

การเปรียบเทียบการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการในการศึกษาการแตกหักของกระดูกขากรรไกร

ณฤพร ชัยประกิจ*,** สิริภัทรา พิชณี*** กำพล บุญศิริเศรษฐ์**** สรรส สุทธนพประภา**** อวิรุทธ์ คล้ายศิริ**,*****

บทคัดย่อ

การศึกษารูปแบบการแตกหักของกระดูกขากรรไกร มีเทคนิคการศึกษารูปแบบการแตกหักที่หลากหลายและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเป็นทศวรรษ การทำให้เกิดผลสำเร็จของการรักษา จำเป็นต้องมีเทคนิคที่มีความถูกต้องสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหายของบาดแผลและลดภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นภายหลังการรักษา ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในการศึกษารูปแบบการแตกหักของกระดูกขากรรไกร เพื่อใช้ในการประเมินชีวกลศาสตร์บริเวณที่ทำการผ่าตัดกระดูกได้ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีการใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับการประเมินความเค้นและความเครียดของแบบจำลองเสมือน เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่ายและไม่เกิดการรุกรานต่อสิ่งทดลอง ในอีกมุมหนึ่งยังมีวิธีการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ข้อมูลที่เป็นรูปธรรมและน่าเชื่อถือ แต่จะมีค่าใช้จ่ายและระยะเวลาทำที่มากกว่า วัตถุประสงค์ของบทความปริทัศน์นี้ คือการทบทวนวรรณกรรมและอภิปรายระหว่างสองวิธีการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในการศึกษารูปแบบการแตกหักของกระดูกขากรรไกรล่าง โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเน้นถึงประโยชน์และข้อจำกัดระหว่างการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการในการศึกษารูปแบบการแตกหักของกระดูกขากรรไกรได้

คำสำคัญ: การศึกษารูปแบบการแตกหักแบบไบแลตเทอร์อลแซจิทอลสปลิต, การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การศึกษารูปแบบการแตกหักของกระดูกขากรรไกร

Received Date: Feb 14, 2022

Revised Date: Apr 20, 2022

Accepted Date: May 25, 2022

*สาขาชีวกลศาสตร์ช่องปากและแม็กซ์ิโลเฟเชียล **สาขาทันตกรรมจัดฟัน ***สาขาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 อำเภอกองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

**แผนกทันตกรรม โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ 95 หมู่ 8 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

****คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 อำเภอกองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

Comparison of the finite element analysis and in-vitro biomechanical analysis in orthognathic surgery

Narissaporn Chaiprakit^{*,**} Siripatra Patchanee^{***} Kampol Boonsiriseth^{****}
Sorathon Sunthornphornprapa^{****} Awiruth Klaisiri^{** ,*****}

Abstract

In the field of orthognathic surgery, various surgical techniques had been developed for decades. In order to get a successful outcome, the intensive validation method is necessary to improve healing process and decrease complication after treatment. Finite element analysis (FEA) was introduced in oral and maxillofacial surgery to evaluate biomechanical behaviors at osteotomy site. It also had been reported widely used of FEA for evaluating stress and strain in simulated virtual models by its simplification and noninvasive to subjects. On the other hands, the *in-vitro* biomechanical analysis method could have advantages of plausible and solid values but this method is required more expense and time consuming. The objective of this review article is to review and discuss between two methodologies of mechanical analysis in orthognathic surgical behavior of mandibular osteotomy. This review article is aimed to focus on advantages as well as limitations between finite element method and in-vitro biomechanical analysis that has been used in area of orthognathic surgery.

Keywords: Bilateral sagittal split osteotomy, Biomechanical analysis, Finite element analysis, Orthognathic surgery

^{*}Division of Oral and Maxillofacial Surgery, ^{****}Division of Orthodontics, ^{*****}Division of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University, 99 M.18 Klongluang, Pathumthani, 12120, Thailand.

^{**}Dental Division Thammasat University Hospital 95, M.8, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand.

^{***}Faculty of Dentistry, Thammasat University, 99 M.18 Klongluang, Pathumthani, 12120, Thailand.

บทนำ (Introduction)

การทำหัตถการการผ่าตัดกระดูกขากรรไกรล่างเป็นการผ่าตัดเพื่อแก้ไขลักษณะของใบหน้า มีรายงานเมื่อปี ค.ศ.1849 โดย Hüllihen (1) ทำการผ่าตัดเพื่อแก้ไขภาวะคางยื่น (prognathism) เนื่องจากในกระดูกขากรรไกรล่างมีโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ เช่น เส้นประสาทเส้นเลือดแดง และเส้นเลือดดำเข้าฟันล่าง (inferior alveolar nerve, artery and vein) ซึ่งจะทำให้มีความเสี่ยงต่ออาการชาบริเวณริมฝีปากกับตัวฟันจากการเสียหายของเส้นประสาท และมีอาการเลือดออกในปีศตวรรษที่ 18 การผ่าตัดขากรรไกรล่างจะทำจากด้านนอกของปาก (extra oral approaches) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดแผลเป็นบนใบหน้า ภาวะเกิดข้อต่อลวง (pseudarthrosis) อัมพาตใบหน้าครึ่งซีก (facial nerve palsy) ในปี ค.ศ.1953 Schuchardt (2) รายงานการทำศัลยกรรมกระดูกขากรรไกรล่างสามารถทำภายในช่องปากได้ซึ่งไม่ทำให้เกิดรอยแผลเป็นบนใบหน้า โดยวิธีศัลยกรรมตัดกระดูกแบบไบแลตเทอรอลแซจิทอลสปลิต (bilateral sagittal split osteotomy; BSSO) เป็นการผ่าตัดที่นิยมที่สุดวิธีหนึ่ง ต่อมามีการพัฒนาเทคนิคการผ่าตัดเพื่อพัฒนาผลการรักษาและลดภาวะแทรกซ้อนหลังการรักษา

ปี ค.ศ.1961 Dal Pont (3) ได้ทำการตีพิมพ์แนวคิดวิธีศัลยกรรมตัดกระดูกแบบแนวตั้ง (idea of a true vertical osteotomy) ซึ่งกลายเป็นวิธีที่ใช้เป็นมาตรฐานในการผ่าตัดแก้ไขกระดูกขากรรไกรแต่ก แต่ยังมีภาวะแทรกซ้อนบางภาวะที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขในปี ค.ศ.1968 Hunsuck (4) ได้ออกแบบวิธีการผ่าตัดโดยจำกัดความยาวในแนวราบแต่ยังคงความสูงให้เนื้อต่อกระดูกหน้าขากรรไกรล่าง (lingula of mandible) เพื่อที่จะลดความเค้นซึ่งจะส่งผลต่อเส้นเลือดและเส้นประสาทของชิ้นส่วนกระดูกที่ได้รับการผ่าตัด การผ่าตัดด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยม ในปี ค.ศ. 1977 Epker (5) ได้พัฒนาวิธีการผ่าตัดต่อจาก Hunsuck โดยการปรับแนวการผ่าให้เข้ามาทางใกล้กลางแนวระนาบ (medial-horizontal) มากยิ่งขึ้นเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายต่อเส้นเลือดและเส้นประสาทบริเวณนั้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมในเวลาต่อมา เนื่องจากผลของการผ่ามีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อบริเวณผ่าตัดน้อย

ปี ค.ศ. 2007 Obwegeser (6) ได้พัฒนาวิธีศัลยกรรมตัดกระดูกแบบแซจิทอลสปลิต (sagittal split osteotomy) ซึ่งเป็นการผ่าตัดที่แก้ไขภาวะแทรกซ้อน เช่น การเคลื่อนตัวของกระดูก (relapse) อัมพาตบริเวณใบหน้า (facial palsy) โดยมีการออกแบบรอยผ่าซึ่งอยู่เหนือต่อ รูขากรรไกรล่าง (mandibular foramen) เพียงแต่การแยกชิ้นส่วนกระดูกทั้ง 2 ชิ้นออกจากกัน หากใช้เครื่องมือใช้ดอกสำหรับช่าง (chisel) จะมีความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนเช่น เส้นประสาทเข้าฟันล่างเสียหายและทำให้เกิดการเลือดออกมากยิ่งขึ้น

มินิเพลต (Miniplate)

ปัจจุบันถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อตรึงกระดูกขากรรไกรล่างที่หักเพราะใช้งานง่ายและให้ผลการรักษาที่ดี อีกทั้งยังใช้เป็นมาตรฐานในการยึดกระดูกเพื่อป้องกันการเคลื่อนของกระดูก (7,8) แต่ก็มีข้อเสียคือมักจะเกิดการคลายเกลียวของสกรูและต้องทำการตัดเพลตให้โค้งงอไปตามความโค้งของกระดูกที่ต้องการยึด (9) และจากการศึกษาพบว่า มินิเพลตชนิดธรรมดา (conventional miniplate) สามารถต้านทานการเคลื่อนตัวของกระดูกขากรรไกรล่างได้น้อยกว่าชนิดมีเกลียว (locking miniplate) เมื่อทดสอบในขากรรไกรล่างผ่าครึ่งชนิดโพลียูรีเทน (polyurethane hemimandibles) (10)

เพลตชนิดมีเกลียว (Locking plate)

ระบบเพลตและสกรูชนิดมีเกลียวมีข้อดีที่เหนือกว่าแบบธรรมดา โดยเฉพาะการที่เพลตไม่จำเป็นต้องตัดให้โค้งไปตามแนวของกระดูกที่ต้องการยึดและใช้สกรูยึดเพลตไว้แน่นกับกระดูก แต่เป็นการใช้สกรูเพื่อยึดเพลตให้อยู่หนึ่งได้ส่งผลให้แรงกดที่กระทำต่อกระดูกมีค่าน้อยกว่า จึงลดโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงแนวยึดของกระดูกได้ นอกจากนั้นพบว่าการใช้มินิเพลตชนิดมีเกลียวเพียงแค่ 1 ตัวในการยึดที่แนวประสานกระดูกของขากรรไกรล่าง (symphysis of mandible) ให้ผลการรักษาที่ดีเทียบเท่ากับการใช้มินิเพลต 2 ตัว (11) ข้อดีของระบบเพลตและสกรูชนิดมีเกลียวจะไม่พบการคลายเกลียวของสกรู ทำให้ลดการอักเสบซึ่งเป็นภาวะแทรกซ้อนจากการคลายตัวของอุปกรณ์ (12)

ความเค้นของฟอนมีสเชส (Von Mises Stress)

ความเค้นของฟอนมีสเชส คือปริมาณสเกลาร์ (scalar) ที่คำนวณจากความเค้นที่กระทำต่อกระดูกขากรรไกรล่าง โดยคำนวณจากผลรวมของความเค้นหลัก (principal stress) ที่กระทำในบริเวณต่าง ๆ ของกระดูกขากรรไกรล่าง (13) จากการศึกษาพบว่าค่าการกระจายของความเค้น (stress distribution) ที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดการละลายของกระดูกและทำให้การสร้างกระดูกเกิดขึ้นได้ช้าลง (14)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis; FEA)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นหลักการที่ละเอียดและสามารถประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาเชิงกายภาพได้อย่างหลากหลาย โดยการวิเคราะห์โครงสร้างในด้านรูปร่างของวัสดุ แรงที่กระทำต่อวัสดุ และแรงที่ช่วยพยุงโครงสร้างต่าง ๆ ของวัสดุ ยิ่งไปกว่านั้นแบบจำลองของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังสร้างโดยการผสมผสานหน่วยย่อยที่มีรูปร่าง และสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไป ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นถูกประมวลผลโดยผ่านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ตามลักษณะที่ผู้วิจัยต้องการได้ (15) ที่ผ่านมานั้นระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมเพื่อศึกษาสมมติฐานต่าง ๆ เช่น น้ำหนักและสมบัติของวัสดุ ในร่างกายมนุษย์แต่ละคนนั้นมีความแตกต่างกันหลายประการ เช่น คุณภาพ ปริมาณ และรูปร่างของกระดูก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพยากรณ์โอกาสสำเร็จของการทำรากเทียมและการผ่าตัด (16) ในปัจจุบันนี้ความก้าวหน้าในการถ่ายภาพแบบดิจิตอลทั้งแบบโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (cone beam computed tomography; CBCT) และแบบสร้างภาพด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (magnetic resonance imaging; MRI) ยังมีส่วนช่วยในการเพิ่มเติมข้อมูลลักษณะของกระดูกทั้งรูปร่างและสมบัติในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (17)

ข้อดีของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (18)

1. สามารถจำลองโมเดลให้เหมือนกับสภาวะก่อนผ่าตัด ระหว่างผ่าตัดและหลังผ่าตัดได้
2. การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประเมินเพื่อวางแผนการผ่าตัดช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ เมื่อเทียบกับการวางแผนการผ่าตัดด้วยโมเดลแบบธรรมดา
3. การใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการจำลองสภาวะที่สนใจแล้วทำการวัดค่า สามารถลดเวลาลงร้อยละ 60-80 เมื่อเทียบกับวิธีปกติ

ข้อจำกัดของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (18)

1. การตั้งค่าสภาวะและข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน
2. เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ในกรณีการสร้างแบบจำลองสำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากโครงสร้างที่ซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับองค์ความรู้ทางด้านกายวิภาคศาสตร์และสมบัติของวัสดุ

การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Analysis)

การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์จัดเป็นการทดสอบที่นิยมใช้กันมาก การทดสอบความแข็งแรงของกระดูกสามารถทดสอบได้ทั้งในสิ่งมีชีวิต (in-vivo) และในห้องปฏิบัติการ (in-vitro) โดยการทดสอบจะทำได้โดยให้แรงบีบอัดกับกระดูก (compression) หรือทดสอบแรงดัดงอ 3-4 จุด (3- or 4-point bending) การวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนกระดูกจะวัดค่าโดยใช้สเตรนเกจ (strain gauges) ติดที่บริเวณด้านนอกของกระดูก (19) ในทางทันตกรรมการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร จะให้ความสำคัญต่อความเสถียรภาพหลังจากทำการผ่าตัด เนื่องจากต้องการหวังผลในเรื่องการสร้างกระดูกที่มีประสิทธิภาพซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาในการรักษาของผู้ป่วย ในอดีตการศึกษาความเสถียรภาพต่อการยึดกระดูกขากรรไกร มักนิยมทดลองในสัตว์ เช่น ขากรรไกรล่างของแกะ (20) การทดสอบ

เชิงกลจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบการทดลองอย่างรอบคอบ เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวข้องมีมากโดยปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความแข็งของกระดูก รูปร่างกระดูก ไปจนถึงความแข็งแรงของวัสดุตามกระดูก (21) ดังนั้น การทำการศึกษาชีวเชิงกลควรออกแบบให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติและมีการตั้งมาตรฐานการทดลองเพื่อลดอคติต่อผลการทดลอง

ข้อดีของการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ (19-21)

1. สามารถให้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ ภายใต้การออกแบบการทดลองที่มีมาตรฐาน
2. สามารถใช้ตรวจสอบสมบัติของวัสดุ เช่น โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น ความเค้นยืดหยุ่นความเครียดของวัสดุ

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ (19-21)

1. กรณีที่มีอิทธิพลของปัจจัยเกี่ยวข้องจำนวนมาก อาจส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัด เช่น มุมของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ความแข็งและตำแหน่งการรับแรง ไปจนถึงความหนาของวัตถุในแต่ละชั้นที่ไม่เท่ากัน
2. ใช้ทรัพยากรด้านงบประมาณในการดำเนินการวิจัยมากกว่าเมื่อเทียบกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในบทความปริทัศน์นี้จะศึกษาถึงการใช้อยู่ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ทั่วไปถึงข้อบ่งชี้และข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อนำไปประกอบการวางแผนในการออกแบบเทคนิคการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกรได้

วัสดุและวิธีการ (Materials and methods)

บทความปริทัศน์นี้รวบรวมข้อมูลโดยใช้ฐานข้อมูลจาก PubMed, Google scholar, Elsevier, Hindawi, Research gate และ หนังสือ รายงานโดยใช้คำค้นหา “Finite element method” “in vitro” “BSSO” “Biomechanical analysis” “Finite element analysis” “Rigid fixation” “FEA” “oral surgery” “orthognathic surgery” “maxillofacial surgery”

ซึ่งผู้ศึกษาผสมคำค้นหาเหล่านี้เพื่อให้ได้หัวข้อที่สนใจหลังจากที่ได้ข้อมูลมากพอ ผู้ศึกษาได้แบ่งหัวข้อเป็น 2 กลุ่มได้แก่ Finite element analysis in orthognathic surgery และ in-vitro mechanical analysis in orthognathic surgery จากนั้นจึงทำการเลือกประเด็นที่น่าสนใจในแต่ละหัวข้อ เพื่อที่จะขยายประเด็นและอภิปรายผลในสิ่งที่ผู้ศึกษาสังเกตเห็น

ผลการศึกษา (Results)

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร (Finite element analysis in orthognathic surgery)

การศัลยกรรมตัดกระดูกแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิตมีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการรักษาซึ่งต้องได้รับการพิจารณา คือ การตามกระดูกหลังการทำหัตถการเสร็จสิ้น การใช้อุปกรณ์ยึดติดที่เหมาะสมหรือเป็นปัจจัยหลักในการทำให้อาการรักษาลำบาก ด้วยสาเหตุนี้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีบทบาทสำคัญในการศึกษาถึงการกระจายความเครียดต่อพื้นผิวของแผ่นตามกระดูกและพื้นผิวกระดูกโดยรอบ Hassan และคณะ ในปี 2018 (22) ได้ทดลองจากการทำโมเดลสามมิติแบบไอโซโทรปิก (isotropic) ที่กำหนดการแบ่งวัสดุเป็น 3 ส่วนจากเทคนิคการศัลยกรรมตัดกระดูกแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต โดยมีช่องว่าง 5 มิลลิเมตร ระหว่างชิ้นส่วนของกระดูกที่เกิดการตัดแบ่งจะถูกเชื่อมด้วยเหล็กตามกระดูกด้วยระบบยึด (fixation system) ที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยอาศัยค่าการเคลื่อน (displacement values) สำหรับชิ้นส่วนของกระดูกที่เกิดการตัดแบ่งหลังจากทดสอบการกัดแบบสมมาตรในฟันหน้า 20 นิวตัน (symmetrical biting with the incisors 20 N) และการกัดแบบไม่สมมาตรในฟันหลัง 80 นิวตัน (asymmetrical biting with the molars 80 N) พบว่า แผ่นตามกระดูกขนาด 1.7 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้ในการศัลยกรรมตัดกระดูกขากรรไกรล่างแบบแซจิตอลสปลิตถึงแม้ว่าข้อมูลทางสถิติจะชี้ว่ามีความแข็งแรงน้อยกว่าเหล็กตามกระดูกมินิเพลตขนาด 2.0 มิลลิเมตร (22)

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร

Table 1. Research articles of FEA in orthognathic surgery.

ผู้เขียน	ลักษณะของแบบจำลอง	ซอฟต์แวร์ที่ใช้	การออกแบบงานวิจัย	ประเด็นที่ค้นพบ
Stróżyk และคณะ ปี 2011 (23)	กรรไกรล่างที่ทำจากโพลียูรีเทนและตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	-	เปรียบเทียบการยึดกระดูก 3 หลัก การใช้ในการผ่าตัดแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	สกรูแบบไบคอร์ติคอลล (bicortical) สามารถยึดได้แข็งแรงที่สุดในการผ่าตัดแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต
Gorashi และคณะ ปี 2019 (24)	โมเดลขากรรไกรล่างที่ได้จากการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	Mimics 17.0 Abaqus Geomagic 12.0 ANSYS	เปรียบเทียบการยึดกระดูก 3 หลัก การที่ใช้บ่อยในการผ่าตัดแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	การยึดด้วยสกรูแบบสามเหลี่ยม (triangular) ดีกว่าการยึดด้วยเพลตทั้ง 1 และ 2 ชั้น
Hassan และคณะ ปี 2018 (22)	โมเดลขากรรไกรล่างที่ได้จากการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	Netfabb Rhinceros Solidworks	เปรียบเทียบการยึดกระดูก 3 หลัก การที่ใช้ในการผ่าตัดแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	การยึดด้วยมินิเพลตหนา 1.7 มิลลิเมตร ให้ความแข็งแรงที่มากพอในการยึดกระดูกแม้ว่าจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าการยึดด้วยมินิเพลตหนา 2.0 มิลลิเมตร และสกรูแบบไบคอร์ติคอลล 2.0 มิลลิเมตร
Fuji และคณะ ปี 2017 (25)	โมเดลใบหน้าส่วนกลาง (midface) จากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ก่อนเข้ารับการผ่าตัดของผู้ป่วยที่มีคางยื่น	Mechanical Finder 6.2 OsiriX	เปรียบเทียบรูปแบบความผิดปกติของเทอร์โกแมกซิลลาโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ และการประเมินแนวการผ่าตัดเพื่อพยากรณ์ความเสี่ยงในการเกิดการแตกหักของส่วนยื่นเทอร์ริกออยด์ (pterygoid process)	ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้พยากรณ์รูปแบบความผิดปกติของเทอร์โกแมกซิลลาในระหว่างการทำให้ผลการเลอฟอร์ระดับที่หนึ่ง และเป็นประโยชน์ในการเลือกกระบวนการผ่าตัดที่ปลอดภัยมากขึ้น
Chabanas และคณะ ปี 2002 (26)	โมเดลใบหน้าก่อนทำการผ่าตัดจากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์	-	นำเสนอการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวางแผนการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร	พบว่าสามารถศึกษาการเรียงตัวของกระดูกหลังจากการผ่าตัดได้ด้วยการใช้โมเดลระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของเนื้อเยื่ออ่อน
Knoops และคณะ ปี 2019 (27)	โมเดลใบหน้าก่อนทำการผ่าตัดจากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์	Dolphin ProPlan CMF PFEM	เปรียบเทียบความแม่นยำของโปรแกรมที่ใช้เพื่อวางแผนการผ่าตัดแบบสามมิติ	โปรแกรม PFEM และ ProPlan ให้ความแม่นยำในการพยากรณ์เนื้อเยื่ออ่อน และเป็นประโยชน์ในการให้ข้อมูลกับผู้ป่วยก่อนเข้ารับการผ่าตัด

จากตารางที่ 1 งานวิจัยที่ทำการศึกษเปรียบเทียบการยึดกระดูก 3 หลักการที่ใช้ในการศัลยกรรมตัดกระดูกแบบไบแลตเทอร์อลแซจิตอลลสปลิต พบว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถใช้เปรียบเทียบความแข็งแรงของหลักการยึดกระดูกแต่ละวิธี หรือใช้เปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนกระดูกได้ (22-24) ขณะที่งานวิจัยของ Fuji และคณะ ปี 2107 (25) ศึกษาเพื่อทำนายรูปแบบความผิดปกติของเทอร์โกแมกซิลลา (pterygomaxillary dysjunction pattern) ในระหว่างการทำหัตถการเลอฟอร์ตระดับที่หนึ่ง (Le Fort I osteotomy) ในผู้ป่วยที่มีคางยื่น ซึ่งใช้ประโยชน์จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวางแผนการผ่าตัดโดยใช้โมเดลจากผู้ป่วยจริง นอกจากนี้ Chabanas และคณะ ในปี 2002 (26) ยังได้นำเสนอระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวางแผนการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของ

กระดูกขากรรไกร และจากงานวิจัยของ Knoops และคณะ ในปี 2019 (27) พบว่าสามารถใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการประเมินเนื้อเยื่ออ่อนในช่องปากและเป็นข้อมูลในการสื่อสารกับผู้ป่วยก่อนรับการรักษาได้ การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการในการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร (in-vitro mechanical analysis in orthognathic surgery)

การทดสอบทางชีวกลศาสตร์ในสมัยปัจจุบันนิยมใช้การสร้างโมเดล 3 มิติเพื่อต้องการทราบแรงของการล้มเหลว (failure load) ของแต่ละการทดลองเพื่อบ่งบอกถึงความสามารถได้การรับแรงจากการใช้งานของขากรรไกรหลังจากรับการรักษา โดยไม่มีการเคลื่อนตัวของกระดูกขากรรไกรหรือภาวะแทรกซ้อนของอวัยวะโดยรอบ

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร

Table 2 Research articles of biomechanical analysis in orthognathic surgery.

ผู้เขียน	ลักษณะของแบบจำลอง	การออกแบบงานวิจัย	ประเด็นที่ค้นพบ
Brasileiro และคณะ ปี 2012 (28)	โมเดลขากรรไกรล่างที่ทำจากโพลียูรีเทน และตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	เปรียบเทียบการยึดกระดูก 3 หลักการที่ใช้บ่อยในการผ่าตัดแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	จากการทำการถอยขากรรไกรล่าง 5 มิลลิเมตร พบว่ากลุ่มที่ทำการยึดกระดูกด้วยมินิเพลตมีความแข็งแรงน้อยกว่ากลุ่มที่ยึดแบบผสม (hybrid) และกลุ่มที่ยึดแบบแอลหัวกลับ (inverted-L) นอกจากนี้ยังพบว่ากรยึดด้วยสกรูแบบไบคอร์ติคอลเพิ่มอีก 1 ตัว บริเวณหลังต่อฟันกราม (retromolar) ในกลุ่มที่ทำการยึดกระดูกด้วยมินิเพลตจะทำให้ได้เสถียรภาพของการยึดกระดูกใกล้เคียงกันกับกลุ่มที่ยึดกระดูกแบบแอลหัวกลับ
De Oliveira และคณะ ปี 2016 (29)	โมเดลขากรรไกรล่างครึ่งซีกที่ทำจากโพลียูรีเทน และตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	ประเมินแรงต้านต่อการเคลื่อนของชั้นกระดูก (resistance to displacement) จากวิธีการยึด 6 แบบหลังจากทำหัตถการแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิตในการเคลื่อนขากรรไกรล่างไปด้านหน้าและหมุนทวนเข็มนาฬิกา	แรงต้านการเคลื่อนของกระดูกที่ระยะ 1, 3 และ 5 มิลลิเมตร มีค่ามากที่สุดในการยึดกระดูกด้วยมินิเพลตหนา 2.0 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัว ในหัตถการแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิตในการเคลื่อนขากรรไกรล่างไปด้านหน้าและหมุนทวนเข็มนาฬิกา
Klein และคณะ ปี 2017 (30)	โมเดลขากรรไกรล่างครึ่งซีกที่ทำจากโพลียูรีเทน และตัดตามแนวไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิต	ประเมินแรงต้านต่อการเคลื่อนของชั้นกระดูก จากวิธีการยึด 6 แบบหลังจากทำหัตถการแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิตในการเคลื่อนขากรรไกรล่างไปด้านหน้า	การใช้มินิเพลต 2 ตัวในการยึดกระดูกหลังจากทำการผ่าตัดแบบไบแลตเทอรอลแซจิตอลสปลิตในการเคลื่อนขากรรไกรล่างไปด้านหน้าทั้งแบบแนวราบ (linear) และหมุนทวนเข็มนาฬิกา พบว่าเป็นวิธีที่แข็งแรงที่สุดในการยึดกระดูก

จากตารางที่ 2 ผู้ศึกษาพบว่าส่วนใหญ่การทำ การวิเคราะห์เชิงชีวกลศาสตร์ในห้องปฏิบัติการจะทำ เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของวิธีการยึดกระดูก หลังจากการศัลยกรรมตัดกระดูกแบบไบแลตเทอร์อล แชจิทอลสปลิต โดยพบว่าแบบจำลองที่ใช้จะเป็นโมเดล ขากรรไกรล่างทั้งแบบเต็มขั้นและครึ่งซีกซึ่งทำจาก โพลียูรีเทน โดยงานวิจัยของ Bernado และคณะ ในปี 2012 (28) ศึกษาจากการทำถอยขากรรไกรล่าง (mandibular setback) 5 มิลลิเมตร แล้วยึดโมเดล กระดูกขากรรไกรล่างด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน การศึกษา ของ Leandro และคณะ ในปี 2016 (29) ทำการเคลื่อน ขากรรไกรล่างไปด้านหลังและหมุนทวนเข็มนาฬิกา (counterclockwise mandibular advancement) และ เปรียบเทียบแรงต้านการเคลื่อนที่ของกระดูกหลังจาก ยึดกระดูกด้วยวิธีการที่แตกต่างกันออกไป และงานวิจัย ของ Klein และคณะ ในปี 2017 (30) ศึกษาจากโมเดล กระดูกขากรรไกรล่างหลังจากทำการเคลื่อนไปข้างหน้า (mandibular advancement) และเปรียบเทียบความ แข็งแรงจากวิธีการยึดกระดูก 6 วิธี โดยผลการศึกษา ได้แสดงดังตารางที่ 2

บทวิจารณ์ (Discussion)

จากการที่ผู้ศึกษาทำการค้นหาและทบทวน วรรณกรรม ทำให้ทราบข้อดีของการใช้ระเบียบวิธีไฟ โนต์เอลิเมนต์ คือ ประหยัดเวลา สามารถทำซ้ำได้ ไม่ เกิดความเสี่ยงต่อผู้ป่วยในการทดลองและไม่จำเป็นต้องทำการวิจัยในสัตว์ทดลอง อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูล ไปประกอบการวางแผนและการทำงานนายผลของการ รักษาได้ ด้วยสาเหตุนี้ทำให้ระเบียบวิธีไฟโนต์เอลิเมนต์ ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าข้อดีของระเบียบวิธีไฟโนต์เอลิเมนต์ จะมีอยู่มากมาย แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ระบบ การทดลองซึ่งผู้ทดลองเป็นผู้ออกแบบเอง ทำให้มีโอกาส ที่จะเกิดอคติต่อการตั้งปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดสอบสูง ข้อจำกัดที่สำคัญที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม คือ ไม่สามารถกำหนดค่าที่แท้จริงของแบบจำลองได้ เช่น ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของกระดูกทึบ (cortical bone) ปัจจุบันมีการกำหนดเป็นช่วงตั้งแต่ 13,500 ถึง

18,000 เมกะพาสคาล และอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) มีกำหนดเป็นช่วงตั้งแต่ 0.22 ถึง 0.3 (31)

ในการวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์มีข้อดี คือค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าระเบียบวิธีไฟโนต์ เอลิเมนต์ เนื่องจากการทดลองเกิดขึ้นในสถานการณ์ จริง เป็นรูปธรรมสามารถจับต้องได้ หากออกแบบการ ทดลองเหมาะสม ร่วมกับการมีทักษะการทดลองที่เพียงพอ จะทำให้การทดลองด้วยวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือมาก ที่สุดโดยไม่คำนึงถึง ค่าใช้จ่ายและกรอบระยะเวลาซึ่งเป็น ข้อจำกัดที่สำคัญของการวิเคราะห์ทางชีวเชิงกล ศาสตร์

ในการศึกษาเชิงชีวกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ การศัลยกรรมแก้ไขความผิดปกติของกระดูกขากรรไกร มีจุดประสงค์คือส่งเสริมผลการรักษาให้ดียิ่งขึ้น ลดภาวะแทรกซ้อน และลดระยะเวลาการฟื้นตัวของผู้ป่วย ใน การศึกษาวิจัยนี้หลังจากผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและ ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธี ไฟโนต์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์ ทำให้ผู้ศึกษาสังเกตถึงข้อบ่งชี้ของแต่ละหลักการโดย พบว่า ระเบียบวิธีไฟโนต์เอลิเมนต์ปัจจุบันเหมาะสม ที่จะใช้ในการวางแผนการรักษาและทำนายผลการรักษา ของผู้ป่วยได้ เนื่องจากสามารถนำข้อมูลภาพถ่ายรังสี ของผู้ป่วยก่อนเข้ารับการรักษาวิเคราะห์ เช่น ใช้พยากรณ์ รูปแบบความผิดปกติของเทอร์โกแมกซิลลาในระหว่าง การทำหัตถการเลอฟอร์ตระดับที่หนึ่ง สามารถศึกษา การเรียงตัวของกระดูกหลังจากการผ่าตัดได้ใช้ประเมิน เนื้อเยื่ออ่อนในช่องปาก ส่งผลให้แพทย์ผู้ทำการรักษา มองเห็นภาพรวมก่อนทำการรักษาจริงและสามารถใช้ เป็นข้อมูลในการสื่อสารกับผู้ป่วยได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินการกระจาย ความเค้นของการยึดกระดูกหลังจากการศัลยกรรม ตัดกระดูกแบบไบแลตเทอร์อลแซจิทอลสปลิตได้อย่าง มีประสิทธิภาพ แต่การวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์ ซึ่งมีการศึกษาในทางเดียวกันนั้น จะให้ผลการทดลอง ที่น่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากการทดลองที่เป็น รูปธรรม จับต้องได้จริง ดังนั้นในแง่ของการศึกษาวิจัย จะพบว่ามีการใช้การวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์มา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และพบว่ามีงานวิจัยที่ใช้

การวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์ควบคู่กับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย ฉะนั้นการออกแบบการทดลองและวัดผลไม่ว่าจะโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์หรือโดยการวิเคราะห์ทางชีวเชิงกลศาสตร์จำเป็นจะต้องดูปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลา ทุนวิจัย เครื่องมือ และความซับซ้อนของงานวิจัย เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างครบถ้วนตามปัจจัยที่แตกต่างกันออกไปของแต่ละงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง (References)

- Hullihen SP. Case of elongation of the under jaw and distortion of the face and neck, caused by a burn, successfully treated. *Am J Dent Sci.* 1849;9(2):157-65.
- Schuchardt K. Die Chirurgie als Helferin der Kieferorthopädie. *Fortschr Kieferorthop.* 1954;15(1):1-25.
- Dal Pont G. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv.* 1961;19:42-7.
- Hunsuck EE. A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. *J Oral Surg.* 1968;26(4):250-3.
- Epker BN. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg.* 1977; 35(2):157-9.
- Obwegeser HL. Orthognathic surgery and a tale of how three procedures came to be: a letter to the next generations of surgeons. *Clin Plast Surg.* 2007;34(3):331-55.
- Korkmaz HH. Evaluation of different miniplates in fixation of fractured human mandible with the finite element method. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(6):e1-13. doi: 10.1016/j.tripleo.2006.12.016.
- Yazdani J, Ghavimi M, Taghizadeh M, Kananizadeh Y, Ghanizadeh M. Effectiveness of placement of second miniplates as tension band unit in mandibular parasymphysis fractures. *Dent Res J (Isfahan).* 2019;16(3):172-8.
- Stringhini DJ, Sommerfeld R, Uetanabaro LC, Leonardi DP, Araújo MR, Rebellato NLB, et al. Resistance and stress finite element analysis of different types of fixation for mandibular orthognathic surgery. *Braz Dent J.* 2016;27(3):284-91.
- Ribeiro-Junior P, Magro-Filho O, Shastri K, Papageorge M. In vitro evaluation of conventional and locking miniplate/screw systems for the treatment of mandibular angle fractures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010;39(11):1109-14.
- Vashistha A, Singh M, Chaudhary M, Agarwal N, Kaur G. Comparison of 2 mm single locking miniplates versus 2 mm two non-locking miniplates in symphysis and parasymphysis fracture of mandible. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2017;7(1):42-8.
- Prabhakar C, Shetty JN, Hemavathy OR, Guruprasad Y. Efficacy of 2-mm locking miniplates in the management of mandibular fractures without maxillomandibular fixation. *Natl J Maxillofac Surg.* 2011;2(1):28-32.
- Yemini BC, Mahendra J, Nasina J, Mahendra L, Shivasubramanian L, Perika SB. Evaluation of maximum principal stress, von Mises stress, and deformation on surrounding mandibular bone during insertion of an implant: a three-dimensional finite element study. *Cureus.* 2020; 12(7):e9430. doi: 10.7759/cureus.9430.

14. Sugiura T, Horiuchi K, Sugimura M, Tsutsumi S. Evaluation of threshold stress for bone resorption around screws based on in vivo strain measurement of miniplate. *J Musculoskeletal Neuronal Interact.* 2000;1(2):165-70.
15. Moratal D. *Finite Element Analysis* [ebook]. 1sted. London: IntechOpen; 2010.
16. Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2001;85(6):585-98.
17. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2014;4(3):200-3.
18. Shyam Sundar S, Nandlal B, Saikrishna D, Mallesh G. Finite element analysis: a maxillofacial surgeon's perspective. *J Maxillofac Oral Surg.* 2012;11(2):206-11.
19. Sharir A, Barak MM, Shahar R. Whole bone mechanics and mechanical testing. *Vet J.* 2008;177(1):8-17.
20. Dolanmaz D, Uckan S, Isik K, Saglam H. Comparison of stability of absorbable and titanium plate and screw fixation for sagittal split ramus osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2004;42(2):127-32.
21. Muller L, Caputo G, Zago MK, Gomes JLE. Lateral opening wedge distal femoral V-osteotomy: Biomechanics comparison between angles of 60° and 90° in sheep. *J Musculoskeletal Res.* 2015;18(2):1550006. doi: 10.1142/S0218957715500062.
22. Hassan MK, Ring M, Stassen LFA. A Finite element analysis study comparing 3 internal fixation techniques in mandibular sagittal split osteotomy. *Int J Otolaryngology and Head & Neck Surgery.* 2018;7(5):298-311.
23. Stróżyk P, Nowak R. Finite elements method analysis of fixation for bilateral sagittal split osteotomy. *Dent Med Probl.* 2011;48(2):157-64.
24. Ghorashi SM, Keshavarzi MM, Damercheli S, Parhiz A. The comparison of three different fixation methods on bilateral sagittal split ramus osteotomy mandibular on a 3D of fully modelled mandible by the finite element method. *J Craniomax Res.* 2019;6(3):113-21.
25. Fujii H, Kuroyanagi N, Kanazawa T, Yamamoto S, Miyachi H, Shimozato K. Three-dimensional finite element model to predict patterns of pterygomaxillary dysjunction during Le Fort I osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(5):564-71.
26. Lemke HU, Inamura K, Doi K, Vannier MW, Farman AG, Reiber JHC. *CARS 2002 Computer Assisted Radiology and Surgery: Computer Assisted Radiology and Surgery: Proceedings of the 16th International Congress and Exhibition, Paris, June 26-29, 2002: Springer Science & Business Media; 2002.*
27. Knoop PGM, Borghi A, Breakey RWF, Ong J, Jeelani NUO, Bruun R, et al. Three-dimensional soft tissue prediction in orthognathic surgery: a clinical comparison of Dolphin, ProPlan CMF, and probabilistic finite element modelling. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(4):511-8.
28. Brasileiro BF, Grotta-Grempel R, Ambrosano GM, Passeri LA. An in vitro evaluation of rigid internal fixation techniques for sagittal split ramus osteotomies: setback surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(4):941-51.

29. De Oliveira LB, Reis JM, Spin-Neto R, Gabrielli MA, Oguz Y, Pereira-Filho VA. Mechanical evaluation of six techniques for stable fixation of the sagittal split osteotomy after counterclockwise mandibular advancement. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2016;54(5):573-8.

30. Klein GBG, Mendes GCB, Ribeiro Junior PD, Viswanath A, Papageorge M. Biomechanical evaluation of different osteosynthesis methods after mandibular sagittal split osteotomy in major advancements. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(11):1387-93.

31. Lisiak-Myszke M, Marciniak D, Bieliński M, Sobczak H, Garbacewicz Ł, Drogoszewska B. Application of finite element analysis in oral and maxillofacial surgery-a literature review. *Materials (Basel).* 2020;13(14):3063. doi: 10.3390/ma13143063.

ติดต่อบทความ :

รศ.ทพ.อวิรุทธ์ คล้ายศิริ

สาขาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 อำเภอ

คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ : 02-986 9051

อีเมลล์ : Dentton@tu.ac.th

Corresponding author:

Assoc.Prof.Dr. Awiruth Klaisiri

Division of Restorative Dentistry, Faculty of

Dentistry, Thammasat University, 99 M.18

Klongluang, Pathumthani, 12120, Thailand.

Tel: +662-986 9051

E-mail: Dentton@tu.ac.th