

ผลของการปรับสกรูขยายในส่วนล้อของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่: การ
ทดสอบจำลองแรงดึง



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดช่องปากและใบหน้า ภาควิชาทันตกรรมบดเคี้ยว
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF EXPANSION SCREW ADJUSTMENT IN THE LOCKING PART OF A NOVEL
ADJUSTABLE MANDIBULAR ADVANCEMENT DEVICE: SIMULATED TENSILE TESTS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Occlusion and Orofacial Pain
Department of Occlusion
Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2017
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการปรับสกรูขยายในส่วนล็อกของเครื่องมือยื่น
ขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่: การทดสอบจำลอง
แรงดึง

โดย นายอุทัย อูมา

สาขาวิชา ทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดช่องปากและใบหน้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงสุปราณี วิเชียรเนตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.เปรมทิพย์ ชลิตา
พงศ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงสุนิภา วงศ์ทองศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงสุปราณี วิเชียรเนตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.เปรมทิพย์ ชลิตาพงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.สุพรรณิการ์ เรืองศรี)

อุทัย อุมา : ผลของการปรับสกรูขยายในส่วนล็อกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่: การทดสอบจำลองแรงดึง (EFFECT OF EXPANSION SCREW ADJUSTMENT IN THE LOCKING PART OF A NOVEL ADJUSTABLE MANDIBULAR ADVANCEMENT DEVICE: SIMULATED TENSILE TESTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ทญ.สุปราณี วิเชียรเนตร, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ทญ. ดร.เปรมทิพย์ ชลิตาพงศ์, หน้า.

วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบแรงดึงสูงสุดแนวตั้งและแนวราบของส่วนล็อกในเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ *วัสดุและวิธีการ:* ชิ้นงานจำนวน 20 คู่ ซึ่งแต่ละคู่ประกอบด้วยชิ้นงานล่างและชิ้นงานบนที่มีสกรูขยาย ถูกแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม (กลุ่มละ 5 คู่ชิ้นงาน) คือ 1) ชิ้นงานไม่ปรับสกรูขยายสำหรับทดสอบแรงดึงแนวตั้ง 2) ชิ้นงานปรับสกรูขยาย 5 มิลลิเมตรสำหรับทดสอบแรงดึงแนวตั้ง 3) ชิ้นงานไม่ปรับสกรูขยายสำหรับทดสอบแรงดึงแนวราบ และ 4) ชิ้นงานปรับสกรูขยาย 5 มิลลิเมตรสำหรับทดสอบแรงดึงแนวราบ ชิ้นงานถูกทดสอบด้วยแรงดึงต่อเนื่องในแนวตั้งหรือแนวราบจนกว่าชิ้นงานแตกหักหรือลื่นไถลออกจากกัน สาเหตุหยุดทดสอบในแต่ละชิ้นงานถูกประเมินด้วยเช่นกัน *ผลการศึกษา:* ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวตั้งของชิ้นงานในกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 คือ 267.31 ± 13.26 นิวตัน และ 262.70 ± 11.68 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.576$) ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวราบของชิ้นงานในกลุ่ม 3 และกลุ่ม 4 คือ 476.11 ± 100.08 นิวตัน และ 449.17 ± 95.87 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.576$) สาเหตุหยุดทดสอบมี 3 รูปแบบ คือ ชิ้นงานบนบิดเบี้ยว ชิ้นงานบนแตกหัก และชิ้นงานล่างแตกหัก *สรุปผล:* ค่าแรงดึงสูงสุดนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากการขยายสกรูขยาย และค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดของเครื่องมือแบบใหม่จากการทดสอบชิ้นงานนี้ก็มีค่ามากกว่าแรงอ้าปากสูงสุดและแรงดึงกลับของขากรรไกรล่างในทางคลินิกอีกด้วย

ภาควิชา ทันตกรรมบดเคี้ยว ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ช่องปากและใบหน้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2560

5775833932 : MAJOR OCCLUSION AND OROFACIAL PAIN

KEYWORDS: ADJUSTABLE / EXPANSION SCREW / MANDIBULAR ADVANCEMENT DEVICE / OBSTRUCTIVE SLEEP APNEA / ORAL APPLIANCE / TENSILE STRENGTH

UTHAI UMA: EFFECT OF EXPANSION SCREW ADJUSTMENT IN THE LOCKING PART OF A NOVEL ADJUSTABLE MANDIBULAR ADVANCEMENT DEVICE: SIMULATED TENSILE TESTS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUPRANEE VICHENNET, CO-ADVISOR: ASST. PROF. PREMTHIP CHALIDAPONGSE, Ph.D., pp.

Objective: To test the vertical and horizontal maximum tensile forces of the locking part in a novel adjustable mandibular advancement (UMA) splint. *Materials and methods:* Twenty paired samples, each comprising a lower piece and an upper piece with an expansion screw, were prepared. The paired samples were divided into 4 groups (n=5): 1) non-expanded screw group for vertical force test, 2) 5-mm-expanded screw group for vertical force test, 3) non-expanded screw group for horizontal force test, and 4) 5-mm-expanded screw group for horizontal force test. All groups received a continuous vertical or horizontal tensile force until sample fracture or disconnection. The mode of failure for each sample was also evaluated. *Results:* The mean maximum tensile forces were 267.31 ± 13.26 N and 262.70 ± 11.68 N in the first and second groups, respectively, which were not significantly different ($p=0.576$). The mean maximum tensile forces of the third and fourth groups were 476.11 ± 100.08 N and 449.17 ± 95.87 N, respectively, which were not significantly different ($p=0.675$). There were 3 modes of failure including upper piece distortion, upper piece fracture, and lower piece fracture. *Conclusion:* These maximum tensile forces were not affected by screw expansion. The novel device's maximum tensile forces exhibited by the samples were higher than that of clinical maximum mouth opening force and mandibular pull-back force.

Department: Occlusion Student's Signature

Field of Study: Occlusion and Orofacial Pain Advisor's Signature

Pain Co-Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้มีส่วนร่วมในผลงานวิจัยชิ้นนี้ ดังรายนามดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง พนมพร วาณิชชานนท์, รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงสุปราณี วิเชียรเนตร, และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.เปรมทิพย์ ชลิตาพงศ์ ที่อบรมบ่มสอนในวิชาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัย รวมถึงได้ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษาทั้งก่อนการทำงานวิจัย ขณะทำงานวิจัย และหลังทำงานวิจัย ซึ่งล้วนมีคุณค่าต่อการศึกษาของข้าพเจ้าเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง สุขนิภา วงศ์ทองศรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.สุพรรณนิการ์ เรืองศรี ที่สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นประธานกรรมการและกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบุคลากรประจำภาควิชาทันตกรรมบดเคี้ยว, คลินิกบัณฑิตศึกษาทันตกรรมบดเคี้ยว, และศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่และน้อง รวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เสมอมา รวมถึงขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้หมด ณ ที่นี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 คำถามงานวิจัย.....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย	4
1.4.1 สมมติฐานหลัก	4
1.4.2 สมมติฐานรอง.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	5
1.8 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	5
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.10 กรอบแนวคิดงานวิจัย	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1.1 ทันตอุปกรรมทั่วไป	7

2.1.1.1 คำจำกัดความ.....	7
2.1.1.2 ชนิดของเครื่องมือ	7
2.1.1.3 วัสดุผลิตเครื่องมือ	9
2.1.1.4 ทันตอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ	11
2.1.2 เครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางชนิดปรับได้แบบใหม่	14
2.1.2.1 แนวคิด.....	14
2.1.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางชนิดปรับได้แบบใหม่	15
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.2.1 การศึกษาการยึดอยู่ของเครื่องมือ.....	17
2.2.2 การศึกษาแรงกดบนเครื่องมือหลังการยื่นขากรรไกรกลาง	18
2.2.3 การศึกษาแรงอ้าปาก	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1 รูปแบบงานวิจัย	19
3.2 กลุ่มตัวอย่าง	19
3.3 วัสดุและอุปกรณ์.....	20
3.4 วิธีทดสอบ.....	21
3.4.1 การเตรียมชิ้นงาน	21
3.4.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ	23
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	25
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	25
3.6.1 สถิติเชิงพรรณนา	25
3.6.2 สถิติเชิงวิเคราะห์	25
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	27

4.1 ปริมาณแรงดึงขึ้นงานตลอดการทดสอบ	27
4.2 แรงดึงสูงสุดและสาเหตุหยุดทดสอบ	29
4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด	32
4.3.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยาย	32
4.3.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึง	34
4.3.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบ	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการวิจัย	37
5.2 อภิปรายผล	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	40
5.4.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์	40
5.4.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป	40
รายการอ้างอิง	42
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส	48
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย	6
ภาพที่ 2 แนวคิดของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่	15
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่	17
ภาพที่ 4 กลไกส่วนล็อกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่.....	17
ภาพที่ 5 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	21
ภาพที่ 6 การผลิตชิ้นงานด้วยซีพียูจำลองแบบโดยใช้แบบหล่อซิลิโคน	21
ภาพที่ 7 การฝังสกรูขายในชิ้นงานซีพียู	22
ภาพที่ 8 ชิ้นงานหลังการแทนที่ซีพียูจำลองแบบด้วยวัสดุเรซินอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อน	23
ภาพที่ 9 การยึดชิ้นงานด้วยตัวยึดโลหะสำหรับการทดสอบแรงดึงแนวตั้ง.....	24
ภาพที่ 10 การยึดชิ้นงานด้วยตัวยึดโลหะสำหรับการทดสอบแรงดึงแนวราบ	24
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของระยะดึงชิ้นงาน (แกน X) และปริมาณแรงดึงชิ้นงาน (แกน Y)	28
ภาพที่ 12 สภาพชิ้นงานหลังทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งในชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 10.....	30
ภาพที่ 13 สภาพชิ้นงานหลังทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบในชิ้นงานลำดับที่ 11 ถึง 20	32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างแบ่งตามกลุ่มทดสอบ.....	20
ตารางที่ 2 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในการทดสอบ	25
ตารางที่ 3 แรงดึงสูงสุดจากทดสอบแรงดึงแนวตั้งและสาเหตุหยุดทดสอบในชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 10	29
ตารางที่ 4 แรงดึงสูงสุดจากทดสอบแรงดึงแนวราบและสาเหตุหยุดทดสอบในชิ้นงานลำดับที่ 11 ถึง 20.....	31
ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test	33
ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยายโดยใช้สถิติ Independent t-test	34
ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึงโดยใช้สถิติ Independent t-test	35
ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบโดยสถิติ Independent t-test.....	36
ตารางที่ 9 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามกลุ่มทดสอบ	48
ตารางที่ 10 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาการแจกแจงแบบปกติตามกลุ่มทดสอบ.....	48
ตารางที่ 11 ผลสถิติจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยาย....	49
ตารางที่ 12 ผลทางสถิติจากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึง	49
ตารางที่ 13 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสาเหตุหยุดทดสอบหลังการทดสอบแรงดึงแนวตั้ง	50
ตารางที่ 14 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสาเหตุหยุดทดสอบหลังการทดสอบแรงดึงแนวราบ	50

ตารางที่ 15 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาการแจกแจงแบบปกติตามสาเหตุหยุดทดสอบหลังการ
 ทดสอบแรงดึงแนวราบ 50

ตารางที่ 16 ผลสถิติจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบ
 หลังการทดสอบแรงดึงแนวราบ 51



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความผิดปกติของการหายใจขณะนอนหลับ (sleep-related breathing disorder) เป็นความผิดปกติที่พบได้บ่อยในปัจจุบันและมีแนวโน้มสูงขึ้น ผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการหายใจขณะนอนหลับมักรายงานว่ามีการนอนกรน (snoring) ในขณะนอนหลับ หากทางเดินหายใจส่วนบนตีบแคบลง ผู้ป่วยอาจพัฒนาเป็นกลุ่มอาการทางเดินหายใจส่วนบนตีบขัด (upper airway resistance syndrome) ผู้ป่วยบางรายอาจพบทางเดินหายใจส่วนบนถูกอุดกั้นซึ่งก่อให้เกิดภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น (obstructive sleep apnea) ตามมาได้ การอุดกั้นของทางเดินหายใจส่วนบนที่มากเพียงพอ ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการหยุดหายใจเป็นช่วงๆ^{1, 2}

การรักษาความผิดปกติของการหายใจขณะนอนหลับ แบ่งการรักษาได้ 4 วิธีหลักๆ³⁻⁵ ดังนี้

1) การปรับรูปแบบการดำเนินชีวิต (Lifestyle / Behavioral Modification)

การปรับรูปแบบการดำเนินชีวิตเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ชีวิตของผู้ป่วยภาวะนอนกรนและภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับเล็กน้อย เพื่อลดความเสี่ยงอันก่อให้เกิดภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับรุนแรงมากขึ้นต่อไป เช่น การลดน้ำหนัก⁶ การงดดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์⁷ การปรับเปลี่ยนท่านอน^{8, 9} เป็นต้น

2) การใส่เครื่องอัดอากาศแรงดันบวกชนิดต่อเนื่อง (Continuous Positive Airway Pressure; CPAP)

การรักษาผู้ป่วยด้วยเครื่องอัดอากาศแรงดันบวกชนิดต่อเนื่องเป็นการรักษาตามมาตรฐานหลัก (gold standard) สำหรับผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น¹⁰ โดยผู้ป่วยจะสวมหน้ากากบริเวณจมูกหรือปากที่เชื่อมต่อกับเครื่องอัดอากาศ ขณะเครื่องอัดอากาศทำงานจะเกิดแรงดันอากาศอย่างต่อเนื่องส่งไปที่จมูกหรือปากของผู้ป่วย แรงดันอากาศที่เหมาะสมจะสามารถเปิดทางเดินหายใจบริเวณลำคอเพื่อส่งเสริมให้ผู้ป่วยสามารถนอนหลับและหายใจได้เป็นปกติ

3) ศัลยกรรม (Surgery)

ผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรงอาจได้รับการรักษาด้วยศัลยกรรมทางเดินหายใจส่วนบน^{11, 12} เช่น การผ่าตัดยื่นโครงสร้างขากรรไกรบนและล่างไปข้างหน้า (maxillomandibular advancement)¹³ ศัลยกรรมเพดานอ่อน (soft palate

surgery) ศัลยกรรมโพรงจมูก (nasal surgery) ศัลยกรรมลดขนาดลิ้น (tongue reduction surgery) ศัลยกรรมลดน้ำหนักตัว (weight reduction surgery) และศัลยกรรมทำรูเปิดช่องคอ (tracheostomy) เป็นต้น

4) การใส่ทันตอุปกรณ์ (Oral Appliance)

ทันตอุปกรณ์สำหรับรักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นมีการผลิตออกมาหลากหลายรูปแบบ¹⁴ แต่สามารถแบ่งกลุ่มของทันตอุปกรณ์ได้ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เครื่องมือยึดลิ้น (tongue retaining device; TRD) ซึ่งอาศัยหลักการยึดปลายลิ้นให้คงตำแหน่งลิ้นไว้ทางด้านหน้า ในขณะที่ผู้ป่วยนอนหลับและสวมใส่เครื่องมือยึดลิ้น ลิ้นจะถูกยึตรั้งมาทางด้านหน้าด้วยเครื่องมือ ลิ้นจึงไม่ตกไปทางด้านหลังจนปิดกั้นทางเดินหายใจส่วนบน และทันตอุปกรณ์อีกกลุ่ม คือ เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง (mandibular advancement device; MAD) ซึ่งอาศัยหลักการยื่นตำแหน่งของขากรรไกรล่างไปทางด้านหน้า เพื่อเปิดทางเดินหายใจและลดความรุนแรงของการปิดกั้นทางเดินหายใจขณะนอนหลับ^{15, 16}

แนวการรักษาทางคลินิกด้วยทันตอุปกรณ์ในผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นและภาวะนอนกรน ถูกนำเสนอโดยสมาคมเวชศาสตร์การนอนหลับแห่งประเทศไทย (American Academy of Sleep Medicine) และสมาคมทันตเวชศาสตร์การนอนหลับแห่งประเทศไทย (American Academy of Dental Sleep Medicine) ในปี ค.ศ. 2015 ดังนี้¹⁷

- 1) แพทย์สั่งจ่ายทันตอุปกรณ์ (ดีกว่าไม่รักษาใดๆ) สำหรับผู้ป่วยที่ต้องการรักษาภาวะนอนกรน (ปราศจากภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น) (มาตรฐาน)
- 2) เมื่อแพทย์สั่งจ่ายทันตอุปกรณ์สำหรับผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น ทันตแพทย์ควรเลือกใช้เครื่องมือเฉพาะบุคคลชนิดปรับได้มากกว่าเครื่องมือไม่เฉพาะบุคคล (แนวทาง)
- 3) แพทย์สั่งจ่ายทันตอุปกรณ์ (ดีกว่าไม่รักษาใดๆ) สำหรับผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นที่ไม่สามารถทนต่อการรักษาด้วยเครื่องอัดอากาศแรงดันบวกชนิดต่อเนื่อง หรือต้องการการรักษาทางเลือก (มาตรฐาน)
- 4) ทันตแพทย์ควรติดตามการรักษาด้วยทันตอุปกรณ์สำหรับผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น เพื่อติดตามผลข้างเคียงที่สัมพันธ์กับฟันหรือการเปลี่ยนแปลงการสบฟัน และลดอุบัติการณ์นั้น (แนวทาง)

- 5) แพทย์ควรติดตามผลด้วยการตรวจการนอนหลับเพื่อเพิ่มหรือยืนยันประสิทธิภาพของการรักษาด้วยทันตอุปกรณ์ (แนวทาง)
- 6) แพทย์และทันตแพทย์แนะนำให้ผู้ป่วยที่รักษาด้วยทันตอุปกรณ์เพื่อรักษาภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น ให้กลับมาตรวจซ้ำเป็นระยะๆกับทันตแพทย์และแพทย์ (แนวทาง)

ในประเทศไทยการดูแลผู้ป่วยด้วยทันตอุปกรณ์ถูกนำมาใช้รักษาผู้ป่วยเป็นวงกว้างมากขึ้น โดยมีข้อบ่งชี้ คือ ทันตอุปกรณ์เหมาะสำหรับผู้ป่วยนอนกรนที่ไม่ตอบสนองต่อการรักษาเชิงอนุรักษ์ เช่น การลดน้ำหนัก การหลีกเลี่ยงการนอนหงาย หรือการงดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก่อนนอน¹⁸ และผู้ป่วยที่มีภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นที่ไม่อาจทนการใช้เครื่องอัดอากาศแรงดันบวก¹⁸

จากแนวทางในการดูแลผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นด้วยทันตอุปกรณ์ทั้งประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย ทันตอุปกรณ์ถือเป็นทางเลือกในการรักษาผู้ป่วยลำดับต้นๆ ทันตแพทย์จึงมีบทบาทมากขึ้นเพื่อร่วมวินิจฉัยและให้การรักษาผู้ป่วยเหล่านี้ แต่ทั้งนี้ทันตอุปกรณ์ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการเกี่ยวกับการนำมาใช้ คือ รูปแบบของทันตอุปกรณ์ในประเทศไทยมีให้เลือกใช้ไม่หลากหลาย ใช้ระยะเวลาในการผลิตค่อนข้างนาน ราคาค่อนข้างสูง และสิทธิการรักษาของผู้ป่วยไม่ครอบคลุมการใช้ทันตอุปกรณ์เพื่อรักษาผู้ป่วย ทำให้ผู้ป่วยไทยไม่สามารถเข้าถึงการรักษาที่เหมาะสมได้อย่างทั่วถึง

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาออกแบบและประดิษฐ์ทันตอุปกรณ์เพื่อใช้รักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นและภาวะนอนกรน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาการผลิตทันตอุปกรณ์เพื่อใช้รักษาผู้ป่วยภายในประเทศ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการทดสอบคุณสมบัติบางประการของทันตอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้น เพื่อยืนยันและสร้างความมั่นใจเกี่ยวกับความแข็งแรงของทันตอุปกรณ์ก่อนนำไปใช้รักษาในผู้ป่วยจริงต่อไป

1.2 คำถามงานวิจัย

ส่วนล็อก (locking part) ของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้น มีความแข็งแรงเพียงใดเมื่อทำการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งและแนวราบ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาแรงดึงสูงสุด (maximum tensile force) ของส่วนล็อกในเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อรักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นและภาวะนอนกรน โดยทำการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งและแนวราบ

1.4 สมมติฐานงานวิจัย

1.4.1 สมมติฐานหลัก

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยาย

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร *ไม่แตกต่าง* กับชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งหรือแนวราบ

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร *แตกต่าง* กับชิ้นงานที่ไม่ได้ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งหรือแนวราบ

1.4.2 สมมติฐานรอง

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึง

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง *ไม่แตกต่าง* กับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร หรือไม่ได้ปรับสกรูขยาย

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง *แตกต่าง* กับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร หรือไม่ได้ปรับสกรูขยาย

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบ

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในกลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก *ไม่แตกต่าง* กับกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในกลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก *แตกต่าง* กับกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ผู้วิจัยจะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและการประดิษฐ์เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ เพื่อใช้รักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นและ/หรือภาวะนอนกรน โดยทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือ

กลุ่มตัวอย่างของการศึกษาได้จากการออกแบบและจำลองส่วนล๊อคของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้เพื่อใช้ทดสอบแรงดึงสูงสุด โดยทดสอบในทิศทางต่างๆ

ผู้วิจัยทำการศึกษาที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ และคลินิกบัณฑิตศึกษาทันตกรรมบดเคี้ยว คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในขั้นตอนการออกแบบ การผลิตเครื่องมือ การทดสอบเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

การทดสอบชิ้นงานนี้ ผู้วิจัยใช้วัสดุเรซินอะคริลิกและสกรูขยายที่ทำซื้อได้สะดวกในประเทศไทย เนื่องจากผลการศึกษาอาจนำไปต่อยอดทางวิชาการได้ง่าย และสามารถนำไปปรับใช้ให้เข้ากับบริบททันตแพทย์ไทยได้มากที่สุด ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุเรซินอะคริลิกประเภทเดียวกับที่ใช้ผลิตฝือกสบฟัน และใช้สกรูขยายชนิดเดียวกับที่ผลิตเครื่องมือขยายขากรรไกรของทันตแพทย์จัดฟัน

1.7 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1) การพัฒนาเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางสำหรับการศึกษานี้ เป็นเพียงต้นแบบหนึ่งเท่านั้น
- 2) การทดสอบแรงดึงของเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางสำหรับการศึกษานี้ เลือกทดสอบเพียงส่วนล็อกของเครื่องมือเท่านั้น
- 3) การจำลองเพียงส่วนล็อกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางอาจไม่คล้ายคลึงกับเครื่องมือจริงเมื่ออยู่ในสภาวะช่องปากของมนุษย์
- 4) ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบนี้ เป็นการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทั้งเรซินอะคริลิกและสกรูขยายที่ยึดติดร่วมกัน ไม่ได้พิจารณาแยกทดสอบแต่ละวัสดุ

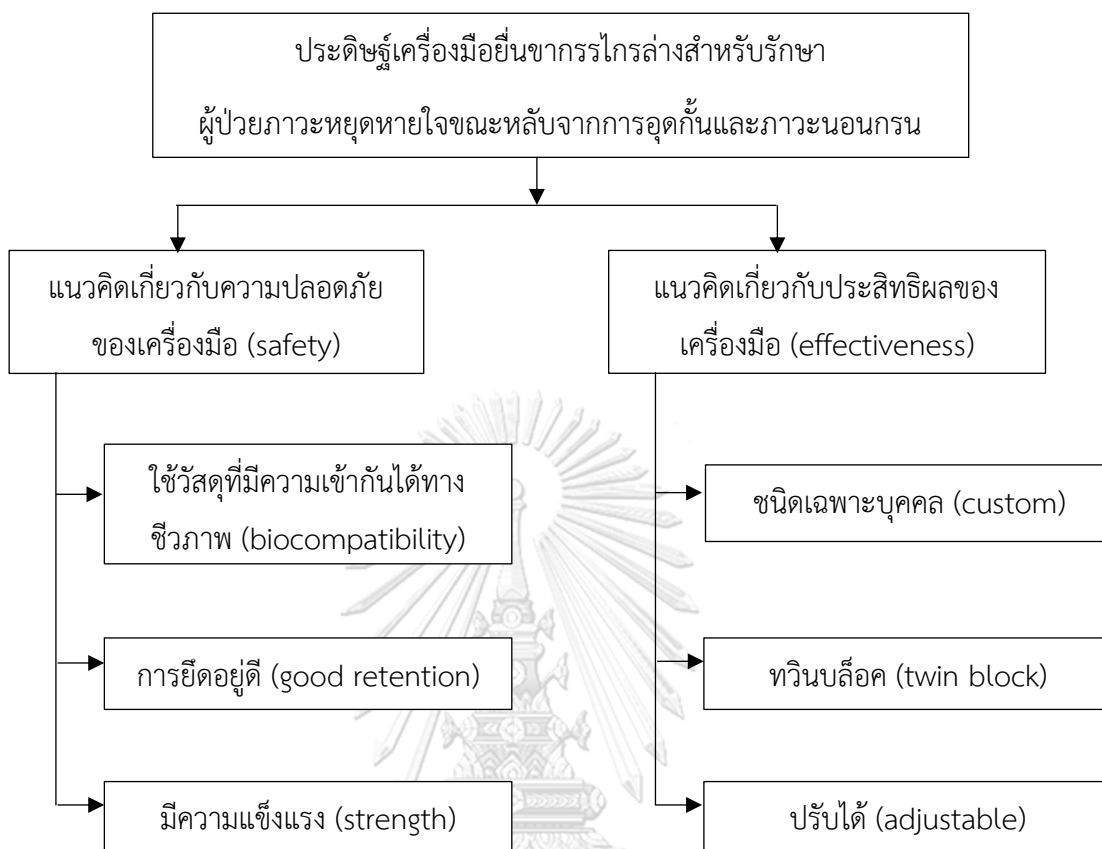
1.8 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

แรงดึงสูงสุด คือ แรงที่กระทำต่อกลุ่มตัวอย่างสูงสุดก่อนที่กลุ่มตัวอย่างแตกหักหรือลื่นหลุดจากกัน แรงดึงสูงสุดมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton; N)¹⁹

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถจำลองแรงดึงในทิศทางต่างๆให้กระทำต่อส่วนล็อกของเครื่องมือ ซึ่งไม่สามารถทำการทดสอบได้จริงในมนุษย์
- 2) สร้างความมั่นใจและยืนยันความแข็งแรงของเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางก่อนนำเครื่องมือไปใช้รักษาในผู้ป่วยจริง
- 3) เข้าใจและเผื่อระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้หลังจากการสวมใส่เครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางที่ผลิตขึ้น

1.10 กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมและแบ่งหัวข้อการศึกษาใน 2 หัวข้อใหญ่ คือ ทันตอุปกรณ์ทั่วไป และเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ทันตอุปกรณ์ทั่วไป

2.1.1.1 คำจำกัดความ

จากการประชุมของทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านทันตเวชศาสตร์การนอนหลับและการวิจัยการนอนหลับจำนวน 15 คน เมื่อวันที่ 15-17 กุมภาพันธ์ 2013 ได้ให้คำจำกัดความของทันตอุปกรณ์¹⁶ ดังนี้

การใช้ทันตอุปกรณ์มุ่งหวังเพื่อรักษาภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น ภาวะนอนกรนธรรมดา (primary snoring) และอาการอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเครื่องมือจะช่วยลดความถี่และเวลาของการหยุดหายใจ (apnea) การหายใจแผ่ว (hypopnea) สมองตื่นเร้าจากการพยายามหายใจ (respiratory effort related arousals) และ/หรือภาวะนอนกรน ทันตอุปกรณ์จะช่วยเพิ่มระดับออกซิเจนในเลือดซึ่งส่งผลดีต่อปัญหาสุขภาพและปัญหาทางสังคมของผู้ป่วย

ข้อบ่งชี้ของทันตอุปกรณ์¹⁶ คือ นำมาใช้รักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นในระดับเล็กน้อยจนถึงระดับปานกลาง และภาวะนอนกรนธรรมดา อาจใช้ได้กับผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับรุนแรงที่ไม่ตอบสนองหรือไม่สามารถทนต่อการใส่เครื่องอัดอากาศแรงดันบวกชนิดต่อเนื่องได้ โดยทั่วไปสามารถใช้ทันตอุปกรณ์เพียงอย่างเดียวในการรักษาผู้ป่วย แต่อาจใช้ร่วมกับการรักษาด้วยเครื่องอัดอากาศแรงดันบวกชนิดต่อเนื่องหรือการรักษาอื่นๆได้

2.1.1.2 ชนิดของเครื่องมือ

ทันตอุปกรณ์มีการคิดค้นและออกแบบไว้หลายรูปแบบ¹⁴ รูปแบบของทันตอุปกรณ์ที่สำคัญสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

1) เครื่องมือยึดลิ้น

เครื่องมือยึดลิ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหายใจแก่ผู้ป่วย โดยอาศัยหลักการ คือ เครื่องมือยึดติดที่ตำแหน่งปลายลิ้นในขณะนอนหลับ เพื่อรักษาและคงตำแหน่งของลิ้นไม่ให้ตกตามแนวแรงดึงดูดของโลก หากลิ้นของผู้ป่วยตกไปด้านหลังอาจเกิดการปิดกั้นที่ทางเดินหายใจส่วนบนได้ เครื่องมือยึดลิ้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น เครื่องมือยึดลิ้นสำเร็จรูป และเครื่องมือยึดลิ้นเฉพาะบุคคล เป็นต้น ประสิทธิภาพและการยอมรับต่ำกว่าเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง²⁰ จึงแนะนำในกรณีจำเป็น เช่น ผู้ป่วยที่ไม่มีฟันเหลือในปาก

2) เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง

เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการหายใจโดยอาศัยหลักการ คือ เครื่องมือช่วยคงตำแหน่งของขากรรไกรล่างในตำแหน่งยื่นขากรรไกร ส่งผลให้เลื่อนตำแหน่งลิ้นไปด้านหน้าทางเดินหายใจส่วนบนของผู้ป่วยจะถูกเปิดกว้างขึ้น ช่วยลดความรุนแรงของการปิดกั้นทางเดินหายใจขณะนอนหลับได้^{15, 16} เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบขึ้นกับข้อพิจารณาในการแบ่ง ดังนี้

แบ่งโดยพิจารณาจากขั้นตอนการผลิต

ก. เครื่องมือสำเร็จรูป (Prefabricated)

ผู้ป่วยสามารถเลือกใช้เครื่องมือได้ตามท้องตลาด เนื่องจากเครื่องมือผ่านการผลิตเรียบร้อยแล้ว ข้อดีของเครื่องมือสำเร็จรูป คือ ผู้ป่วยสามารถเลือกซื้อได้ตามความต้องการ เครื่องมือพร้อมใช้งาน ไม่เสียเวลาในขั้นตอนการผลิต และราคาเครื่องมือค่อนข้างถูก ข้อเสียของเครื่องมือสำเร็จรูป คือ เครื่องมือไม่ค่อยแนบสนิทกับอวัยวะช่องปาก และประสิทธิภาพการรักษาค่อนข้างต่ำ

ข. เครื่องมือเฉพาะบุคคล (Custom)

ผู้ป่วยต้องรับการรักษาด้วยการพิมพ์ปากโดยทันตแพทย์เพื่อสร้างแบบจำลองฟัน จากนั้นช่างทันตกรรมหรือทันตแพทย์จะเป็นผู้ผลิตเครื่องมือเฉพาะบุคคล ข้อดีของเครื่องมือเฉพาะบุคคล คือ เครื่องมือมีความแนบสนิทกับอวัยวะช่องปากดี และประสิทธิภาพของการรักษาสูง แต่ข้อเสียของเครื่องมือเฉพาะบุคคล คือ ใช้เวลาในการผลิตนาน ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การสวมใส่และการปรับแต่งเครื่องมือจะปฏิบัติโดยทันตแพทย์

แบ่งโดยพิจารณาลักษณะของเครื่องมือ

ก. เครื่องมือโมนอบล็อก (Monobloc)

เป็นการออกแบบเครื่องมือเพียงชิ้นเดียวเพื่อให้ผู้ป่วยสวมใส่ ผู้ป่วยอาจสวมใส่เครื่องมือที่ขากรรไกรบนหรือที่ขากรรไกรล่าง หรือทั้งขากรรไกรบนและล่างพร้อมกัน ส่วนมากเครื่องมือโมนอ

บล็อกจะใส่ทั้งขากรรไกรบนและล่างเพื่อยึดตำแหน่งขากรรไกรไปข้างหน้า ข้อดี คือ ดูแลรักษาง่าย ไม่ค่อยแตกหัก ไม่สูญหาย แต่ข้อเสีย คือ ผู้ป่วยรู้สึกรำคาญ อึดอัด และกีดขวางการเคลื่อนที่ของขากรรไกรในผู้ป่วยนอนกัดฟันได้

ข. เครื่องมือทวินบล็อก (Twin Block / Duobloc)

เครื่องมือถูกออกแบบแยกเป็น 2 ชั้น เพื่อใส่ที่ขากรรไกรบนและล่าง มักมีอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างขากรรไกรบนและล่าง เช่น แผ่นพลาสติก ข้อต่อโลหะ อะคริลิก หรือหนังยาง ข้อดี คือ ผู้ป่วยสามารถเคลื่อนที่ขากรรไกรได้ และผู้ป่วยไม่ค่อยรู้สึกอึดอัด แต่ข้อเสีย คือ อุปกรณ์เชื่อมต่อเครื่องมือมีโอกาสชำรุดง่าย และทำความสะอาดเครื่องมือยาก เนื่องจากเครื่องมือมีความซับซ้อน

แบ่งโดยพิจารณาจากความสามารถในการปรับเครื่องมือ

ก. เครื่องมือปรับไม่ได้ (Non-adjustable / Fixed)

เครื่องมือไม่สามารถปรับแต่งระยะยื่นขากรรไกรล่างได้ ระยะยื่นขากรรไกรล่างจะถูกกำหนดตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการผลิตเครื่องมือ ข้อดี คือ ไม่ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยในการปรับเครื่องมือ ทันตแพทย์ไม่ต้องใช้ทักษะการปรับเครื่องมือ และจำนวนการนัดหมายเพื่อพบทันตแพทย์น้อย แต่ข้อเสีย คือ ไม่สามารถเพิ่มหรือลดระยะยื่นขากรรไกรล่าง เพื่อให้สัมพันธ์กับประสิทธิภาพผลของการรักษาและผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นได้

ข. เครื่องมือปรับได้ (Adjustable)

เครื่องมือสามารถปรับแต่งระยะยื่นขากรรไกรล่างได้ โดยผู้ป่วยหรือทันตแพทย์เป็นผู้ปรับเครื่องมือ เครื่องมือควรปรับได้ทั้งเพิ่มและลดระยะยื่นขากรรไกร ข้อดี คือ สามารถปรับเครื่องมือให้สอดคล้องกับความทนได้ (tolerance) ของผู้ป่วย ผู้ป่วยสามารถปรับตัวได้ดีกับระยะที่ค่อยๆ เปลี่ยนแปลง และสามารถประเมินประสิทธิภาพการรักษาที่ระยะต่างๆได้ แต่ข้อเสีย คือ ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยและทักษะของทันตแพทย์มาก ผู้ป่วยจะต้องมาพบทันตแพทย์เพื่อปรับเครื่องมือหลายครั้ง

2.1.1.3 วัสดุผลิตเครื่องมือ

1) เรซินอะคริลิก (Acrylic Resin)

เรซินอะคริลิก คือ พอลิเมอร์ (polymer) ชนิดหนึ่งที่ทำมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการทันตกรรม เช่น การผลิตฐานฟันเทียม การผลิตซีฟันเทียม การทำถาดพิมพ์ปากเฉพาะบุคคล รวมไปถึงการผลิตเปลือกสบฟันด้วย

เรซินอะคริลิกมีหลายรูปแบบ เช่น เจลหรือแผ่น แต่รูปแบบผงและน้ำมักใช้บ่อยกว่า ส่วนประกอบของผง คือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl Methacrylate; PMMA) และ ส่วนประกอบของน้ำ คือ เมทิลเมทาคริเลต (Methyl Methacrylate; MMA) หรืออาจเรียกว่ามอนอเมอร์ (monomer) เมื่อมีการผสมระหว่างส่วนผงและน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมเข้าด้วยกันจะเกิดการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ขึ้น โดยรูปแบบของการเกิดพอลิเมอร์มีหลายวิธี ได้แก่ การบ่มเอง (self-cured) การบ่มด้วยแสง (light-cured) และการบ่มด้วยความร้อน (heat-cured)^{19, 21} การผลิตเรซินอะคริลิกอาจผลิตเป็นแผ่นสำเร็จรูป เมื่อให้ความร้อนที่เหมาะสม วัสดุจะสามารถดัดแปลงหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ เรียกว่าวัสดุประเภทนี้ว่า เทอร์โมพลาสติกอะคริลิก (thermoplastic acrylic)

คุณสมบัติของเรซินอะคริลิก คือ ใส ไม่มีสี แสงส่องผ่านได้คล้ายกระจก มีความแข็งแรงคงทนต่อความร้อน ไม่เป็นพิษ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีเสถียรภาพทางเคมีที่ดี มีความต้านทานต่อสภาพอากาศที่ดีเยี่ยม เป็นฉนวนกันความร้อนไฟฟ้า ใช้งานง่าย และราคาประหยัด

2) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC)

พอลิคาร์บอเนต คือ พอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีคงทนสูง ทางทันตกรรมจะใช้พอลิคาร์บอเนตเพื่อทำครอบฟันชั่วคราว สะพานฟันชั่วคราว และเครื่องมือคงสภาพฟัน²²

ความโปร่งใสเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของพอลิคาร์บอเนต จึงนิยมทำผลิตภัณฑ์แทนแก้ว พอลิคาร์บอเนตแข็งแรงกว่าและทนต่อความร้อนได้ดีกว่าเรซินอะคริลิก สามารถทนต่อกรด แต่ไม่ทนด่าง ทนแรงกระแทกได้ มีความเหนียว ยึดเกาะตัวได้ดี คงรูปได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา แต่พอลิคาร์บอเนตยังมีปัญหาการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) เนื่องจากผลิตมาจากสารตั้งต้น คือ บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A)

3) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต-ไกลคอล (Polyethyleneterephthalat-Glycol; PET-G)

พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นพอลิเมอร์ที่หลอมในอุณหภูมิสูงและแข็งตัวเมื่อเย็น การใส่โคพอลิเมอร์ (copolymer) เข้าไปเพิ่มเติมเพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไกลคอล ส่งผลให้จุดหลอมเหลวต่ำลง คุณสมบัติของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต-ไกลคอล คือ ไม่มีสี แข็งแรง น้ำหนักเบา ทนต่อความชื้น แอลกอฮอล์และสารละลาย

4) เทอร์โมพลาสติก พอลิยูรีเทน (Thermoplastic Polyurethane; TPU)

เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ขึ้นเพื่อทดแทนยางธรรมชาติ ทางทันตกรรมนำมาใช้ผลิตสิ่งกันกระแทกฟัน (mouth guard) และสิ่งกันฟันกระแทกกลางคืน (night guard)²¹

คุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก พอลิยูรีเทน คือ ทนต่อการกระแทกได้ดีมาก น้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นดี ฝุ่นไม่เกาะ คีนทรวงได้ไว คงทน ไม่เกิดอาการย้วย ไม่เสียทรง หรือสูญเสียทรงนอยมาก ทนน้ำมัน ทนความร้อนได้ -50 ถึง 220 องศาเซลเซียส ทนทานต่อการเสียดสีและการฉีกขาด

5) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride; PVC)

เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักเบา แข็งกว่าพอลิยูรีเทน ทางทันตกรรมนำมาใช้ผลิตเปลือกสบฟันที่ขึ้นรูปร่างในสุญญากาศ (vacuum forming) และเครื่องมือคงสภาพฟันในทันตกรรมจัดฟัน

พอลิไวนิลคลอไรด์ เป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรงสูง สีใส ทนต่อไขมันและแอลกอฮอล์ได้ดี ทนต่อการดัดและด่าง ทนต่อความร้อนได้สูงใกล้จุดน้ำเดือด แต่ไม่สามารถทนต่อแสงแดดได้นานๆ อาจทำให้เปราะและแตกหักได้

6) พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE)

มีการผลิตพอลิเอทิลีนขึ้นทั้งในรูปแบบที่มีความหนาแน่นต่ำ กลาง และสูง สำหรับชนิดที่มีความหนาแน่นสูง คุณสมบัติของวัสดุจะแข็งแรง ในทางทันตกรรมนำพอลิเอทิลีนมาใช้ในการผลิตสิ่งกันกระแทกฟัน สิ่งกันฟันกระแทกกลางคีน ถาดฟลูออไรด์เฉพาะบุคคล (fluoride custom tray) และเปลือกฟันแบบอ่อน (soft splint)²²

2.1.1.4 ทันตอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ

ถึงแม้ทันตอุปกรณ์จะมีให้เลือกใช้หลากหลายรูปแบบ แต่เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างก็เป็นที่นิยมใช้ในทางคลินิกมากกว่าเครื่องมือยึดลิ้น และเป็นที่สนใจศึกษามากกว่า เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดเฉพาะบุคคลที่สามารถปรับได้จะให้ผลการรักษาดีกว่าเครื่องมือสำเร็จรูปที่ไม่สามารถปรับได้²³ เครื่องมือแบบโมโนบล็อกจะก่อให้เกิดผลข้างเคียงจากการรักษามากกว่าแบบทวินบล็อก²³ โดยที่ผู้ป่วยที่สวมใส่เครื่องมือแบบโมโนบล็อกชนิดสำเร็จรูปจะพบปัญหาจากการสวมใส่มากกว่าเครื่องมือแบบโมโนบล็อกชนิดเฉพาะบุคคล²⁴ ส่งผลให้ผู้ป่วยสวมใส่เครื่องมือได้ไม่ต่อเนื่อง²⁴ จึงไม่แนะนำให้ใช้เครื่องมือนี้ ถึงแม้ว่าราคาของเครื่องมือสำเร็จรูปถูกกว่าเครื่องมือเฉพาะบุคคล แต่หากสวมใส่เครื่องมือสำเร็จรูป ผู้ป่วยจะเริ่มมีปัญหาหลังจากการใช้งานผ่านไป 6 เดือน^{24, 25} ดังนั้นทันตอุปกรณ์ควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. รูปแบบ: เป็นเครื่องมือชนิดยื่นขากรรไกรล่าง¹⁶ เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและใช้ในการรักษาผู้ป่วยอย่างแพร่หลาย

2. การผลิตเครื่องมือ: ควรพิมพ์ปากและผลิตเครื่องมือจากแบบจำลองฟันให้เหมาะสมเฉพาะบุคคล¹⁶ ไม่ควรผลิตจากเครื่องมือสำเร็จรูปโดยการตัดแต่ง การดัดงอ การเสริมฐาน หรือการดัดแปลงอื่นๆ
3. วัสดุ: เครื่องมือควรทำจากวัสดุที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ¹⁶ ควรทำจากอะคริลิกแบบแข็ง (hard acrylic)²⁶ เนื่องจากหากใช้วัสดุพลาสติกอ่อนตัวด้วยความร้อนอาจทำให้เปลี่ยนแปลงการสบฟันได้โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีการสูญเสียฟันและกระดูกเข้าฟัน (alveolar bone)²⁶
4. ลักษณะของเครื่องมือ: เครื่องมือควรผลิตเป็นแบบทวินบล็อก²⁶ เพื่อสวมใส่ทั้งขากรรไกรบนและขากรรไกรล่างโดยที่ออกแบบให้ครอบคลุมฟันทุกซี่ ไม่แนะนำให้ทำเครื่องมือแบบโมโนบล็อกเพื่อใส่ทั้งขากรรไกรบนและล่างพร้อมกัน เพราะผู้ป่วยนอนกัดฟันจะไม่สามารถเคลื่อนที่ขากรรไกรได้ อิศระและอาจเกิดแรงต้านขณะเคลื่อนที่ขากรรไกรได้²⁶

ทันตอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการรักษาผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นและภาวะนอนกรน คือ เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับแต่งได้ที่ผลิตแบบทวินบล็อกเฉพาะบุคคลโดยใช้วัสดุอะคริลิกแบบแข็ง²⁶ กลไกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง คือ เคลื่อนและคงตำแหน่งขากรรไกรล่างและลิ้นไปข้างหน้าและลงล่าง เพื่อเพิ่มขนาดทางเดินหายใจส่วนบน แต่ก็ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าระยะยื่นขากรรไกรล่างสัมพันธ์กับการเปิดทางเดินหายใจมากน้อยเพียงใด^{27, 28} การเพิ่มระยะยื่นขากรรไกรล่างไปข้างหน้ามากกว่าร้อยละ 50 ก็ไม่พบความสัมพันธ์ทางบวกเชิงเส้นตรงกับประสิทธิผลในการรักษาผู้ป่วย²⁷ มักแนะนำให้ทำเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างประมาณร้อยละ 50 ของระยะยื่นขากรรไกรล่างที่ผู้ป่วยสามารถยื่นได้มากที่สุด^{27, 29}

การผลิตเครื่องมือให้ครอบคลุมฟันทุกซี่ซึ่งจะมีผลต่อความหนาของเครื่องมือทางด้านบดเคี้ยวและมิติแนวตั้ง (vertical dimension) ของผู้ป่วย²⁶ หากเครื่องมือมีความหนามากขึ้น มิติแนวตั้งของผู้ป่วยจะเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากเครื่องมือมีความหนาลดลง มิติแนวตั้งของผู้ป่วยจะลดลงเช่นกัน²⁶ เมื่อพิจารณาทางชีวกลศาสตร์พบว่าขากรรไกรล่างและลิ้นจะถอยไปด้านหลังมากขึ้นหากผู้ป่วยมีมิติแนวตั้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นเครื่องมือควรผลิตให้หนาน้อยที่สุด³⁰ โดยความหนาไม่ควรเกิน 5 มิลลิเมตร²⁶ เพื่อลดการถอยหลังของขากรรไกรล่างจากการใส่เครื่องมือที่หนาเกินไป ทั้งนี้หากเพิ่มความหนาของเครื่องมือทางด้านบดเคี้ยวมากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิผลในการลดภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น³⁰

เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างที่ดี ควรมีกวโกลการปรับระยะยื่นขากรรไกรล่างได้ครั้งละ 1 มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า¹⁶ และสามารถยื่นขากรรไกรล่างได้อย่างน้อย 5 มิลลิเมตร¹⁶ นอกจากนี้ต้องสามารถทำการปรับถอยหลังได้เช่นกัน¹⁶ การปรับแต่งระยะยื่นต้องเสถียรและสามารถตรวจสอบได้¹⁶

เวกเตอร์ของแรง (vector of force) ขึ้นกับการออกแบบเครื่องมือ เครื่องมือบางชนิดอาจมีเวกเตอร์ของแรงเพียงแนวราบเท่านั้น ในขณะที่เครื่องมือบางชนิดอาจมีทิศทางของแรงทั้งแนวราบและแนวตั้ง ส่งผลให้เวกเตอร์ของแรงไม่ได้อยู่ในแนวราบเพียงอย่างเดียว

ผู้ป่วยหรือผู้ดูแลผู้ป่วยสามารถสวมใส่หรือถอดเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างได้โดยง่าย¹⁶ โดยที่เครื่องมือสามารถยึดอยู่กับฟัน รากเทียม หรือสันเหงือกได้อย่างเสถียร¹⁶ และเครื่องมือต้องคงสภาพอย่างน้อย 3 ปีขึ้นไป¹⁶

ขณะผู้ป่วยสวมใส่เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง เครื่องมือจะมีอิทธิพลต่อขนาดทางเดินหายใจส่วนบน และกล้ามเนื้อทางเดินหายใจส่วนบน ดังนี้

1) ผลต่อขนาดทางเดินหายใจ

มีการศึกษาขนาดของทางเดินหายใจส่วนบนที่ระดับคอหอยส่วนปาก (oropharynx) โดยการถ่ายภาพรังสีด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (electron beam tomography) พบว่าขณะนอนหลับขนาดทางเดินหายใจของผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นลดลงจากภาวะตื่นนอนร้อยละ 36.5 ถึง 75.5 แต่เมื่อใส่ทันตอุปกรณ์พบว่าขนาดทางเดินหายใจของผู้ป่วยเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 75.7 ถึง 141.3³¹

การศึกษาขนาดและรูปร่างคอหอยหลังใส่ทันตอุปกรณ์โดยใช้การถ่ายภาพรังสีส่วนตัดอาศัยคอมพิวเตอร์ (computerized tomography; CT) พบว่าตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดมากที่สุดคือ คอหอยส่วนปากบริเวณหลังเพดาน (retropalatal oropharynx หรือ velopharynx)³² และตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงขนาดน้อยที่สุดคือ คอหอยส่วนล่าง (hypopharynx)³³ ขนาดทางเดินหายใจส่วนบนจะขยายในแนวข้าง (lateral) มากกว่าแนวหน้าหลัง (anteroposterior)³⁴ เนื่องจากมีการเชื่อมต่อของขากรรไกรล่างส่วนท้ายฟันกราม (ramus of mandible) กับผนังคอหอยด้านข้าง (pharyngeal lateral wall)³⁵ ส่งผลให้ผู้ป่วยมีปริมาตรของทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มมากขึ้นหลังใส่เครื่องมือในช่องปาก^{36, 37}

2) ผลต่อกล้ามเนื้อทางเดินหายใจส่วนบน

การศึกษากล้ามเนื้อทางเดินหายใจส่วนบนด้วยวิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (electromyography; EMG) พบว่าในระหว่างที่ผู้ป่วยใส่เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง กล้ามเนื้อเจนิโอกลอสซัส (genioglossus) กล้ามเนื้อเจนิโอไฮอยด์ (geniohyoid) และกล้ามเนื้อแมสซีเตอร์ (masseter) มีการทำงานเพิ่มมากขึ้น³⁸ ในขณะที่ผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับเล็กน้อยจะมีการทำงานของกล้ามเนื้อมากกว่าผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นระดับปานกลาง ทั้งขณะถอดเครื่องมือ และขณะสวมใส่เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่าง³⁹ อาจอธิบายการ

ทำงานของกล้ามเนื้อ และการตอบสนองต่อการรักษาของผู้ป่วยที่มีระดับความรุนแรงของโรคแตกต่างกันได้

2.1.2 เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่

2.1.2.1 แนวคิด

เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่เป็นการออกแบบโดยยึดหลักการตามคำแนะนำของทันตแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านทันตเวชศาสตร์การนอนหลับ¹⁶ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วข้างต้นเกี่ยวกับคำจำกัดความ และลักษณะของทันตอุปกรณ์ที่มีประสิทธิผล

เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ ถูกออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกลไกการทำงานของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างที่เคยมีมา โดยออกแบบชิ้นงานของเครื่องมือให้ผู้ป่วยสวมใส่แบบแยกเป็น 2 ชั้น คือ เครื่องมือสำหรับขากรรไกรบน และเครื่องมือสำหรับขากรรไกรล่าง ซึ่งให้ประสิทธิผลการรักษาดีกว่าแบบ 1 ชั้น

วัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องมือนี้ คือ วัสดุเรซินอะคริลิกแยกผงและน้ำก่อนผสม วัสดุจะถูกบ่มด้วยความร้อนเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ ข้อดีของวัสดุชนิดนี้ คือ มีความแข็งแรงสูง มีการคงรูปดี ใช้ในการผลิตฐานฟันเทียมและเผือกสบฟันอย่างแพร่หลาย การสร้างรูปร่างเกิดจากการแทนที่ซึ่งฝังด้วยเรซินอะคริลิกซึ่งง่ายต่อการผลิตเครื่องมือที่ซับซ้อน การขัดแต่งและการเสริมฐานง่ายต่อการปฏิบัติในคลินิก เรซินอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนเป็นวัสดุทางทันตกรรมแบบแข็ง ทำให้สามารถลดผลข้างเคียงจากการใช้เครื่องมือนี้ได้มากกว่าพลาสติกอ่อนด้วยความร้อน

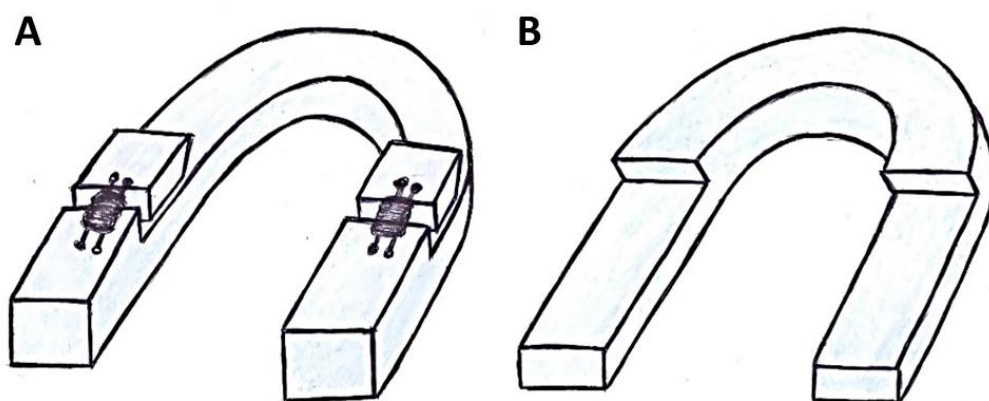
มีการเพิ่มกลไกการปรับระยะยื่นขากรรไกรล่างได้โดยการใส่สกรูขยาย สกรูขยายที่เลือกใช้สามารถขยายได้ระยะทางมากที่สุด คือ 7.5 มิลลิเมตร โดยการหมุนปรับสกรูครั้งละ 1 ใน 4 รอบ จะได้ระยะทาง 0.2 มิลลิเมตร เครื่องมือสามารถปรับยื่นขากรรไกรล่างไปข้างหน้าและถอยหลังได้ จึงทำให้สามารถปรับระยะยื่นของขากรรไกรล่างได้ตามความเหมาะสมในผู้ป่วยแต่ละราย

กลไกใหม่ของเครื่องมือนี้ คือ การวางตำแหน่งของส่วนล็อกของเครื่องมือไว้บนด้านบดเคี้ยวของฟัน เพื่อลดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกช่องปาก (oral mucosa) นอกจากนี้เมื่อสวมใส่เครื่องมือทั้งขากรรไกรบนและล่าง กลไกของเครื่องมือจะช่วยคงตำแหน่งของขากรรไกรในตำแหน่งกัด (bite position) เนื่องจากมีการออกแบบให้มีการล็อกแนวตั้ง (vertical locking) ซึ่งเหมาะกับผู้ป่วยที่ชอบนอนอ้าปากขณะหลับ ในกรณีที่ผู้ป่วยมีการทำงานนอกหน้าที่ (parafunction) ของขากรรไกรขณะนอนหลับ เช่น การนอนกัดฟัน (sleep bruxism) หากผู้ป่วยสวมใส่เครื่องมือนี้ ผู้ป่วยสามารถเคลื่อนที่ขากรรไกรล่างได้อย่างอิสระ เนื่องจากเครื่องมือถูกออกแบบให้มีการเสียดทาน (friction)

น้อยขณะเคลื่อนขากรรไกรล่างในแนวด้านข้าง (lateral movement) ดังนั้นเครื่องมือนี้จึงเหมาะกับผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของการหายใจขณะนอนหลับร่วมกับมีภาวะนอนกัดฟัน

2.1.2.2 ส่วนประกอบของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่

เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ ประกอบด้วยเครื่องมือ 2 ชิ้น เพื่อสวมใส่ที่ขากรรไกรบนและขากรรไกรล่าง โดยที่เครื่องมือแยกชิ้นเป็นอิสระต่อกัน เครื่องมือมีส่วนประกอบดังนี้ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แนวคิดของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่

A. เครื่องมือสำหรับขากรรไกรบน

B. เครื่องมือสำหรับขากรรไกรล่าง

1) ส่วนยึดอยู่ (Retention Part) หรือส่วนฐาน (Base Part)

เครื่องมือถูกผลิตให้ครอบคลุมด้านบดเคี้ยวของฟันทุกซี่ ทั้งขากรรไกรบนและขากรรไกรล่าง ส่วนยึดอยู่ของเครื่องมือใช้หลักการคล้ายการสวมใส่ฝือกสบฟัน (occlusal splint) การยึดอยู่อาศัยการล็อกเชิงกล (mechanical lock) ซึ่งถูกกำหนดด้วยขอบเขตของเครื่องมือ และการปิดส่วนคอด (blockout) ที่แบบจำลองฟัน ขอบเขตของเครื่องมือมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 3)

ขอบเขตทางด้านบดเคี้ยว ความหนาของเครื่องมือวัดจากปุ่มฟัน (cusp) มีความหนา 0.5-1 มิลลิเมตร

ขอบเขตทางด้านแก้ม อยู่ใต้ส่วนป้องกันที่สุด (height of contour) ประมาณ 1 มิลลิเมตร สำหรับฟันกราม และอยู่ใต้ส่วนป้องกันที่สุดสำหรับฟันกรามน้อย สำหรับฟันหน้าขอบเขตของเครื่องมือมีระยะประมาณ 2-3 มิลลิเมตรจากปลายขอบด้านตัด (incisal edge)

ขอบเขตทางด้านเพดาน ขอบเขตของเครื่องมือห่างจากยอดเหงือก (gingival crest) ไปทางด้านเพดานประมาณ 5 มิลลิเมตร โดยต้องไม่กดทับรอยย่นเยื่อเมือก (rugae)

การปิดส่วนคอด ปฏิบัติเพียงด้านเพดานเท่านั้น โดยปิดพื้นที่ใต้ส่วนคอดบริเวณช่องสามเหลี่ยมระหว่างฟัน (embrasure) นอกจากนี้เพื่อต่อการสวมใส่เครื่องมือขณะปฏิบัติงานในคลินิก อาจทำการปิดบริเวณหลุมและรอยแยก (pit and fissure) ทางด้านบดเคี้ยวของฟันได้

2) ส่วนล็อก (Locking Part)

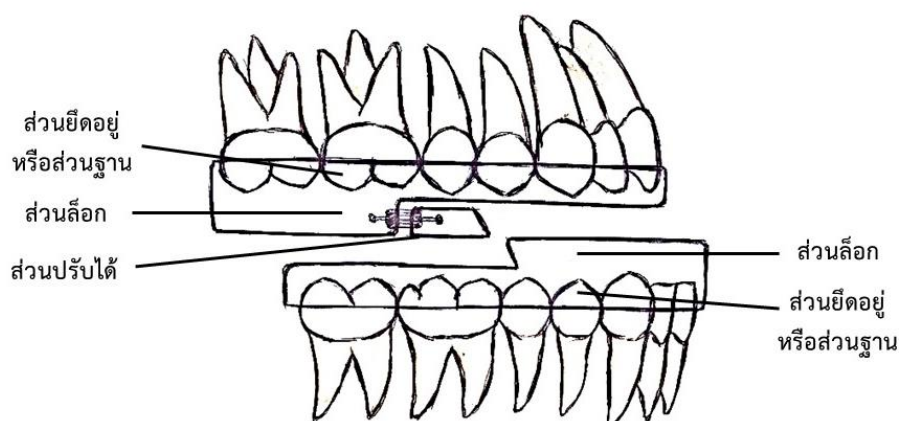
ส่วนล็อกจะเชื่อมต่อกับส่วนยึดอยู่ทางด้านบดเคี้ยว ส่วนล็อกมี 2 ตำแหน่งทั้งข้างซ้ายและข้างขวา (ภาพที่ 2) ความหนาของส่วนล็อก คือ 5 มิลลิเมตร เครื่องมือสำหรับชากรรไกรบน ส่วนล็อกอยู่ในส่วนหลังของเครื่องมือ โดยเริ่มต้นจากด้านใกล้กลาง (mesial) ของฟันกรามน้อยซี่ที่สอง (second premolar) ไปสิ้นสุดที่ด้านไกลกลาง (distal) ของฟันกรามซี่สุดท้าย ในขณะที่เครื่องมือสำหรับชากรรไกรล่าง ส่วนล็อกอยู่ในส่วนหน้าของเครื่องมือ โดยผลิตให้รองรับและขนานกับเครื่องมือสำหรับชากรรไกรบนที่มุม 45 องศา ณ ตำแหน่งของการบันทึกการสบฟันที่ระยะร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 75 ของระยะยื่นที่ผู้ป่วยสามารถยื่นได้มากที่สุด (ภาพที่ 3) ส่วนล็อกมีส่วนประกอบย่อย 2 ส่วนคือ

2.1) ส่วนล็อกแนวตั้ง (Vertical Locking Part) หรือส่วนคงตำแหน่งกัด

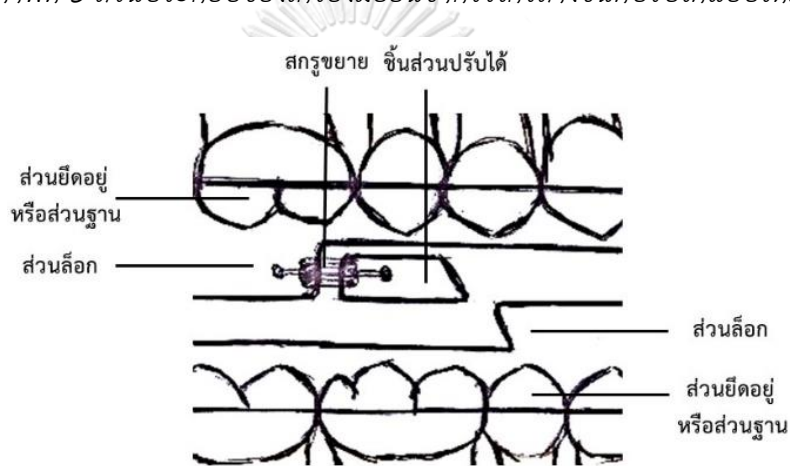
มุมของส่วนล็อกที่ทำหน้าที่ล็อกแนวตั้งหรือคงตำแหน่งกัดเกิดจากการออกแบบให้มีมุมขนาด 45 องศาจากแนวราบ ส่วนล็อกแนวตั้งของชากรรไกรบนยื่นไปทางด้านหน้า ในขณะที่ส่วนล็อกแนวตั้งของชากรรไกรล่างยื่นไปทางด้านหลัง การออกแบบเครื่องมือให้มีมุมลาดเอียง ทำให้เครื่องมือมีกลไกการล็อกแนวตั้งขึ้น (ภาพที่ 4)

2.2) ส่วนปรับได้ (Adjustable Part)

เครื่องมือสามารถปรับระยะยื่นของชากรรไกรล่างได้ ทั้งเพิ่มและลดระยะยื่น โดยปรับมุมที่สกรูขยายซึ่งติดอยู่กับส่วนล็อกและชิ้นส่วนปรับได้ (adjustable piece) (ภาพที่ 4) ส่วนปรับได้มีเฉพาะในเครื่องมือสำหรับชากรรไกรบนเท่านั้น ตำแหน่งสกรูขยายวางห่างจากปลายสุดของส่วนล็อกประมาณ 10-15 มิลลิเมตร ระยะที่สามารถขยายได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการขยายของสกรูขยาย สกรูขยายที่เลือกใช้สามารถขยายได้ระยะทาง 7.5 มิลลิเมตร การปรับสกรูขยายครั้งละ 1 ใน 4 รอบ ได้ระยะทาง 0.2 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่



ภาพที่ 4 กลไกส่วนล็อกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การศึกษาการยึดอยู่ของเครื่องมือ

Braem⁴⁰ ได้ทดสอบคุณสมบัติของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ที่ผลิตจากวัสดุพลาสติกอ่อนตัวด้วยความร้อน รุ่น BluePro® ของบริษัท BlueSom ประเทศฝรั่งเศส ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยแบบจำลองฟันที่ระยะยื่นขากรรไกร 3 และ 8 มิลลิเมตร โดยใช้แรงกดและสวมใส่เครื่องมือจำนวน 730 รอบ (เทียบเคียง 365 วัน กดใส่เครื่องมือวันละ 2 ครั้ง) จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือมีแรงยึดอยู่ของเครื่องมือประมาณ 27 นิวตัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงแรงยึดอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Vanderveken และคณะ⁴¹ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการยึดอยู่ของทันตอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ เครื่องมือโมโนบล็อกเฉพาะบุคคล เครื่องมือโมโนบล็อกสำเร็จรูปที่ผลิตจากพลาสติกอ่อนตัวด้วยความ

ร้อน และเครื่องมือทวินบล็อกรสำเร็จรูปที่ผลิตจากพลาสติกอ่อนตัวด้วยความร้อน โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยแบบจำลองฟัน ใช้แรงกดและสวมใส่เครื่องมือจำนวน 730 รอบ ที่ระยะยื่นขากรรไกร 3 และ 8 มิลลิเมตร จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือทวินบล็อกรสำเร็จรูปที่ผลิตจากพลาสติกอ่อนตัวด้วยความร้อนมีค่าแรงยึดอยู่มากที่สุด คือ 48.0 นิวตัน แต่เมื่อผ่านการทดสอบ แรงยึดอยู่ลดลงเหลือเพียง 32.6 นิวตัน ซึ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เครื่องมือโมโนบล็อกเฉพาะบุคคลมีแรงยึดอยู่ก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ คือ 38.7 และ 35.7 นิวตัน ตามลำดับ เครื่องมือทวินบล็อกรสำเร็จรูปที่ผลิตจากพลาสติกอ่อนตัวด้วยความร้อนมีค่าแรงยึดอยู่น้อยที่สุด คือ 8.2 และ 8.8 นิวตันตามลำดับ

2.2.2 การศึกษาแรงกดบนเครื่องมือหลังการยื่นขากรรไกรกลาง

Cohen-Levy และคณะ⁴² ศึกษาแรงกดบนเครื่องมือยื่นขากรรไกรกลางชนิดทวินบล็อกรที่สามารถปรับได้ในผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น โดยปรับเครื่องมือเพื่อยื่นขากรรไกรกลาง เพิ่มระยะยื่นครั้งละ 1 มิลลิเมตร และใช้ตัวรับรู้ (sensor) ยึดติดที่เครื่องมือทั้งข้างซ้ายและขวา จากการศึกษาพบว่าหลังปรับเครื่องมือให้ขากรรไกรกลางเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากขึ้น กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อของผู้ป่วยจะพยายามดึงขากรรไกรกลางถอยหลังกลับเพื่อด้านแรงยื่นของเครื่องมือ แรงดึงกลับของขากรรไกรกลางทำให้เกิดแรงกดบนเครื่องมือ แรงกดจะเพิ่มขึ้นทุกๆ 1.18 นิวตันต่อการปรับระยะยื่นขากรรไกรกลาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง

2.2.3 การศึกษาแรงอ้าปาก

การศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดี อายุ 21-36 ปี จำนวน 6 คน เกี่ยวกับแรงที่ใช้ในการอ้าปากทั้งการอ้าปากแบบเร็วและอ้าปากแบบช้า ผลการศึกษารายงานว่าเมื่ออ้าปากกว้างประมาณร้อยละ 50 ของระยะอ้าได้ การอ้าปากแบบเร็วและอ้าปากแบบช้า ใช้แรงอ้า 6.7 ± 3.3 และ 3.9 ± 2.3 นิวตัน ตามลำดับ และเมื่ออ้าปากกว้างที่สุด ต้องใช้แรง 19.9 ± 4.5 และ 13.2 ± 4.4 นิวตันตามลำดับ⁴³

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบงานวิจัย

เป็นงานวิจัยแบบทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างของการศึกษา คือ ชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบและผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบแรงดึงสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบเป็นส่วนสำคัญของเครื่องมือ เนื่องจากมีกลไกปรับระยะยื่นขากรรไกรล่างและกลไกล็อกแนวตั้ง ผู้วิจัยต้องการทราบความแข็งแรงของส่วนสำคัญนี้ จึงออกแบบชิ้นงานเพียงส่วนหนึ่งของเครื่องมือเท่านั้น

แรงที่ใช้ในการทดสอบ มี 2 แรงตามทิศทางการดึง คือ แรงดึงแนวตั้งและแรงดึงแนวราบหน้า หลัง แรงดึงแนวตั้ง คือ การจำลองแรงขณะผู้ป่วยอ้าปาก เนื่องจากเครื่องมือนี้มีกลไกล็อกแนวตั้ง เมื่อผู้ป่วยสวมใส่เครื่องมืออาจผลอหรือจใจอ้าปากกว้างได้ ในขณะที่แรงดึงแนวราบหน้าหลัง คือ การจำลองแรงดึงกลับของกล้ามเนื้อและขากรรไกรล่างเหตุจากการสวมใส่เครื่องมือขณะยื่นขากรรไกรล่างไปข้างหน้า ทั้งนี้ไม่ได้ทดสอบแรงดึงแนวราบข้าง เนื่องจากเครื่องมือถูกออกแบบให้มีแรงต้านแนวข้างน้อย ผู้ป่วยจึงสามารถเคลื่อนขากรรไกรไปด้านข้างได้ ดังนั้นในการสรุปแรงดึงสูงสุดแนวข้างอาจยังไม่สามารถทราบได้แน่ชัด

สกรูขยายที่เลือกใช้ในการทดสอบสามารถปรับระยะยื่นได้ทั้งสิ้น 7.5 มิลลิเมตร โดยการปรับหมุนสกรูขยายครั้งละ 1 ใน 4 รอบ จะได้ระยะยื่น 0.2 มิลลิเมตร เพื่อให้ทราบช่วงความแข็งแรงของชิ้นงานที่เป็นไปได้ทั้งก่อนปรับสกรูขยาย และหลังปรับสกรูขยายเกือบไกลสุด ผู้วิจัยจึงทดสอบแรงดึงในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย และชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร โดยหมุนสกรูขยาย 25 ครั้ง หรือ 6.25 รอบ

เนื่องจากทดสอบนี้เป็นการศึกษานำร่อง (pilot study) จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ 5 คู่ชิ้นงาน โดยแต่ละคู่ชิ้นงานประกอบด้วยชิ้นงานบนที่มีสกรูขยาย และชิ้นงานล่างที่ไม่มีสกรูขยาย การทดสอบในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (ตารางที่ 1)

กลุ่มที่ 1 ชิ้นงานจำลองส่วนฐานและส่วนล็อกของเครื่องมือ โดยไม่ปรับสกรูขยาย เพื่อทดสอบแรงดึงแนวตั้ง

กลุ่มที่ 2 ชั้นงานจำลองส่วนฐานและส่วนล็อกของเครื่องมือ โดยปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบแรงดึงแนวตั้ง

กลุ่มที่ 3 ชั้นงานจำลองส่วนฐานและส่วนล็อกของเครื่องมือ โดยไม่ปรับสกรูขยาย เพื่อทดสอบแรงดึงแนวราบ

กลุ่มที่ 4 ชั้นงานจำลองส่วนฐานและส่วนล็อกของเครื่องมือ โดยปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร เพื่อทดสอบแรงดึงแนวราบ

กลุ่มที่	ลำดับ ชั้นงาน	จำนวนชั้นงาน (คู่)	ระยะปรับ		ทิศทางการดึง	การจำลอง
			สกรูขยาย (มิลลิเมตร)			
1	1-5	5	0		แนวตั้ง	จำลองแรงอัดปาก
2	6-10	5	5			
3	11-15	5	0		แนวราบ	จำลองแรงดึงกลับ ของขากรรไกรล่าง
4	16-20	5	5			

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างแบ่งตามกลุ่มทดสอบ

3.3 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิก (Servo Hydraulic System, รุ่น 8872, Instron, England)
- 2) ขี้ผึ้งจำลองแบบ (Hard-Pinnacle Modeling Wax, Dentsply, Germany)
- 3) แบบหล่อซิลิโคน (silicone mold)
- 4) ผงและน้ำเรซินอะคริลิกใสชนิดป่นตัวด้วยความร้อน (Gnathopress, Rodex, SPD, Italy)
- 5) สกรูขยายขนาดกลาง (expansion screw-medium) ขนาด 7.3 x 11.0 x 3.1 มิลลิเมตร ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) (REF 600-301-10, Dentaurum, Germany)
- 6) กุญแจสกรูขยาย (expansion screw key) (REF 611-115-00, Dentaurum, Germany)
- 7) หัวกรอคาร์ไบด์ทรงกระบอกขนาด 0.8 มิลลิเมตร (carbide cylinder bur 0.8 mm shank)
- 8) หัวกรอคาร์ไบด์เบอร์ 1509 (carbide bur No. 1509)

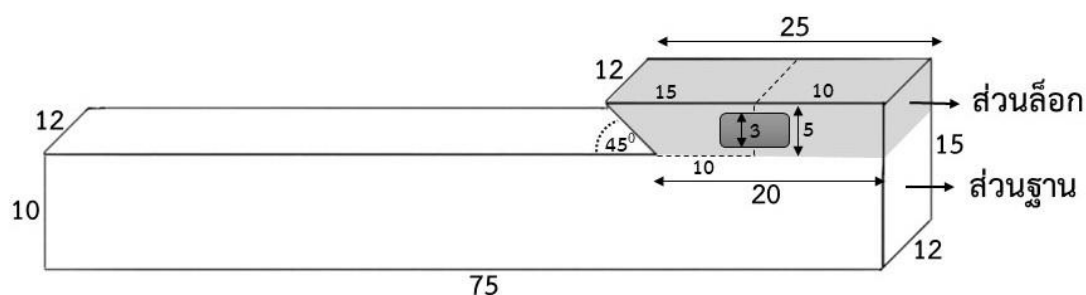
9) หัวกรอขัดมันซิลิโคน (silicone polishing bur)

10) ตะไบ (file)

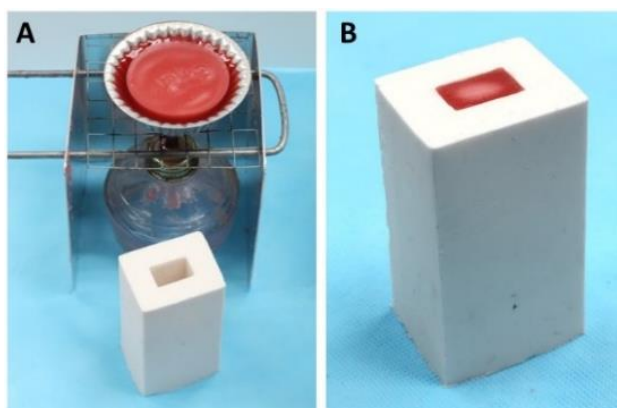
3.4 วิธีทดสอบ

3.4.1 การเตรียมชิ้นงาน

1) แต่งซี่ฝึ้งจำลองแบบเพื่อสร้างชิ้นงาน โดยส่วนฐานมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง คือ 12 x 75 x 10 มิลลิเมตร โดยความกว้างของชิ้นงาน 12 มิลลิเมตร กว้างเพียงพอที่จะครอบคลุมความกว้างของฟันกรามในผู้ป่วยไทย ส่วนล๊อคด้านบนสุดมีขนาด กว้าง x ยาว คือ 12 x 25 มิลลิเมตร และส่วนล๊อคด้านเชื่อมต่อกับส่วนฐานมีขนาด 12 x 20 มิลลิเมตร ความยาวที่ต่างกันของส่วนล๊อคทำให้เกิดมุม 45 องศาเกิดขึ้น ส่วนล๊อคถูกกำหนดให้มีความสูง 5 มิลลิเมตรเพื่อให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการวางสกรูขยาย สกรูขยายที่เลือกใช้ในการผลิตชิ้นงานนี้มีความสูง 3 มิลลิเมตร เมื่อฝึ้งสกรูขยายที่ระยะกึ่งกลางความสูง จะมีเนื้อที่เหลือสำหรับซี่ฝึ้งด้านละ 1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 5) ชิ้นงานที่ผลิตจากซี่ฝึ้งถูกควบคุมขนาดและผลิตซ้ำด้วยการใช้แบบหล่อซิลิโคน (ภาพที่ 6) จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิต คือ 40 ชิ้นงาน



ภาพที่ 5 ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
CHULALONGKORN UNIVERSITY

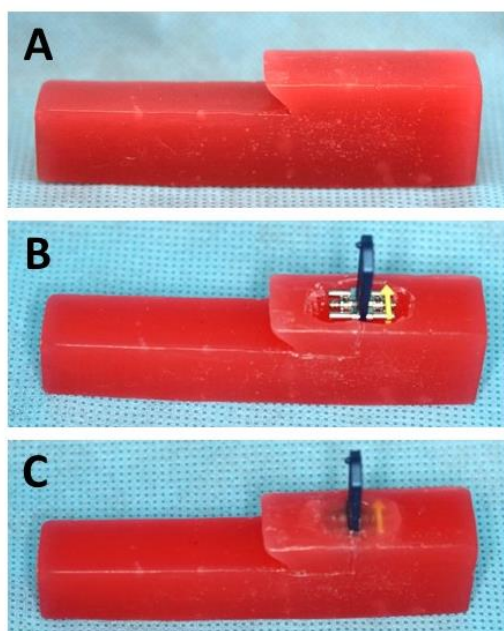


ภาพที่ 6 การผลิตชิ้นงานด้วยซี่ฝึ้งจำลองแบบโดยใช้แบบหล่อซิลิโคน

A. อุปกรณ์ทำชิ้นงานซีพิ้ง ประกอบด้วยแบบหล่อซิลิโคน ซีพิ้งจำลองแบบ ตะเกียง แอลกอฮอล์ และแท่นวางถ้วยหลอมซีพิ้ง

B. แบบหล่อซิลิโคนหลังการเติมซีพิ้งจำลองแบบที่ได้รับการหลอมด้วยความร้อน

2) นำชิ้นงานซีพิ้งจำนวน 20 ชิ้นงานจากชิ้นงานทั้งหมด 40 ชิ้นงาน มาใส่สกรูขยายบริเวณส่วนล็อก โดยฝังลงไปนซีพิ้งที่ตำแหน่ง 15 มิลลิเมตรจากขอบบนของส่วนล็อก หรือ 10 มิลลิเมตรจากขอบส่วนล็อกที่เชื่อมติดกับส่วนฐาน (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การฝังสกรูขยายในชิ้นงานซีพิ้ง

A. ชิ้นงานซีพิ้งก่อนฝังสกรูขยาย

B. ชิ้นงานซีพิ้งขณะฝังสกรูขยาย

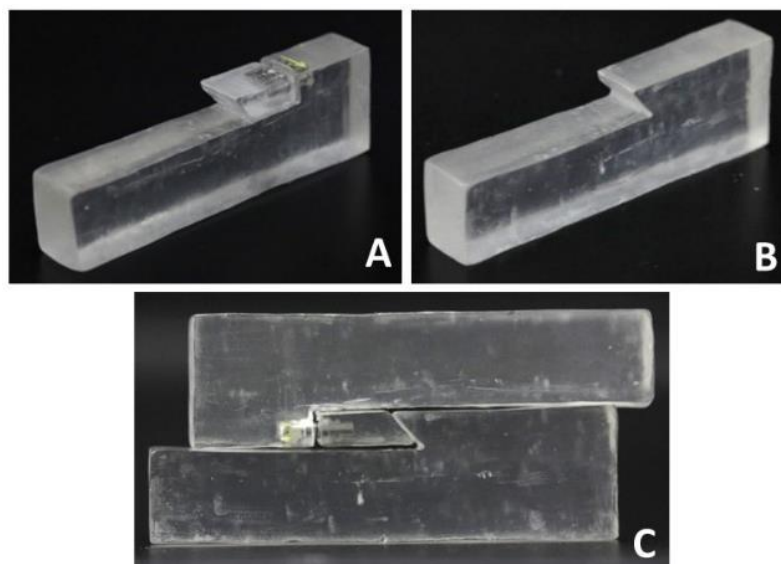
C. ชิ้นงานซีพิ้งหลังฝังสกรูขยาย

3) นำชิ้นงานทั้งหมดไปแทนที่ชิ้นงานซีพิ้งด้วยวัสดุเรซินอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อน โดยช่างทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) ชิ้นงานที่ถูกฝังสกรูขยายจำนวน 20 ชิ้นงาน ถูกนำมาตัดด้วยตะไบเพื่อให้เกิดชิ้นส่วนปรับได้ จากนั้นจึงกรอแต่งเรซินอะคริลิกส่วนเกินและขัดเงาชิ้นงาน (ภาพที่ 8A)

5) ชิ้นงานที่ไม่ได้ฝังสกรูขยายจำนวน 20 ชิ้นงาน ถูกนำมากรอแต่งเรซินอะคริลิกส่วนเกินและขัดเงาชิ้นงาน (ภาพที่ 8B)

6) จับคู่ชิ้นงานทั้ง 40 ชิ้นงาน โดย 1 คู่ประกอบด้วย ชิ้นงานบนที่มีสกรูขยายจำนวน 1 ชิ้น และ ชิ้นงานล่างที่ไม่มีสกรูขยายจำนวน 1 ชิ้น รวมทั้งสิ้นได้ชิ้นงานจำนวน 20 คู่ การจับคู่ชิ้นงานให้ประกบ ด้านบดเคี้ยวของชิ้นงานเข้าหากัน โดยวางผิวชิ้นงานให้สัมผัสและขนานกันทั้งส่วนฐานและส่วนล็อก (ภาพที่ 8C)

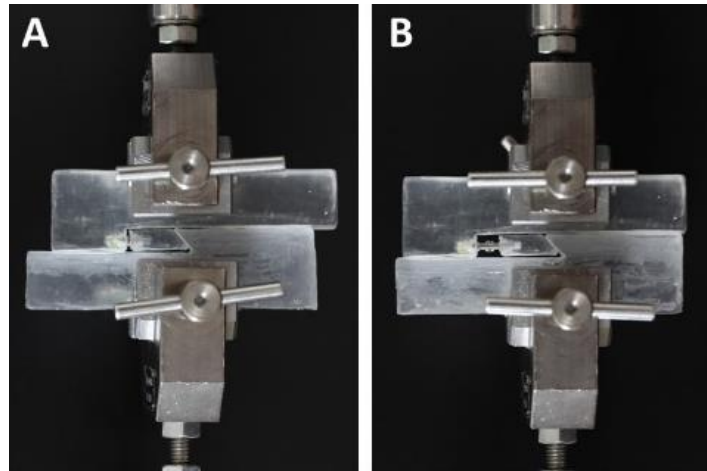


ภาพที่ 8 ชิ้นงานหลังการแทนที่ซี่ฝังจำลองแบบด้วยวัสดุเรซินอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อน

- A. ชิ้นงานบนที่มีสกรูขยาย
- B. ชิ้นงานล่างที่ไม่มีสกรูขยาย
- C. ความสัมพันธ์ของชิ้นงานบนและชิ้นงานล่าง

3.4.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1) การทดสอบแรงดึงแนวตั้ง ใช้ตัวยึดโลหะ (metal grips) จากเครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิกยึดชิ้นงานที่มีสกรูขยายไว้ข้างบน และยึดชิ้นงานที่ไม่มีสกรูขยายไว้ข้างล่าง ความสัมพันธ์ของ ชิ้นงานบนและล่าง คือ ระนาบสบฟัน (occlusal plane) ขนานกับพื้นคล้ายผู้ป่วยนั่งตรง (upright) (ภาพที่ 9) ในขณะทดสอบชิ้นงาน เครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิกจะดึงตัวยึดโลหะบนขึ้น ในขณะที่ตัวยึดโลหะล่างถูกตรึงไว้กับที่

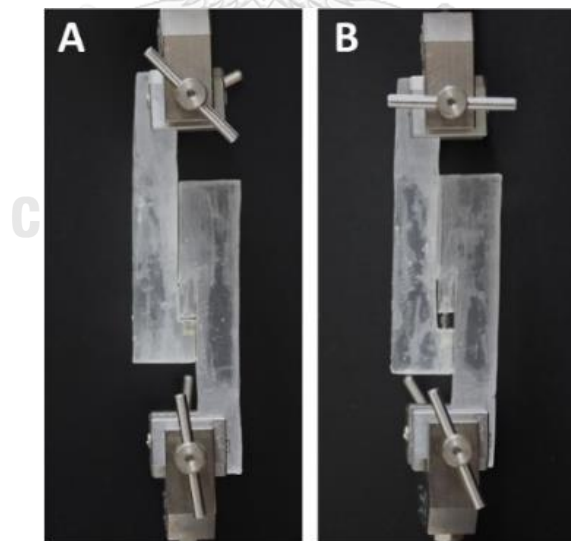


ภาพที่ 9 การยึดชิ้นงานด้วยตัวยึดโลหะสำหรับการทดสอบแรงดึงแนวตั้ง

A. การยึดชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย

B. การยึดชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

2) การทดสอบแรงดึงแนวราบ ใช้ตัวยึดโลหะจากเครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิกยึดชิ้นงานที่มีสกรูขยายไว้ข้างบน และยึดชิ้นงานที่ไม่มีสกรูขยายไว้ข้างล่าง ความสัมพันธ์ของชิ้นงานบนและล่างคือ ระบายสบฟันตั้งฉากกับพื้นคล้ายผู้ป่วยนอนหงาย (supine) (ภาพที่ 10) ในขณะที่ทดสอบชิ้นงาน เครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิกจะดึงตัวยึดโลหะบนขึ้น ในขณะที่ตัวยึดโลหะล่างถูกตรึงไว้กับที่



ภาพที่ 10 การยึดชิ้นงานด้วยตัวยึดโลหะสำหรับการทดสอบแรงดึงแนวราบ

A. การยึดชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย

B. การยึดชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

- 3) ชิ้นงานถูกทดสอบด้วยแรงดึงระบบไฮดรอลิกด้วยอัตราเร็วในการดึง คือ 1 มิลลิเมตรต่อ 1 นาที ใช้แรงดึงกระทำชิ้นงานจนกว่าชิ้นงานแตกหักหรือลื่นไถลออกจากกัน ทดสอบชิ้นงานครั้งละ 1 คู่จนกว่าจะครบทุกชิ้นงาน
- 4) เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

ข้อมูล	ตัวแปร	ประเภทข้อมูล
	ชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย ทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง	
แรงดึง	ชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง	มาตรวัด
สูงสุด	ชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย ทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ	อัตราส่วน
	ชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร ทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ	

ตารางที่ 2 ข้อมูลที่เก็บรวบรวมในการทดสอบ

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป คือ โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่น 22.0 (SPSS version 22.0) สถิติที่นำมาวิเคราะห์แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.6.1 สถิติเชิงพรรณนา

สถิติที่เลือกใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

3.6.2 สถิติเชิงวิเคราะห์

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกัน (independent sample) ข้อมูลถูกบันทึกทีละคู่ชิ้นงาน จากนั้นจึงนำข้อมูลมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยาย ตามทิศทางแรงดึง และตามสาเหตุหยุดทดสอบ เป็นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่ม ก่อนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยได้วิเคราะห์

การแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ของข้อมูล สถิติที่เลือกใช้ คือ Shapiro-Wilk Test เนื่องจากชิ้นงานมีจำนวนน้อยกว่า 50 ชิ้นงานในแต่ละกลุ่ม หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มด้วยสถิติ Independent t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) เท่ากับ 0.05



บทที่ 4

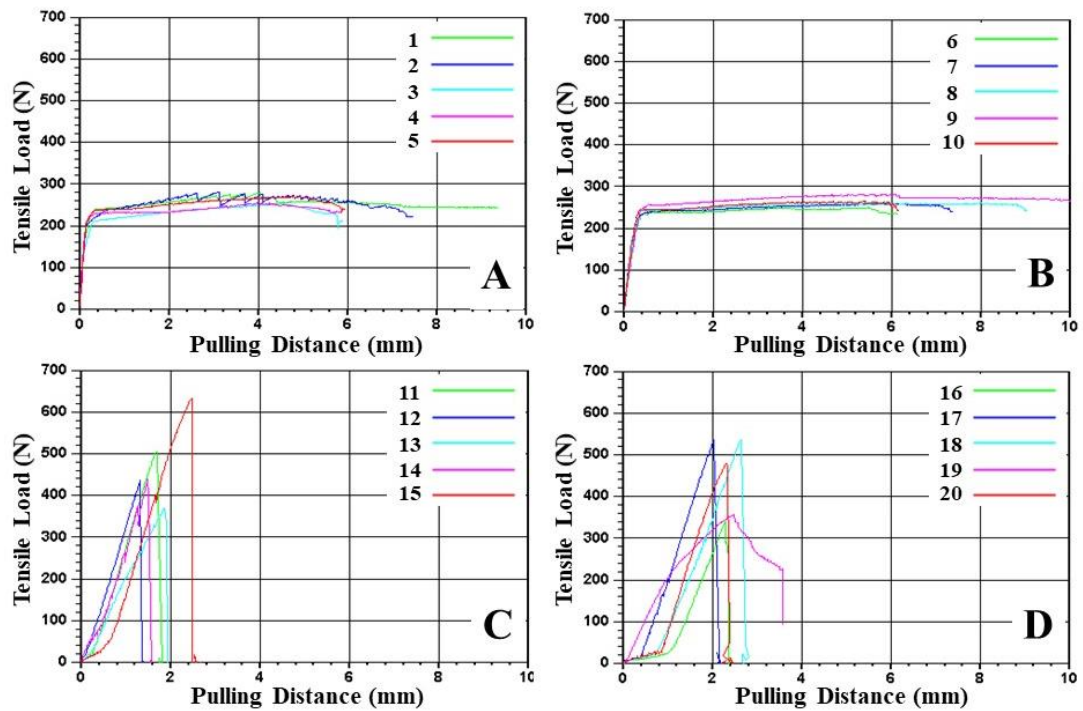
ผลการวิจัย

4.1 ปริมาณแรงดึงขึ้นงานตลอดการทดสอบ

ในการทดสอบขึ้นงานทุกครั้ง มีการบันทึกแรงดึงขึ้นงานตั้งแต่เริ่มต้นการทดสอบจนสิ้นสุดการทดสอบ ปริมาณแรงดึงขึ้นงานถูกบันทึกด้วยกราฟเส้น โดย 1 คู่ขึ้นงานสามารถบันทึกได้ 1 เส้นกราฟ

ผลการทดสอบแรงดึงแนวตั้งในขึ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย (ภาพที่ 11A) และในขึ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 11B) พบว่าทั้ง 2 กลุ่มมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแรงดึงขึ้นงานอย่างรวดเร็วในช่วงต้น หลังจากนั้นกราฟเส้นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแรงดึงขึ้นงานเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเวลาที่ดำเนินไป ระยะนี้กราฟเส้นมีลักษณะคล้ายฟันปลา ซึ่งเกิดจากการบิดเบี้ยวของขึ้นงาน เมื่อถึงจุดสิ้นสุดการทดสอบ กราฟเส้นมีการลดปริมาณแรงดึงขึ้นงานเล็กน้อยและหายไปทันที เนื่องจากขึ้นงานบนมีการลื่นไถลออกจากกันจนเป็นเหตุให้ต้องหยุดการทดสอบ

ผลการทดสอบแรงดึงแนวราบในขึ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย (ภาพที่ 11C) และในขึ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 11D) พบว่าทั้ง 2 กลุ่มมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแรงดึงขึ้นงานค่อนข้างสม่ำเสมอจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นกราฟเส้นจึงลดปริมาณแรงดึงขึ้นงานอย่างรวดเร็ว จนถึง 0 นิวตัน ลักษณะของกราฟเส้นคล้ายรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก เนื่องจากขึ้นงานบนหรือขึ้นงานล่างแตกหักจนต้องหยุดการทดสอบ ทั้งนี้มีเพียงขึ้นงานลำดับที่ 19 เท่านั้น (ภาพที่ 11D) ที่ขึ้นงานบนมีการบิดเบี้ยวและลื่นไถลจนต้องหยุดการทดสอบ



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของระยะดึงชิ้นงาน (แกน X) และปริมาณแรงดึงชิ้นงาน (แกน Y)

- A. ผลทดสอบแรงดึงแนวตั้งในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย
- B. ผลทดสอบแรงดึงแนวตั้งในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร
- C. ผลทดสอบแรงดึงแนวราบในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย
- D. ผลทดสอบแรงดึงแนวราบในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

ข้อมูลกราฟเส้นจากเครื่องทดสอบแรงดึงระบบไฮดรอลิกและสภาพชิ้นงานหลังการทดสอบ ผู้วิจัยสามารถแยกสาเหตุหยุดทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก หมายถึง สภาพชิ้นงานหลังการทดสอบของชิ้นงานบนมีการแตกหัก และกราฟเส้นลดปริมาณแรงดึงจนถึง 0 นิวตัน
- 2) กลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก หมายถึง สภาพชิ้นงานหลังการทดสอบของชิ้นงานล่างมีการแตกหัก และกราฟเส้นลดปริมาณแรงดึงจนถึง 0 นิวตัน
- 3) กลุ่มชิ้นงานบนบิดเบี้ยว หมายถึง หมายถึง สภาพชิ้นงานหลังการทดสอบของชิ้นงานบนไม่มีการแตกหัก และกราฟเส้นมีลักษณะคล้ายฟันปลา

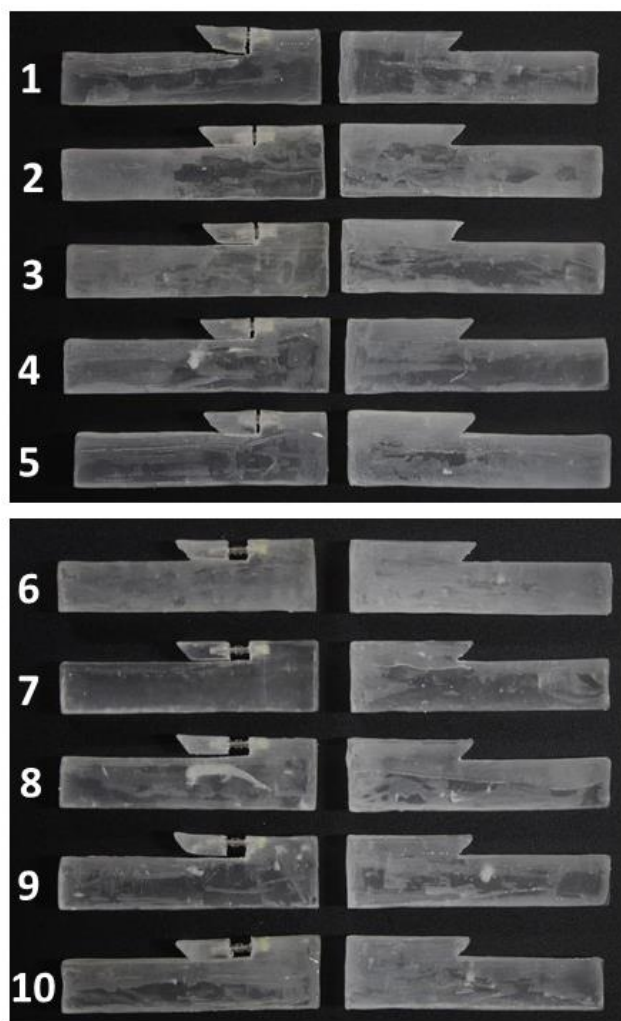
4.2 แรงดึงสูงสุดและสาเหตุหยุดทดสอบ

ชิ้นงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง คือ 40 ชิ้นงาน เมื่อจับคู่ชิ้นงานระหว่างชิ้นงานบนที่มีการใส่สกรูขยาย และชิ้นงานล่างที่ไม่มีการใส่สกรูขยาย จะได้จำนวนชิ้นงานทั้งสิ้น 20 คู่ ชิ้นงานทั้งหมดถูกแบ่งออก 4 กลุ่มทดสอบ

ชิ้นงานจำนวน 10 คู่ถูกนำมาทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง ชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 5 คือ ชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย ชิ้นงานลำดับที่ 6 ถึง 10 คือ ชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร รายละเอียดในตารางที่ 4 แสดงแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานทั้ง 10 คู่ ชิ้นงาน ชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยายมีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด คือ 267.31 ± 13.26 นิวตัน และชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด คือ 262.70 ± 11.68 นิวตัน (ตารางที่ 3 และตารางที่ 9 ในภาคผนวก ก) ชิ้นงานทั้งหมดถูกหยุดทดสอบเนื่องจากชิ้นงานบนบิดเบี้ยวและลื่นไถล (ตารางที่ 3 และภาพที่ 12)

ลำดับ ชิ้นงาน	แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)	สาเหตุหยุดทดสอบ		
			ชิ้นงานบน แตกหัก	ชิ้นงานล่าง แตกหัก	ชิ้นงานบน บิดเบี้ยว
1	278.96		-	-	ใช่
2	280.35		-	-	ใช่
3	252.29	267.31 ± 13.26	-	-	ใช่
4	254.55		-	-	ใช่
5	270.37		-	-	ใช่
6	248.86		-	-	ใช่
7	259.40		-	-	ใช่
8	260.23	262.70 ± 11.68	-	-	ใช่
9	281.03		-	-	ใช่
10	263.97		-	-	ใช่

ตารางที่ 3 แรงดึงสูงสุดจากทดสอบแรงดึงแนวตั้งและสาเหตุหยุดทดสอบในชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 10

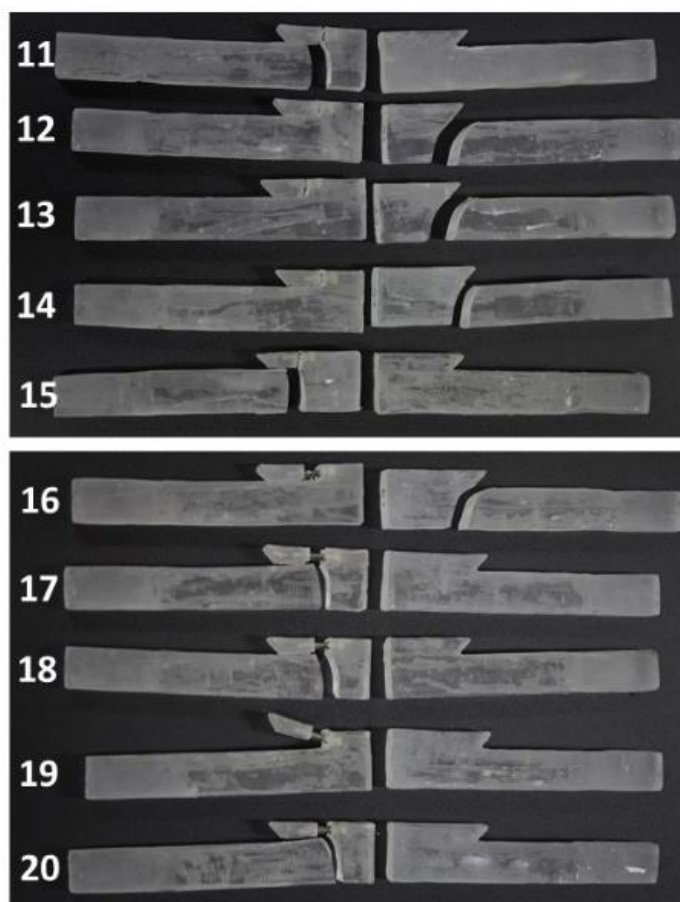


ภาพที่ 12 สภาพข้า้งานหลังทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งในข้า้งานลำดับที่ 1 ถึง 10

ข้า้งานอีก 10 คู่ที่เหลือจากข้างต้นถูกทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ โดยข้า้งานลำดับที่ 11 ถึง 15 คือ ข้า้งานที่ไม่ปรับสกรูขยาย และข้า้งานลำดับที่ 16 ถึง 20 คือ ข้า้งานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร รายละเอียดในตารางที่ 5 แสดงแรงดึงสูงสุดของข้า้งานทั้ง 10 คู่ข้า้งานที่เหลือ ข้า้งานที่ไม่ปรับสกรูขยายมีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด คือ 476.11 ± 100.08 นิวตัน และข้า้งานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด คือ 449.17 ± 95.87 นิวตัน (ตารางที่ 4 และตารางที่ 9 ในภาคผนวก ก) ข้า้งานลำดับที่ 11 15 17 18 และ 20 ต้องหยุดการทดสอบเนื่องจากข้า้งานบนแตกหัก ข้า้งานลำดับที่ 12 13 14 และ 16 ต้องหยุดการทดสอบเนื่องจากข้า้งานล่างแตกหัก และข้า้งานลำดับที่ 19 ต้องหยุดการทดสอบเนื่องจากข้า้งานบนบิดเบี้ยวและลื่นไถล (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 13)

ลำดับ ชั้นงาน	แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)	สาเหตุหยุดทดสอบ		
			ชั้นงานบน แตกหัก	ชั้นงานล่าง แตกหัก	ชั้นงานบน บิดเบี้ยว
11	504.77		ใช่	-	-
12	435.70		-	ใช่	-
13	368.44	476.11 \pm 100.08	-	ใช่	-
14	438.64		-	ใช่	-
15	633.00		ใช่	-	-
16	338.87		-	ใช่	-
17	535.09		ใช่	-	-
18	536.43	449.17 \pm 95.87	ใช่	-	-
19	356.01		-	-	ใช่
20	479.46		ใช่	-	-

ตารางที่ 4 แรงดึงสูงสุดจากทดสอบแรงดึงแนวราบและสาเหตุหยุดทดสอบในชั้นงานลำดับที่ 11 ถึง



ภาพที่ 13 สภาพชิ้นงานหลังทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบในชิ้นงานลำดับที่ 11 ถึง 20

4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด

4.3.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยาย

ก่อนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาการแจกแจงแบบปกติ แต่ละกลุ่มมีชิ้นงานจำนวน 5 คู่ จึงวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

สมมติฐานว่าง คือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

สมมติฐานทางเลือก คือ ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ผลวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าทั้ง 4 กลุ่ม มีค่า p-value มากกว่า 0.05 (ตารางที่ 5 และตารางที่ 10 ในภาคผนวก ก) ซึ่งเป็นการยอมรับสมมติฐานว่างหรืออาจกล่าวได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานทางเลือก ผลคือ ข้อมูลทั้ง 4 กลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติทำให้สามารถใช้สถิติพารามตริก (parametric statistics) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดต่อไปได้

กลุ่มทดสอบ	ทิศทางแรงดึง	ระยะปรับสกรูขยาย (มิลลิเมตร)	Shapiro-Wilk Test (p-value)
1	ดึง	0	.214
2	ดึง	5	.567
3	รียบ	0	.562
4	รียบ	5	.136

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test

สถิติพารามेटริกที่ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดระหว่าง 2 กลุ่ม คือ Independent t-test เนื่องจากการทดสอบชิ้นงานเป็นการทดสอบทีละคู่ชิ้นงาน ใน 1 คู่ชิ้นงานสามารถเก็บข้อมูลได้ 1 ครั้ง แต่ละคู่ชิ้นงานเป็นอิสระต่อกัน การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดใช้ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

การทดสอบแรงดึงแนวตั้ง

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตรไม่แตกต่างกับชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตรแตกต่างกับชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง

การทดสอบแรงดึงแนวราบ

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตรไม่แตกต่างกับชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตรแตกต่างกับชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย เมื่อทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Independent t-test พบว่าชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยายมีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดมากกว่าชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง (p-value = 0.576) และการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ (p-value = 0.675) (ตารางที่ 6 และตารางที่ 11 ในภาคผนวก ก) หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะปรับสกรูขยายไม่มีผลต่อแรงดึงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่ม ทดสอบ	ทิศทางแรงดึง	ระยะปรับ	ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด	Independent t-test (p-value)
		สกรูขยาย (มิลลิเมตร)	\pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)	
1	ดึง	0	267.31 \pm 13.26	0.576
2	ดึง	5	262.70 \pm 11.68	
3	รียบ	0	476.11 \pm 100.08	0.675
4	รียบ	5	449.17 \pm 95.87	

ตารางที่ 6 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับสกรูขยายโดยใช้สถิติ

Independent t-test

4.3.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึง

จากตารางที่ 5 ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึงได้เลย สถิติที่ใช้คือ Independent t-test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

ชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งไม่แตกต่างกับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งแตกต่างกับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย

ชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งไม่แตกต่างกับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งแตกต่างกับการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ ในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Independent t-test พบว่าค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งน้อยกว่าการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบมาก และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในชิ้นงานที่ไม่ปรับสกรูขยาย (p-value = 0.002) และในชิ้นงานที่ปรับสกรูขยายระยะ 5

มิลลิเมตร (p-value = 0.003) (ตารางที่ 7 และตารางที่ 12 ในภาคผนวก ก) หรืออาจกล่าวได้ว่าทิศทางการตั้งชิ้นงานมีผลต่อแรงดึงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กลุ่มทดสอบ	ทิศทางการตั้ง	ระยะปรับ	ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด	Independent t-test (p-value)
		สกรูขยาย (มิลลิเมตร)	± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นิวตัน)	
1	ตั้ง	0	267.31 ± 13.26	0.002
3	ราบ	0	476.11 ± 100.08	
2	ตั้ง	5	262.70 ± 11.68	0.003
4	ราบ	5	449.17 ± 95.87	

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางการตั้งโดยใช้สถิติ

Independent t-test

4.3.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบ

เมื่อนำข้อมูลแรงดึงสูงสุดมาจัดกลุ่มใหม่ตามสาเหตุหยุดทดสอบ พบว่าชิ้นงานลำดับที่ 1 ถึง 10 สามารถจัดกลุ่มได้เพียงกลุ่มเดียว คือ กลุ่มชิ้นงานบนบิดเบี้ยว จึงไม่สามารถทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มได้ โดยมีค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวตั้ง คือ 265.00 ± 12.03 นิวตัน (ตารางที่ 8 และตารางที่ 13 ในภาคผนวก ก)

ชิ้นงานลำดับที่ 11 ถึง 20 นำมาจัดกลุ่มใหม่ตามสาเหตุหยุดทดสอบได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก กลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก และกลุ่มชิ้นงานบนบิดเบี้ยว โดยมีค่าเฉลี่ยแรงดึงแนวราบตามตารางที่ 8 และตารางที่ 14 ในภาคผนวก ก ทั้งนี้จำนวนคู่ชิ้นงานในกลุ่มชิ้นงานบนบิดเบี้ยวมีเพียง 1 คู่ชิ้นงาน ทำให้มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้ง 3 กลุ่มด้วยสถิติ one-way ANOVA ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพียง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก และกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหักด้วยสถิติ Independent t-test ก่อนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ข้อมูลถูกวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติ ดังนี้

สมมติฐานว่าง คือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

สมมติฐานทางเลือก คือ ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

จากการวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 พบว่าการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบตามสาเหตุหยุดทดสอบ ข้อมูลของกลุ่มชิ้นงานบนแตกหัก และกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหักมีการแจกแจงแบบปกติ (p -value = 0.342 และ 0.252 ตามลำดับ) (ตารางที่ 8 และตารางที่ 15 ในภาคผนวก ก) ทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดของทั้ง 2 กลุ่มต่อไปได้

ลำดับชิ้นงาน	สาเหตุหยุดทดสอบ	จำนวนชิ้นงาน	ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุด ± ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (นิวตัน)	Shapiro- Wilk Test (p -value)	Independent t-test (p -value)
1-10	ชิ้นงานบนบิดเบี้ยว	10	265.00 ± 12.03	-	-
	ชิ้นงานบนแตกหัก	5	537.75 ± 58.24	0.342	0.006
11-20	ชิ้นงานล่างแตกหัก	4	395.41 ± 49.72	0.252	
	ชิ้นงานบนบิดเบี้ยว	1	356.01	-	-

ตารางที่ 8 ผลวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบโดยสถิติ Independent t-test

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดจากทดสอบแรงดึงแนวราบ ใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติ Independent t-test ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

สมมติฐานว่าง คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในกลุ่มชิ้นงานบนแตกหักไม่แตกต่างกับกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก

สมมติฐานทางเลือก คือ ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในกลุ่มชิ้นงานบนแตกหักแตกต่างกับกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก

ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Independent t-test พบว่ามีการปฏิเสธสมมติฐานว่าง (p -value = 0.006) (ตารางที่ 8 และตารางที่ 16 ในภาคผนวก ก) นั้นหมายความว่า ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดในกลุ่มชิ้นงานบนแตกหักแตกต่างกับกลุ่มชิ้นงานล่างแตกหัก หรืออาจกล่าวได้ว่าตำแหน่งชิ้นงานที่แตกหักของชิ้นงานมีผลต่อแรงดึงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- 1) แรงดึงสูงสุดของชิ้นงานที่ทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้งเพื่อจำลองแรงอ้าปาก คือ 267.31 ± 13.26 ถึง 262.70 ± 11.68 นิวตัน
- 2) แรงดึงสูงสุดของชิ้นงานที่ทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบเพื่อจำลองแรงดึงกลับของขากรรไกรล่าง คือ 476.11 ± 100.08 ถึง 449.17 ± 95.87 นิวตัน
- 3) ถึงแม้ว่าค่าแรงดึงสูงสุดจะลดลงเมื่อปรับระยะสกรูขยายเพิ่มขึ้น แต่การลดลงของค่าแรงดึงสูงสุดนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าการปรับระยะย่นที่สกรูขยาย 5 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน
- 4) ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน คือ ทิศทางแรงดึงที่กระทำต่อชิ้นงาน โดยที่ชิ้นงานสามารถทนแรงดึงแนวราบได้ดีกว่าแนวตั้ง
- 5) ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานอีกประการ คือ สาเหตุหยุดทดสอบ ชิ้นงานบนบิดเบี้ยวมีผลต่อความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมา คือ ชิ้นงานล่างแตกหัก และชิ้นงานบนแตกหักตามลำดับ
- 6) สาเหตุหยุดทดสอบในการทดสอบด้วยแรงดึงแนวตั้ง คือ การบิดเบี้ยวในชิ้นงานบนจนเกิดการลื่นไถล และสาเหตุหยุดทดสอบในการทดสอบด้วยแรงดึงแนวราบ คือ การบิดเบี้ยวในชิ้นงานบนจนเกิดการลื่นไถล และการแตกหักในชิ้นงานบนหรือล่าง

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาความแข็งแรงและความปลอดภัยของเครื่องมือ คือ จุดมุ่งหมายหลักของการศึกษา นี้ การศึกษาแรงดึงและการแตกหักของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ที่ได้จากการศึกษา อาจสามารถอธิบายความสามารถในการต้านทานแรงอ้าปากด้วยการทดสอบแรงดึงแนวตั้ง และแรงดึงกลับของขากรรไกรล่างด้วยการทดสอบแรงดึงแนวราบ

การวัดแรงอ้าปากสูงสุด (maximum opening force) สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การวัดแรงอ้าปากโดยปราศจากการป้องกันศีรษะเคลื่อนที่ และการวัดแรงอ้าปากโดยป้องกันศีรษะเคลื่อนที่ ความแตกต่างของสองวิธีนี้ คือ ขณะทำการวัดแรงอ้าปาก ขากรรไกรล่างจะเคลื่อนที่ลงล่างหากปราศจากการป้องกันศีรษะเคลื่อนที่ ค่าแรงอ้าปากสูงสุดอาจเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของ

ชากรรไกรล่างร่วมกับการเคลื่อนที่ของศีรษะ ดังนั้นการวัดแรงอ้าปากโดยปราศจากการป้องกันศีรษะเคลื่อนที่จึงได้ค่าแรงอ้าปากสูงสุดไม่แม่นยำเท่าการวัดแรงอ้าปากโดยป้องกันศีรษะเคลื่อนที่⁴⁴ การศึกษาของ Iida และคณะ⁴⁴ ในปี ค.ศ. 2013 รายงานแรงอ้าปากสูงสุดโดยป้องกันศีรษะเคลื่อนที่คือ 4.4 ถึง 9.7 กิโลกรัม (43.15 ถึง 95.12 นิวตัน) โดยที่แรงอ้าปากสูงสุดของผู้ชายจะมากกว่าผู้หญิง และเมื่ออายุมากขึ้น แรงอ้าปากสูงสุดจะลดลงผกผันกัน การศึกษาของ Shinozaki และคณะ⁴⁵ ในปี ค.ศ. 2017 รายงานแรงอ้าปากสูงสุดในผู้ชายสูงวัย คือ 76.5 นิวตัน และผู้หญิงสูงวัย คือ 48.1 นิวตัน การศึกษาของ Hara และคณะ⁴⁶ ในปี ค.ศ. 2014 รายงานแรงอ้าปากสูงสุดในผู้ป่วยกลืนลำบาก (dysphagia) คือ 4.95 กิโลกรัม (48.54 นิวตัน) สำหรับผู้ป่วยชาย และ 4.06 กิโลกรัม (39.81 นิวตัน) สำหรับผู้ป่วยหญิง แต่การศึกษาของ Fujii และคณะ⁴⁷ ในปี ค.ศ. 1985 รายงานแรงอ้าปากสูงสุดไว้เพียง 2.55 กิโลกรัม (25.01 นิวตัน) เมื่อนำผลการศึกษาแรงอ้าปากสูงสุดมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวตั้งของชิ้นงาน อธิบายได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถต้านทานแรงอ้าปากได้ ถึงแม้ว่าผู้ป่วยจะอ้าปากแบบไม่ตั้งใจ หรือตั้งใจอ้าปากให้ได้แรงสูงสุดก็ตาม

เมื่อมีการคงตำแหน่งชากรรไกรล่างในขณะยื่น จะมีแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างจากการทำงานของกล้ามเนื้อ Cohen-Levy และคณะ⁴² ในปี ค.ศ. 2013 ศึกษาแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างหลังใส่เครื่องมือยื่นชากรรไกรล่างชนิดปรับได้ พบว่าเมื่อปรับเครื่องมือเพื่อยื่นชากรรไกรล่างเป็นระยะทางเฉลี่ย 11.42 มิลลิเมตร แรงกดที่เครื่องมือข้างขวาและซ้าย คือ 14.86 ± 4.63 และ 11.33 ± 2.84 นิวตัน ตามลำดับ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของระยะยื่นชากรรไกรล่างกับแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างมีลักษณะเป็นเส้นตรง กล่าวคือ ทุกๆการยื่นชากรรไกรล่างไปข้างหน้า 1 มิลลิเมตร จะมีแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างเพิ่มขึ้น 1.18 นิวตัน หากทำการเปรียบเทียบแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างกับค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดแนวราบ พบว่าชิ้นงานที่ใช้ทดสอบนี้สามารถทนแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างได้มากถึงแม้เราจะยื่นชากรรไกรล่างไปไกลเพียงใดก็ตาม

เมื่อผู้วิจัยปรับระยะสกรูขยายมากขึ้น ความแข็งแรงของเครื่องมือก็จะลดลง ถึงอย่างไรก็ตามยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นผลมาจากขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดสอบสำหรับการศึกษานำร่องนี้มีเพียง 5 คู่ชิ้นงานต่อ 1 กลุ่มทดสอบ หากผู้วิจัยเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่างมากขึ้น ผลวิเคราะห์ข้อมูลอาจพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็เป็นได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดที่ได้จากการศึกษานี้ ก็ยังมีค่ามากกว่าแรงอ้าปากสูงสุดและแรงดึงกลับของชากรรไกรล่างเช่นเดิม

ชิ้นงานถูกออกแบบส่วนล็อกเพียงหนึ่งข้างเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงเครื่องมือยื่นชากรรไกรล่างชนิดปรับได้แบบใหม่ต้องมีส่วนล็อกทั้งหมด 2 ข้าง คือ ข้างซ้ายและขวาอยู่บนด้านบดเคี้ยว ซึ่งหากผลิตส่วนล็อก 2 ข้าง แล้วทำการทดสอบแรงดึงพร้อมกัน อาจได้ค่าแรงดึงสูงสุดที่มากกว่าการ

ทดสอบในชิ้นงานที่มีส่วนล็อกเพียงข้างเดียว จากข้อพิจารณานี้จึงเป็นการยืนยันถึงความแข็งแรงของเครื่องมือต่อแรงอ้าปากและแรงดึงกลับของขากรรไกรล่างเมื่อนำเครื่องมือไปใช้ในทางคลินิก

ถึงแม้แรงดึงสูงสุดจะมากกว่าแรงอ้าปากสูงสุดและแรงดึงกลับของขากรรไกรล่าง แต่การทดสอบนี้ยังไม่สามารถเทียบเคียงกับการใช้งานในทางปฏิบัติได้มากนัก ในคลินิกผู้ป่วยจะสวมใส่เครื่องมือตลอดทั้งคืน แรงดึงกลับของขากรรไกรล่างจะกระทำต่อเครื่องมืออย่างต่อเนื่อง รวมถึงผู้ป่วยที่นอนอ้าปากขณะหลับ จะมีแรงดึงขากรรไกรล่างลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ดังนั้นชิ้นงานนี้จึงขาดการศึกษาความล้า (fatigue) ของเครื่องมือ ซึ่งอาจมีผลต่อความแข็งแรงและอายุการใช้งานของเครื่องมือ นอกจากนี้ผู้ป่วยที่เผลออ้าปากหรือพยายามอ้าปากแบบเฉียบพลัน อาจต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของเครื่องมือเพิ่มเติม เนื่องจากการทดสอบแรงดึงในชิ้นงานนี้ใช้อัตราเร็วในการดึงคงที่ ซึ่งต่างกับในผู้ป่วยจริงที่พยายามหรือเผลออ้าปากแบบรวดเร็ว ดังนั้นค่าแรงดึงสูงสุดของเครื่องมืออาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่ออ้าปากเร็วขึ้น

ข้อจำกัดของการทดสอบในการศึกษานี้ คือ ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบยังไม่ใกล้เคียงกับเครื่องมือที่ใช้ในคลินิกจริง ถึงแม้ว่าความกว้างของชิ้นงานที่ถูกออกแบบไว้มีขนาด 12 มิลลิเมตร เพื่อให้ครอบคลุมด้านบดเคี้ยวของฟันกรามและฟันกรามน้อยในผู้ป่วยไทย แต่เมื่อผลิตเครื่องมือจริง ความกว้างของเครื่องมืออาจเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดฟันของผู้ป่วยแต่ละคน ความแข็งแรงของเครื่องมืออาจเปลี่ยนแปลงไปตามความกว้างของเครื่องมือ ความสูงของชิ้นงานก็มีผลต่อความแข็งแรงเช่นกัน ความสูงของชิ้นงานแยกพิจารณาได้ 2 ส่วน คือ ความสูงในส่วนล็อก และความสูงในส่วนฐาน ผู้วิจัยกำหนดความสูงในส่วนล็อกตามแนวคิดในการออกแบบเครื่องมือแล้ว คือ กำหนดระยะความสูงในส่วนล็อก 5 มิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการวางสกรูขยายและเหลือพื้นที่สำหรับวัสดุเรซินอะคริลิกด้านละ 1 มิลลิเมตร แต่ความสูงในส่วนฐานผู้วิจัยไม่ได้กำหนดความสูงและรูปร่างของชิ้นงานตามทันตกายวิภาคของฟัน เนื่องจากชิ้นงานจำเป็นต้องถูกออกแบบให้ส่วนฐานสามารถจับยึดได้ด้วยตัวยึดโลหะ การออกแบบนี้จึงอาจมีผลต่อความแข็งแรงและลักษณะการแตกหักของเครื่องมือ ผู้วิจัยออกแบบความยาวของชิ้นงานเพื่อให้สะดวกต่อการจับยึดเช่นกัน ซึ่งต่างกับเครื่องมือจริง คือ ความยาวของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับปริมาณฟันของผู้ป่วย รวมถึงความยาวของเครื่องมือต้องโค้งไปตามรูปร่างของขากรรไกรอีกด้วยซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของเครื่องมือ แต่ถึงอย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งของสกรูขยายให้ใกล้เคียงกับเครื่องมือจริงมากที่สุด

ข้อกังวลต่อเศษชิ้นงานที่แตกหักอาจมีผลต่อการเผลอสูด (aspiration) เข้าระบบทางเดินหายใจนั้น เมื่อผู้ป่วยเผลออ้าปากกว้างหรือพยายามอ้าปากกว้าง ส่วนล็อกของเครื่องมือทั้งบนและล่างจะไม่แตกหักเป็นเศษชิ้นงาน แต่มีการลื่นไถลของเครื่องมือแทน ซึ่งเครื่องมือนี้ น่าจะปลอดภัยต่อผู้ป่วย ในขณะที่แรงดึงกลับของขากรรไกรล่างอาจทำให้ส่วนล็อกของเครื่องมือแตกหักได้ทั้งเครื่องมือบนและ

ล่าง การแตกหักนี้ก่อให้เกิดเศษชิ้นงาน ผู้ป่วยอาจสูดเข้าระบบทางเดินหายใจได้ แต่อย่างไรก็ตาม ชิ้นงานนี้มีความแข็งแรงมากพอต่อการแตกหัก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

เครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้มีส่วนล็อกแนวตั้งเพื่อป้องกันการอำปากขณะนอนหลับ และไม่มีกลไกล็อกการเคลื่อนที่ของขากรรไกรล่างแนวข้าง เครื่องมือนี้อาจเหมาะกับผู้ป่วยที่นอนกัดฟัน เพราะว่าผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นมักเกิดขึ้นพร้อมหรือใกล้เคียงกับการนอนกัดฟัน^{48, 49}

จากการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานต่อแรงดึงทั้งแนวตั้งและแนวราบ ส่วนฐานและส่วนล็อกของเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้มีความแข็งแรงมากพอที่จะผลิตเครื่องมือเพื่อใช้รักษาผู้ป่วย นอกจากนี้การทดสอบในการศึกษานี้เป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาความแข็งแรงของสกรู ขยายและวัสดุเรซินอะคริลิก อาจนำข้อมูลจากการศึกษาไปใช้ผลิตเครื่องมือรูปแบบอื่นๆ ในงานทันตเวชศาสตร์การนอนหลับ งานทันตกรรมจัดฟัน และงานทันตกรรมประดิษฐ์ เพื่อใช้รักษาผู้ป่วยที่หลากหลายต่อไปได้

5.4.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

การทดสอบในการศึกษานี้ ทำการทดสอบเพียงการดึงด้วยแรงจนกระทั่งชิ้นงานแตกหักเพียงอย่างเดียว ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด การศึกษาในอนาคตอาจทำการทดสอบแรงดึงชนิดต่อเนื่อง เพื่อศึกษาความล้าของเครื่องมือด้วย เพราะผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นต้องสวมใส่เครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ทุกคืน การสวมใส่เครื่องมือเป็นประจำอาจมีผลต่อความแข็งแรงของเครื่องมือ

การศึกษานี้ใช้การออกแบบอย่างง่าย โดยกำหนดความหนาของส่วนล็อกที่ 5 มิลลิเมตร และกำหนดมุมส่วนล็อกที่ 45 องศา ซึ่งมุมภายในที่เกิดขึ้นมีลักษณะแหลม หากทำการเพิ่มหรือลดความหนาของเรซินอะคริลิก เปลี่ยนแปลงมุมส่วนล็อก หรือลดความแหลมของมุมภายในส่วนล็อก ความแข็งแรงของเครื่องมืออาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งควรทำการศึกษาต่อไป เพื่อหาความหนาและมุมส่วนล็อกที่เหมาะสมที่สุด

การออกแบบเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้ ต้องผลิตส่วนล็อกของเครื่องมือ 2 ชิ้น เพื่อวางไว้ที่ด้านบดเคี้ยวทั้งข้างซ้ายและข้างขวา แต่ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบแรงดึง จำลองส่วนฐานและส่วนล็อกเพียงข้างเดียว ค่าแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานจึงไม่สามารถนำไปใช้ในคลินิกได้โดยตรง หาก

ต้องการทราบค่าแรงดึงสูงสุดของเครื่องมือที่ใกล้เคียงกับการผลิตจริงมากที่สุด การผลิตชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงจำเป็นต้องผลิตส่วนล๊อค 2 ชิ้น ทั้งข้างซ้ายและข้างขวา นอกจากนี้การจำลองส่วนฐานหรือส่วนยึดอยู่ อาจต้องลอกเลียนทันตกายวิภาคของฟันทั้งขากรรไกรบนและล่าง ผลการทดสอบชิ้นงานจะได้ค่าแรงดึงสูงสุดที่ใกล้เคียงกับการผลิตเครื่องมือจริงมากที่สุด

การศึกษานี้เป็นการศึกษาขั้นต้นของการออกแบบเครื่องมือยื่นขากรรไกรล่างชนิดปรับได้เพื่อศึกษาความแข็งแรงของเครื่องมือก่อนนำไปใช้ในผู้ป่วยจริง ในขั้นตอนต่อไป เมื่อมีความมั่นใจในความแข็งแรงของเครื่องมือแล้ว ควรผลิตเครื่องมือจริงจากแบบจำลองฟันในผู้ป่วย เพื่อศึกษาประสิทธิผลของเครื่องมือในการเปิดทางเดินหายใจส่วนบนทั้งในอาสาสมัครปกติและผู้ป่วยภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น รวมถึงศึกษาผลข้างเคียงจากการสวมใส่เครื่องมือด้วย



รายการอ้างอิง

1. Tsara V, Amfilochiou A, Papagrigorakis MJ, Georgopoulos D, Liolios E. Guidelines for diagnosis and treatment of sleep-related breathing disorders in adults and children. Definition and classification of sleep related breathing disorders in adults: different types and indications for sleep studies (Part 1). Hippokratia. 2009;13(3):187-91.
2. Sateia MJ. International classification of sleep disorders-third edition: highlights and modifications. Chest. 2014;146(5):1387-94.
3. Hoffstein V. Review of oral appliances for treatment of sleep-disordered breathing. Sleep Breath. 2007;11(1):1-22.
4. Tsara V, Amfilochiou A, Papagrigorakis MJ, Georgopoulos D, Liolios E, Alexopoulou C, et al. Guidelines for diagnosing and treating sleep related breathing disorders in adults and children (Part 2: treatment). Hippokratia. 2009;13(4):247-52.
5. Padma A, Ramakrishnan N, Narayanan V. Management of obstructive sleep apnea: A dental perspective. Indian J Dent Res. 2007;18(4):201-9.
6. Nerfeldt P, Nilsson BY, Mayor L, Udden J, Friberg D. A two-year weight reduction program in obese sleep apnea patients. J Clin Sleep Med. 2010;6(5):479-86.
7. Tan ET, Lambie DG, Johnson RH, Robinson BJ, Whiteside EA. Sleep apnoea in alcoholic patients after withdrawal. Clin Sci (Lond). 1985;69(6):655-61.
8. Eijsvogel MM, Ubbink R, Dekker J, Oppersma E, de Jongh FH, van der Palen J, et al. Sleep position trainer versus tennis ball technique in positional obstructive sleep apnea syndrome. J Clin Sleep Med. 2015;11(2):139-47.
9. de Vries GE, Hoekema A, Doff MH, Kerstjens HA, Meijer PM, van der Hoeven JH, et al. Usage of positional therapy in adults with obstructive sleep apnea. J Clin Sleep Med. 2015;11(2):131-7.
10. Epstein LJ, Kristo D, Strollo PJ, Jr., Friedman N, Malhotra A, Patil SP, et al. Clinical guideline for the evaluation, management and long-term care of obstructive sleep apnea in adults. J Clin Sleep Med. 2009;5(3):263-76.

11. Caples SM, Rowley JA, Prinsell JR, Pallanch JF, Elamin MB, Katz SG, et al. Surgical modifications of the upper airway for obstructive sleep apnea in adults: a systematic review and meta-analysis. *Sleep*. 2010;33(10):1396-407.
12. Aurora RN, Casey KR, Kristo D, Auerbach S, Bista SR, Chowdhuri S, et al. Practice parameters for the surgical modifications of the upper airway for obstructive sleep apnea in adults. *Sleep*. 2010;33(10):1408-13.
13. Knudsen TB, Laulund AS, Ingerslev J, Homoe P, Pinholt EM. Improved apnea-hypopnea index and lowest oxygen saturation after maxillomandibular advancement with or without counterclockwise rotation in patients with obstructive sleep apnea: a meta-analysis. *J Oral Maxillofac Surg*. 2015;73(4):719-26.
14. 510(k) Premarket Notification [Internet]. 2015 [cited 18 Aug 2015]. Available from: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfPMN/pmn.cfm>.
15. Cistulli PA, Gotsopoulos H, Marklund M, Lowe AA. Treatment of snoring and obstructive sleep apnea with mandibular repositioning appliances. *Sleep Med Rev*. 2004;8(6):443-57.
16. Scherr SC, Dort LC, Almeida FR, Bennett KM, Blumenstock NT, Demko BG, et al. Definition of an effective oral appliance for the treatment of obstructive sleep apnea and snoring. *J Dent Sleep Med*. 2014;1(1):51.
17. Ramar K, Dort LC, Katz SG, Lettieri CJ, Harrod CG, Thomas SM, et al. Clinical practice guideline for the treatment of obstructive sleep apnea and snoring with oral appliance therapy: an update for 2015. *J Clin Sleep Med*. 2015;11(7):773-827.
18. กัลยา ปัญญาพรผล, ชัยรัตน์ นรินทรรัตน์, ณัฐพงษ์ เจียมจริยธรรม, นฤชา จิรกาลวสาน, เปรมทิพย์ ชลิตาพงศ์, พลพร อภิวัฒน์เสวี และคณะ. คำแนะนำสำหรับการวินิจฉัยและดูแลรักษาภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้นในประเทศไทยสำหรับผู้ใหญ่ พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ: สมาคมโรคจากการหลับแห่งประเทศไทย, สมาคมนิทราเวชศาสตร์, สมาคมอูรเวชแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, สมาคมประสาทวิทยาแห่งประเทศไทย, ราชวิทยาลัยอายุรแพทย์แห่งประเทศไทย; 2560.
19. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips' science of dental materials. 12th ed. Philadelphia: Saunders; 2013. 571 p.
20. Deane SA, Cistulli PA, Ng AT, Zeng B, Petocz P, Darendeliler MA. Comparison of mandibular advancement splint and tongue stabilizing device in obstructive sleep apnea: a randomized controlled trial. *Sleep*. 2009;32(5):648-53.

21. Bonsor SJ, Pearson GJ. A clinical guide to applied dental materials 1st ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2013. 454 p.
22. Gladwin M, MBagby M. Clinical aspects of dental materials: theory, practice, and cases. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. 514 p.
23. Serra-Torres S, Bellot-Arcis C, Montiel-Company JM, Marco-Algarra J, Almerich-Silla JM. Effectiveness of mandibular advancement appliances in treating obstructive sleep apnea syndrome: a systematic review. *Laryngoscope*. 2015.
24. Friedman M, Hamilton C, Samuelson CG, Kelley K, Pearson-Chauhan K, Taylor D, et al. Compliance and efficacy of titratable thermoplastic versus custom mandibular advancement devices. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2012;147(2):379-86.
25. Ballanti F, Ranieri S, Baldini A, Cozza P. Long term therapeutic efficacy of a soft monobloc mandibular advancement device in adults with obstructive sleep apnea. *ScientificWorldJournal*. 2015:408469.
26. George PT. Selecting sleep-disordered-breathing appliances. *Biomechanical considerations*. *J Am Dent Assoc*. 2001;132(3):339-47.
27. Bartolucci ML, Bortolotti F, Raffaelli E, D'Anto V, Michelotti A, Alessandri Bonetti G. The effectiveness of different mandibular advancement amounts in OSA patients: a systematic review and meta-regression analysis. *Sleep Breath*. 2016;20(3):911-9.
28. Ahrens A, McGrath C, Hagg U. Subjective efficacy of oral appliance design features in the management of obstructive sleep apnea: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;138(5):559-76.
29. Aarab G, Lobbezoo F, Hamburger HL, Naeije M. Effects of an oral appliance with different mandibular protrusion positions at a constant vertical dimension on obstructive sleep apnea. *Clin Oral Investig*. 2010;14(3):339-45.
30. Pitsis AJ, Darendeliler MA, Gotsopoulos H, Petocz P, Cistulli PA. Effect of vertical dimension on efficacy of oral appliance therapy in obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(6):860-4.
31. Choi JK, Hur YK, Lee JM, Clark GT. Effects of mandibular advancement on upper airway dimension and collapsibility in patients with obstructive sleep apnea

using dynamic upper airway imaging during sleep. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109(5):712-9.

32. Chan AS, Sutherland K, Schwab RJ, Zeng B, Petocz P, Lee RW, et al. The effect of mandibular advancement on upper airway structure in obstructive sleep apnoea. *Thorax.* 2010;65(8):726-32.

33. Kaur A, Chand P, Singh RD, Siddhartha R, Tripathi A, Tripathi S, et al. Computed tomographic evaluation of the effects of mandibular advancement devices on pharyngeal dimension changes in patients with obstructive sleep apnea. *Int J Prosthodont.* 2012;25(5):497-505.

34. Kyung SH, Park YC, Pae EK. Obstructive sleep apnea patients with the oral appliance experience pharyngeal size and shape changes in three dimensions. *Angle Orthod.* 2005;75(1):15-22.

35. Brown EC, Cheng S, McKenzie DK, Butler JE, Gandevia SC, Bilston LE. Tongue and lateral upper airway movement with mandibular advancement. *Sleep.* 2013;36(3):397-404.

36. Marcussen L, Henriksen JE, Thygesen T. Do mandibular advancement devices influence patients' snoring and obstructive sleep apnea? A cone-beam computed tomography analysis of the upper airway volume. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015;73(9):1816-26.

37. Iwasaki T, Takemoto Y, Inada E, Sato H, Saitoh I, Kakuno E, et al. Three-dimensional cone-beam computed tomography analysis of enlargement of the pharyngeal airway by the Herbst appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(6):776-85.

38. Johal A, Gill G, Ferman A, McLaughlin K. The effect of mandibular advancement appliances on awake upper airway and masticatory muscle activity in patients with obstructive sleep apnoea. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27(1):47-53.

39. Kurtulmus H, Cotert S, Bilgen C, On AY, Boyacioglu H. The effect of a mandibular advancement splint on electromyographic activity of the submental and masseter muscles in patients with obstructive sleep apnea. *Int J Prosthodont.* 2009;22(6):586-93.

40. Braem M. In vitro retention of a new thermoplastic titratable mandibular advancement device. *F1000Res*. 2015;4:56.
41. Vanderveken OM, Van de Heyning P, Braem MJ. Retention of mandibular advancement devices in the treatment of obstructive sleep apnea: an in vitro pilot study. *Sleep Breath*. 2014;18(2):313-8.
42. Cohen-Levy J, Petelle B, Pinguet J, Limerat E, Fleury B. Forces created by mandibular advancement devices in OSAS patients: a pilot study during sleep. *Sleep Breath*. 2013;17(2):781-9.
43. Peck CC, Sooch AS, Hannam AG. Forces resisting jaw displacement in relaxed humans: a predominantly viscous phenomenon. *J Oral Rehabil*. 2002;29(2):151-60.
44. Iida T, Tohara H, Wada S, Nakane A, Sanpei R, Ueda K. Aging decreases the strength of suprahyoid muscles involved in swallowing movements. *Tohoku J Exp Med*. 2013;231(3):223-8.
45. Shinozaki H, Tohara H, Matsubara M, Inokuchi N, Yamazaki Y, Nakane A, et al. Relationship between jaw opening force and hyoid bone dynamics in healthy elderly subjects. *Clin Interv Aging*. 2017;12:629-34.
46. Hara K, Tohara H, Wada S, Iida T, Ueda K, Ansai T. Jaw-opening force test to screen for Dysphagia: preliminary results. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95(5):867-74.
47. Fujii T, Sato H, Nakamura T, Fujii H. Study on active jaw-opening forces in man. *Nihon Hotetsu Shika Gakkai Zasshi*. 1985;29(2):235-40.
48. Hosoya H, Kitaura H, Hashimoto T, Ito M, Kinbara M, Deguchi T, et al. Relationship between sleep bruxism and sleep respiratory events in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Sleep Breath*. 2014;18(4):837-44.
49. Jokubauskas L, Baltrusaityte A. Relationship between obstructive sleep apnoea syndrome and sleep bruxism: a systematic review. *J Oral Rehabil*. 2017;44(2):144-53.



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Vertical 0 mm	5	252.29	280.35	267.3040	13.26222
Vertical 5 mm	5	248.86	281.03	262.6980	11.68480
Horizontal 0 mm	5	368.44	633.00	476.1100	100.08205
Horizontal 5 mm	5	338.87	536.43	449.1720	95.86307
Valid N (listwise)	5				

ตารางที่ 9 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามกลุ่ม

ทดสอบ

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Vertical 0 mm	.232	5	.200	.856	5	.214
Vertical 5 mm	.257	5	.200	.926	5	.567
Horizontal 0 mm	.246	5	.200	.925	5	.562
Horizontal 5 mm	.234	5	.200	.829	5	.136

ตารางที่ 10 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาการแจกแจงแบบปกติตามกลุ่มทดสอบ

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		t	df	Sig. (2-tailed)
Vertical 0 and 5 mm	Equal variances assumed	.583	8	.576
	Equal variances not assumed	.583	7.875	.576
Horizontal 0 and 5 mm	Equal variances assumed	.435	8	.675
	Equal variances not assumed	.435	7.985	.675

ตารางที่ 11 ผลสถิติจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามระยะปรับกรูขยาย

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		t	df	Sig. (2-tailed)
Vertical 0 mm and Horizontal 0 mm	Equal variances assumed	-4.625	8	.002
	Equal variances not assumed	-4.625	4.140	.009
Vertical 5 mm and Horizontal 5 mm	Equal variances assumed	-4.318	8	.003
	Equal variances not assumed	-4.318	4.119	.012

ตารางที่ 12 ผลทางสถิติจากการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามทิศทางแรงดึง

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Upper distortion	10	248.86	281.03	265.0010	12.03108

ตารางที่ 13 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสาเหตุ
หยุดทดสอบหลังการทดสอบแรงดึงแนวตั้ง

Descriptive Statistics

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Upper fracture	5	479.46	633.00	537.7500	58.23827
Lower fracture	4	338.87	438.64	395.4125	49.72011
Upper distortion	1	356.01	356.01	356.01	-

ตารางที่ 14 ผลสถิติจากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามสาเหตุ
หยุดทดสอบหลังการทดสอบแรงดึงแนวราบ

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Upper fracture	.309	5	.134	.887	5	.342
Lower fracture	.291	4		.858	4	.252

ตารางที่ 15 ผลสถิติจากการวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติตามสาเหตุหยุดทดสอบหลังการ
ทดสอบแรงดึงแนวราบ

Independent Samples Test

		t-test for Equality of Means		
		t	df	Sig. (2-tailed)
Upper fracture and	Equal variances assumed	3.876	7	.006
Lower fracture	Equal variances not assumed	3.953	6.934	.006

ตารางที่ 16 ผลสถิติจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดตามสาเหตุหยุดทดสอบหลัง
การทดสอบแรงดึงแนวราบ



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอุทัย อูมา เกิดวันอาทิตย์ที่ 9 เดือนมีนาคม ปีพุทธศักราช 2529 ภูมิลำเนาจังหวัด
ชลบุรี

ปี 2548 ถึง 2554 เข้าศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี 2554 ถึง 2557 เข้ารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ปฏิบัติการ ณ โรงพยาบาลบ่อ
ทอง จังหวัดชลบุรี

ปี 2557 ถึง 2560 เข้าศึกษาหลักสูตรการฝึกอบรมทันตแพทย์เฉพาะทางระดับวุฒิบัตร
สาขาวิทยาการวินิจฉัยโรคช่องปาก (สาขาทันตกรรมบดเคี้ยวและความเจ็บปวดช่องปากใบหน้า)
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี 2557 ถึง 2561 เข้าศึกษาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมบดเคี้ยวและ
ความเจ็บปวดช่องปากและใบหน้า คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี 2555 ถึง ปัจจุบัน ปฏิบัติงานในตำแหน่งทันตแพทย์ ณ คลินิกบ่อทองทันตกรรม
จังหวัดชลบุรี