟันกรามน้อย และปลายรากฟันด้านแก้มใกล้กลางของฟันกราม

Figure 2 Landmarks for the assessment of displacement; Dots indicate the midpoints of the buccal cusp tips of the premolars, the mesio-buccal cusp tips of the molars, the buccal root apices of the premolars and the mesio-buccal root apices of the molars.



รูปที่ 3 รูปจำลองทิศทางของแรง (250 กรัม) สัญลักษณ์ θ แทนค่ามุมที่เกิดจากแนวแรง จากหลักยึดหมุดฝังในกระดูกไปยังตะขอเกี่ยวที่ระดับ 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร

Figure 3 Schematic force diagram and θ angle for the mesial placement of the miniscrew. Forces (250 g) were applied from the miniscrew to five different vertical positions of the retraction hook: 0, 2, 4, 6 and 8 mm.

was defined as the medial direction, +y as the apical direction, and +z as the posterior direction (Figure 3). The displacements of the teeth were calculated by applying the x, y, and z coordinates at the midpoints of the buccal cusp tips of the premolars, the mesio-buccal cusp tips of the molars, the buccal root apices of the premolars and the mesio-buccal root apices of the molars. The changes in tooth axes were calculated in each plane of space. Furthermore, the von Mises stress distribution along the periodontal ligament was calculated and visualized in the contour plot. Universal finite element software (ABAQUS) was used to calculate and visualize the results.

Results

The effects of distalizing force application to variable lengths of lever arm

To examine three-dimensional movements of the crowns and roots of the premolar and molar teeth, displacements of the crowns and roots were evaluated, respectively.

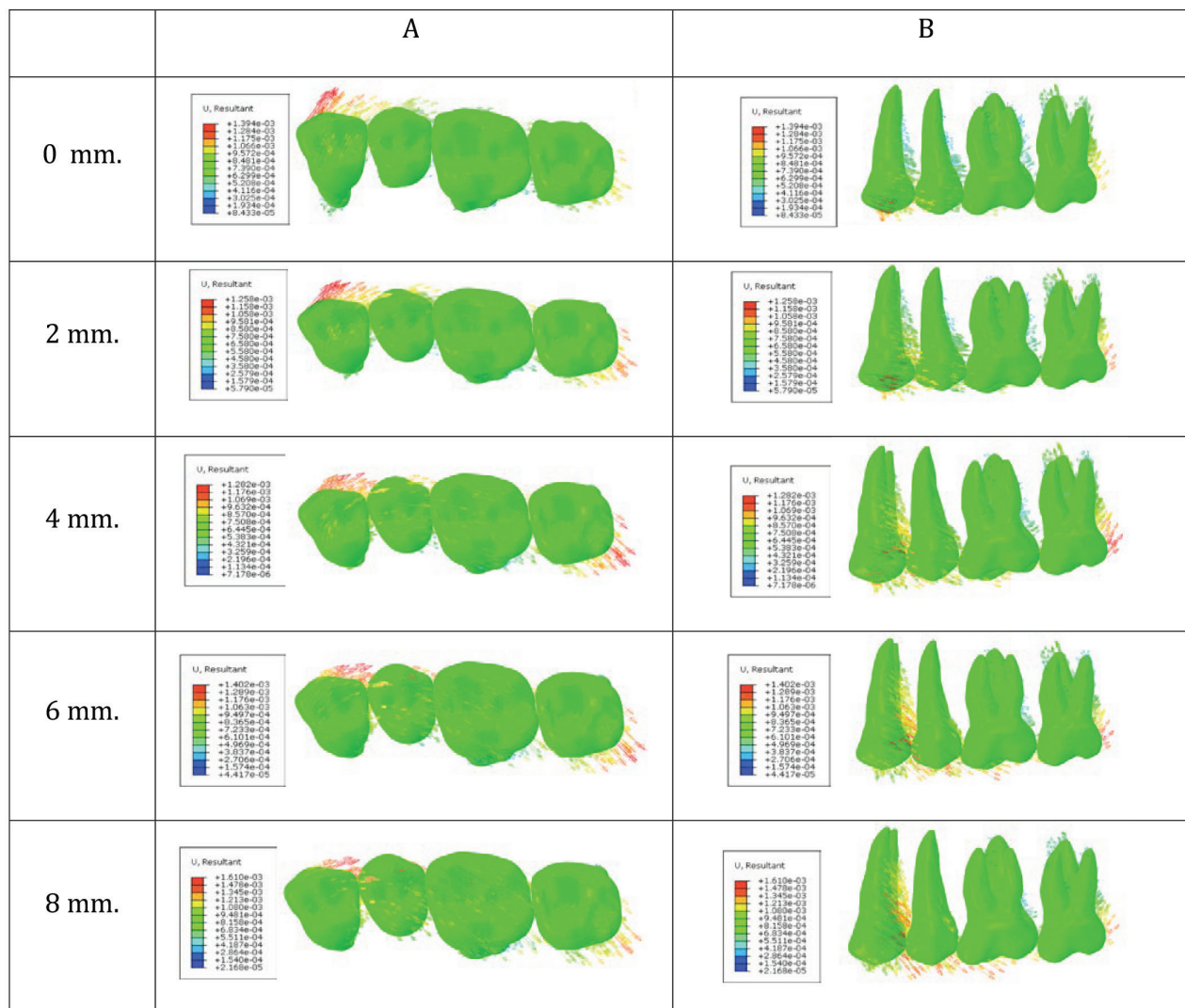
- Distal displacement relative to the various vertical positions of retraction hook

Figure 4 (A,B) and Figure 5 show the distal displacement of the crowns and roots for various vertical positions of retraction hook. When the vertical position of the retraction hook was low, the crowns of the four teeth moved in the distal direction and root apices moved in the mesial direction. This movement was uncontrolled distal tipping. The amount of crown movement was greater than that of root movement. When the hook was higher, a larger amount of distal crown movement was observed in all teeth except the first premolars, which showed a progressive decrease in distal crown movement. The amount of molar distalization increased slightly as the length of the hook increased, due to the greater horizontal vector of the distalizing force.

• Vertical displacement relative to the various vertical positions of retraction hook

Figure 4 (B) and Figure 6 show the vertical displacement of the crown for various vertical positions of retraction hook. When the vertical position of the retraction hook was lowest (0 mm), the crowns of the second premolars, first molars and second molars moved in the apical direction, the amount of displacement gradually increasing from the anterior to

the posterior teeth. But the first premolars showed slight movement in the occlusal direction. A larger amount of intrusion movement was observed in the first and second molar than in the premolars. On the other hand, when the vertical position of the retraction hook was highest (8 mm), the crowns of the four teeth moved in the occlusal direction. These results showed extrusion of the four teeth, with a larger amount of extrusion movement in the first and second premolars and first



รูปที่ 4 รูปแบบการเคลื่อนที่ของฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 และ 2 และฟันกรามซี่ที่ 1 และ 2 A มุมมองด้านบดเคี้ยว B มุมมองแนวหน้า
หน้าหลัง

Figure 4 Displacement pattern of the first and second premolars and molars A, Occlusal view B, Sagittal view

molars than at the other hook levels, but with only slight extrusion in the second molars. However, it was found that the retraction hook levels of 0 mm and 2 mm showed the least amount of movement in the vertical direction in all teeth except the second molars, which showed a larger amount of intrusion.

- Transverse displacement according to the various vertical positions of retraction hook

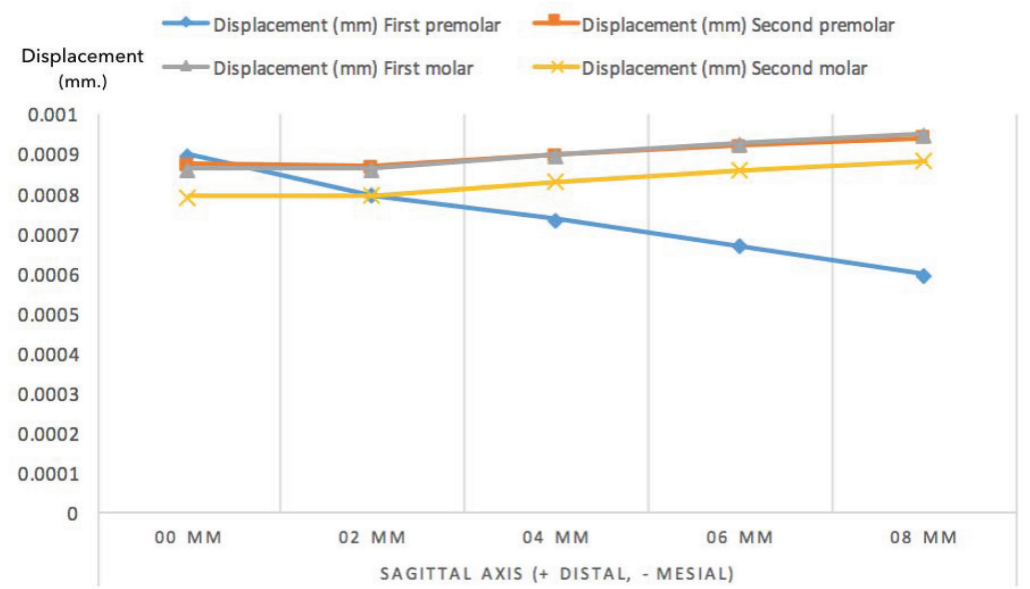
Figure 4 (A) and Figure 7 shows the lateral displacement of the crown for various locations of mini-implants and first molars. When the vertical position of the retraction hook was lowest (0 mm), the cusps of the four teeth moved in the buccal direction. When the vertical position of the retraction hook was highest (8 mm), the crowns of the second premolars, and the first and second molars moved lingually but the first premolars moved buccally with rotation.

However, the least amount of movement of the four posterior teeth in the transverse direction was observed at the retraction hook levels of 2 mm and 4 mm.

The optimal vertical position of the retraction hook was 2 mm due to the posterior segment showed greater distal movement with minimal movement in the vertical and transverse directions.

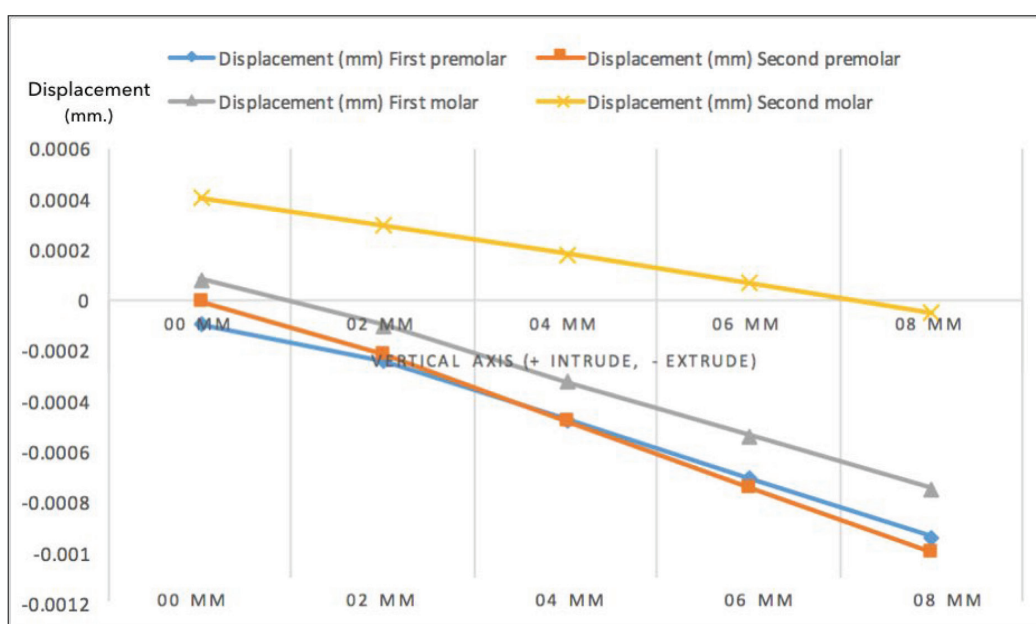
Discussion

In the model, the point of force application in the alveolus was set 8 mm apical from the archwire. The displacement pattern of the dentition was analyzed while 250 g of distalizing force was applied at varying points of force application to different vertical positions of the retraction hooks, resulting in the displacement of the maxillary posterior teeth relative to the maxilla, with the periodontal ligament as an interface. Thus, the



รูปที่ 5 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตัวฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 และ 2 ฟันกรามซี่ที่ 1 และ 2 ในแนวหน้าหลัง (+ด้านไกลกลาง, -ด้านใกล้กลาง) โดยใช้แรง 250 กรัม ที่ระดับความสูงของตะขอเกี่ยว 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร

Figure 5 Displacement of the first and second premolar and molar crowns (mm) in the sagittal axis (+ Distal, - Mesial) in the finite element model at retraction hook levels of 0, 2, 4, 6 and 8 mm when a distalizing force of 250 g was applied.



รูปที่ 6 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตัวฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 และ 2 ฟันกรามซี่ที่ 1 และ 2 ในแนวตั้ง (+เข้าหากระดูกเบ้าฟัน, -เคลื่อนออกจากกระดูกเบ้าฟัน) โดยใช้แรง 250 กรัม ที่ระดับความสูงของตะขอเกี่ยว 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร

Figure 6 Displacement of the first and second premolar and molar crowns (mm) in the vertical axis (+ Intrusion, - Extrusion) in the finite element model at retraction hook levels of 0, 2, 4, 6 and 8 mm when a distalizing force of 250 g was applied.

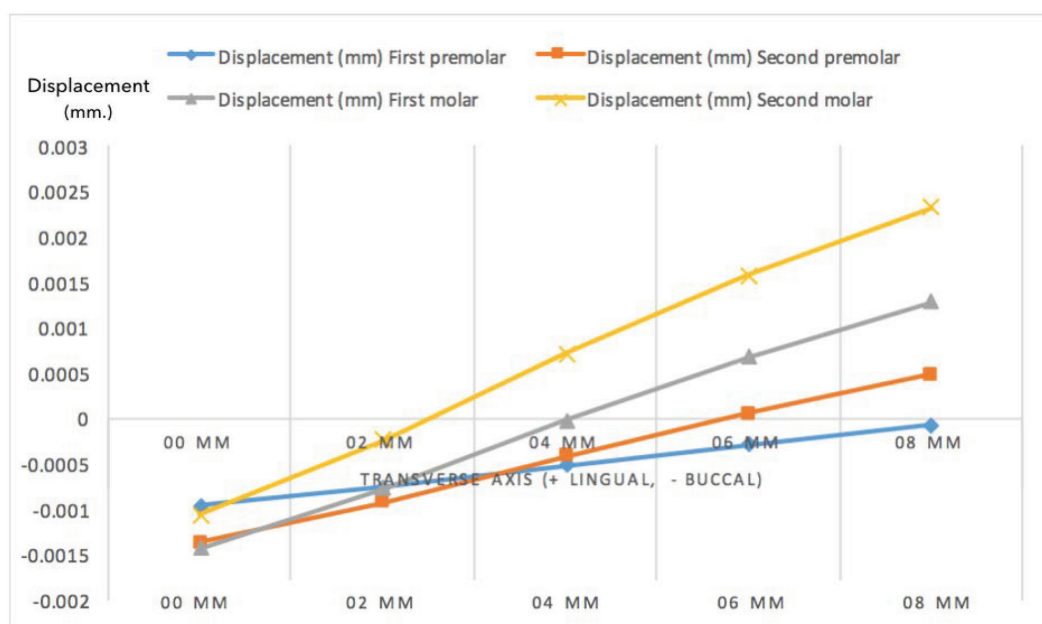
results of this study appear to be more applicable than those of other studies^(10,22-23) to the evaluation of force vectors in the clinical situation.

From a biomechanical point of view, the relationship between the line of action of a force and the location of the center of resistance of a tooth determines the type of tooth movement, that can be explained by changes in the relationship between the center of resistance of the entire dentition and the line of action. Choi *et al.*⁽²⁴⁾ reported that the center of resistance of the full maxillary dentition was 11.0 mm apical to and 26.5 mm posterior to the incisal edge of the upper central incisor when using the same finite element model employed in this study. In order to achieve the desired type of tooth movement, altering the force vector by changing the vertical positions of

the retraction hook can make the force application close to the center of resistance.⁽²⁵⁾

The angle formed between the force vector from the miniscrew to the hook and the horizontal component is called the θ angle. Changing the θ angle alters the paradigm of biomechanics. Increasing the height of the retraction hook causes a decrease in the θ angle but increases the horizontal force (horizontal force = resultant force $\times \cos\theta$). The amount of vertical force is also dependent on the θ angle, i.e., decreasing the θ angle reduces the vertical force (vertical force = resultant force $\times \sin\theta$).⁽²⁶⁾

In this study, maximum intrusion of the teeth occurred with the vertical position of the retraction hook at 0 mm (the largest θ angle), whereas with the vertical position of the retraction hook (also called the



รูปที่ 7 ปริมาณการเคลื่อนที่ของตัวฟันกรามน้อยซี่ที่ 1 และ 2 ฟันกรามซี่ที่ 1 และ 2 ในแนวขวาง (+ด้านลิ้น, -ด้านแก้ม) โดยใช้แรง 250 กรัม ที่ระดับความสูงของตะขอเกี่ยว 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิเมตร

Figure 7 Displacement of the first and second premolar and molar crowns (mm) in the transverse axis (+Lingual, -Buccal) in the finite element model at retraction hook levels of 0, 2, 4, 6 and 8 mm when a distalizing force of 250 g was applied.

power arm) at 8 mm, the intrusion decreased (following a decrease in the θ angle); the molar teeth were slightly extruded. Theoretically, with a θ angle of 0° , and the vertical position of the retraction hook at 8 mm, the posterior dentition must be neither intruded nor extruded because the position of the miniscrew and the edge of the power arm are at the same vertical level ($\theta = 0^\circ$). But in our finite element analysis, insignificant extrusion was observed, which can be interpreted as being due to the force vector being some distance from the center of resistance. In addition, when sliding mechanics are employed, the effect of arch wire deflection acting on a tooth can play a role and should be taken into consideration⁽²⁷⁾.

Slight extrusion occurred when force was applied to the retraction hook at the 8-mm vertical position. It can be assumed that bodily movement in the posterior dentition occurred, but because of the difference in the vertical level of the miniscrew and the power arm, some extrusion was observed. In an FEM study conducted by Tominaga *et al.*,⁽²⁷⁾ with a power arm of 5.5 mm, no rotation was produced, and bodily movement of the anterior segment occurred. However, lingual root tipping was observed when the retraction arm was above 5.5 mm.

In the sagittal view, force applied at the lower retraction hook positions has a line of action that passes below the center of resistance, causing progressive

intrusion, resulting in a steepening rotation of the occlusal plane may be due to the line of force being close to the center of resistance of the system, and vice versa for forces applied at higher retraction hook positions.⁽¹²⁾

This side effect in the vertical plane is not suitable in patients with deep overbite or gummy smile. However, a long retraction hook is uncomfortable and requires good patient cooperation. As a result, with patients who need distalization of the posterior segment with various discrepancies in the sagittal and vertical planes, a precise treatment plan with few adverse side effects should be chosen with respect to the existing malocclusion.

It is, in fact, the patient's requirements, such as esthetics, occlusion, function, and comfort, and presenting conditions, such as the intensity of the discrepancy, that guide us to choose the best vertical position of the retraction hook to produce a satisfactory treatment outcome.

Finite element analysis accurately determines the initial tooth movement, based on the laws of mechanics⁽²⁸⁾ This analysis provides useful information with regard to the response of tooth displacement in a specific force direction, but this information might not be enough to predict total orthodontic tooth movement in clinical practice. Initial tooth movement occurs after a force is applied to a tooth. Changing the stress in the PDL induces alveolar bone remodeling, which results in orthodontic tooth movement. It is possible to use FEM to evaluate the effects of orthodontic loads applied in achieving initial tooth movement. In this study, FEM simulated only the initial tooth displacement and initial stress distribution along the root surface. As time passes, the pattern of orthodontic tooth movement can vary from the initial tooth displacement because of individual biologic responses.

The accuracy of results derived from FE models relates directly to the accuracy of the models. Although errors can be suppressed by reproducing the model as accurately as possible, it is impossible to create a model identical to a living human body, including the material properties. Therefore, the authors made an effort in this study to construct the shape of the maxillary bone, cortical and cancellous bone, the teeth, and the periodontal ligament as closely as possible to those in the living body. However, in this study, the material physical properties were assumed to be linear, the results were calculated in a static analysis, and only the initial movement was expressed. These factors should be given thorough consideration when interpreting the results derived from the FE models in this study.

Further study is required to construct an FE model whose material parameters are approximate to the living body and to develop a system which can simulate long-term orthodontic tooth movement, including the bone remodeling process.

Conclusions

These results suggest that the low levels of retraction hook of 0 mm, 2 mm and 4 mm showed greater distal movement with minimum vertical and transverse movement. The high levels of retraction hook of 6 and 8 mm showed more vertical and transverse movement in every tooth except the second molar in the vertical direction and the first premolar in the transverse direction, which showed the least amount of movement. The vertical position of the retraction hook is an important factor in achieving controlled maxillary posterior segment distalization because the type of tooth movement depends on the relationship between the line of force and the location of the center of resistance of the force system. However, the optimal vertical position of the retraction hook should be

considered for each individual because various types of occlusion require different types of tooth movement.

Acknowledgements

The authors wish to thank Dr. M. Kevin O Carroll, Professor Emeritus of the University of Mississippi School of Dentistry, USA and Faculty Consultant at Chiang Mai University, Faculty of Dentistry, Thailand, for his assistance in the preparation of the manuscript.

References

1. Papadopoulos MA. Skeletal Anchorage in Orthodontic Treatment of Class II Malocclusion. *J Orthod* 2015; 42(1): 87.
2. Almuhtaseb E, Jing M, Hong H, Bader R. The Recent About Growth Modification Using Headgear and Functional Appliances in Treatment of Class II Malocclusion: A Contemporary Review. *IOSR J Dent Med Sci* 2014; 13(4): 39-54.
3. Baccetti T, Franchi L. A New Appliance for Molar Distalization. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119(5): 22.
4. Park HS, Lee SK, Kwon OW. Group Distal Movement of Teeth Using Microscrew Implant Anchorage. *Angle Orthod* 2005; 75(4): 602-609.
5. Sugawara J, Kanzaki R, Takahashi I, Nagasaka H, Nanda R. Distal movement of maxillary molars in nongrowing patients with the skeletal anchorage system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129(6): 723-733.
6. Lin JJ. A new method of placing orthodontic bone screws in IZC. *News and Trends in Orthod* 2009; 13(1): 4-7.
7. Liou EJ, Chen PH, Wang YC, Lin JC. A computed tomographic image study on the thickness of the infrazygomatic crest of the maxilla and its clinical implications for miniscrew insertion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 131(3): 352-356.
8. Nanda R, Uribe FA. Temporary anchorage devices in orthodontics. St. Louis: Mosby; 2009.
9. Marassi C. Mini-implant assisted anterior retraction. *Dental Press J Orthod*. 2008; 13(5): 57-74.
10. Ashekar SA, Deshpande RS, Shetty P, Lele S, Patil SS. Evaluation of optimal implant positions and height of retraction hook for intrusive and bodily movement of anterior teeth in sliding mechanics: A FEM study. *J Indian Orthod Soc* 2013; 47: 479-482.
11. Song JW, Lim JK, Lee KJ, Sung SJ, Chun YS, Mo SS. Finite element analysis of maxillary incisor displacement during en-masse retraction according to orthodontic mini-implant position. *Korean J Orthod* 2016; 46(4): 242.
12. Sung EH, Kim SJ, Chun YS, Park YC, Yu HS, Lee KJ. Distalization pattern of whole maxillary dentition according to force application points. *Korean J Orthod* 2015; 45(1): 20-28.
13. Anand KM, Suhail S, Krishna VM, Satheesha BC, Rajesh M, Meera A. Finite Element Analysis in Dentistry. *Int J Eng Tech Res* 2014; 2(8).
14. Vikram NR, Hashir YM, Karthikeyam MK. Finite Element Method in Orthodontics. *Indian J Multidisciplinary Dent* 2010; 1(1).
15. Rudolph DJ, Willes PMG, Sameshima GT. A Finite Element Model of Apical Force Distribution From Orthodontic Tooth Movement. *Angle Orthod* 2001; 71: 127-131.
16. Coolidge ED. The Thickness of the Human Periodontal Membrane. *J Am Dent Assoc Dent Cosmos* 1937; 24(8): 1260-1270.
17. Sung SJ, Baik HS, Moon YS, Yu HS, Cho YS. A comparative evaluation of different compensating curves in the lingual and labial techniques using 3D FEM. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123(4): 441-450.

18. Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-Dimensional Finite Element Analysis For Stress In The Periodontal Tissue By Orthodontic Forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987; 92(6): 499-505.
19. Toms SR, Lemons JE, Bartolucci AA, Eberhardt AW. Nonlinear stress-strain behavior of periodontal ligament under orthodontic loading. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 122(2): 174-179.
20. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B. Strains in periodontal ligament and alveolar bone associated with orthodontic tooth movement analyzed by finite element. *Orthod Craniofacial Res* 2009; 12: 120-128.
21. Yoshida N, Koga Y, Peng CL, Tanaka E, Kobayashi K. In vivo measurement of the elastic modulus of the human periodontal ligament. *Med Eng Phys* 2001; 23(8): 567-572.
22. Sia S, Shibasaki T, Koga Y, Yoshida N. Experimental determination of optimal force system required for control of anterior tooth movement in sliding mechanics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135(1): 36-41.
23. Sung SJ, Jang GW, Chun YS, Moon YS. Effective en-masse retraction design with orthodontic mini-implant anchorage: a finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137(5): 648-657.
24. Choi YJ, Lee JS, Cha JY, Park YC. Total distalization of the maxillary arch in a patient with skeletal Class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139(6): 823-833.
25. Parashar A, Aileni KR, Rachala MR, Shashidher NR, Mallikarjun V, Parik N. Torque Loss in En-Masse Retraction of Maxillary Anterior Teeth Using Mini implants with Force Vectors at Different Levels: 3D FEM Study. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(12): 77-80.
26. Hedayati Z, Shomali M. Maxillary anterior en masse retraction using different antero-posterior position of mini screw: a 3D finite element study. *Prog Orthod* 2016; 17(1): 31.
27. Tominaga JY Tanaka M, Koga Y, Gonzales C, Kobayashi M, Yoshida N. Optimal Loading Conditions for Controlled Movement of Anterior Teeth in Sliding Mechanics. *Angle Orthod* 2009; 79(6): 1102-1107.
28. Heravi F. Effects of crown-root angle on stress distribution in the maxillary central incisors' PDL during application of intrusive and retraction forces: a three-dimensional finite element analysis. *Prog Orthod* 2013; 14(1): 26.



Faculty of Dentistry
Chiang Mai University

Cleft Center

Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University



From Cleft to Sm:)e
by our hearts



*For more information or donation please contact
Department of Orthodontics and Pedodontics
Faculty of Dentistry, Chiang Mai University
Tel. 053-944464-65*