

FRACTURE RESISTANCE OF BIOACTIVE RESTORATIVE MATERIALS IN CLASS II CAVITY OF UPPER PREMOLARS

Natkamol TECHARUNGROJ^{1*}, Apaporn PASASUK¹, Poonyaphorn THANYAKOOP¹ and Subin PUASIRI¹

¹ Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; natkamol.te@gmail.com (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 14 June 2024

Revised: 28 June 2024

Published: 12 July 2024

ABSTRACT

The objective of this in-vitro study was to compare fracture resistance of two bioactive restorative materials and resin composite in class II MOD of upper premolar after 10,000-time thermocycling between 5 and 55^oc. Three groups of sound extracted upper premolars(16 teeth/group) were prepared with class II MOD cavities and restored with ACTIVA[™] Bioactive-Restorative (group 1), CentionN[™] (group 2) and Filtek[™] Z350XT (group 3). After 10,000-time thermocycling, the samples were tested for fracture resistance. Loading force with 3 mm-round steel that connected to Universal testing machine at a crosshead speed of 1 mm/min. The fracture patterns were evaluated. Data were analyzed with One-way ANOVA and Bonferrini post hoc. The results of the study revealed that the fracture resistance of each material is significantly different ($p < 0.05$). The resin composite showed the highest fracture resistance, followed by the ACTIVA[™] group and CentionN[™] group. There is significant difference between Filtek[™] Z350XT and CentionN[™] ($p < 0.05$). Restorable fracture pattern of resin composite restored tooth is the highest group (44%), followed by ACTIVA[™] Bioactive-Restorative (18%) and CentionN[™] (12%)

Keywords: Bioactive Restorative Materials, Fracture Resistance, Class II Restorations

CITATION INFORMATION: Techarungroj, N., Pasasuk, A., Thanyakoo, P., & Puasiri, S. (2024). Fracture Resistance of Bioactive Restorative Materials in Class II Cavity of Upper Premolars. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(7), 36

คุณสมบัติการด้านการแตกหักของวัสดุบุรณะไบโอแอคทีฟ ในโพรงฟัน คลาสทุของฟันกรามน้อยบน

นฐกมล เตชะรุ่งโรจน์^{1*}, อาภาภรณ์ ภาษาสุข¹, ปุณยาพร รัชญะคุปต์¹ และ สุบิน พัวศิริ¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; natkamol.te@gmail.com (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยเพื่อศึกษาความสามารถในการด้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนของมนุษย์นอกช่องปาก ที่ทำการบูรณะโพรงฟันคลาสทุเอ็มโอดีด้วยวัสดุบุรณะไบโอแอคทีฟ 2 ชนิดคือ แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ และ เซนชั่นเอ็น และวัสดุบุรณะเรซินคอมโพสิตชนิดฟิลเทคแซดสามห้าศูนย์เอ็กที วัดหลังการจำลองการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 10,000 รอบ ฟันกรามน้อยบนสภาพดีที่ถูกถอนจะถูกนำมาเตรียมโพรง ฟันคลาสทุเอ็มโอดีและบูรณะด้วยวัสดุ 3 ชนิด ดังนี้ กลุ่มที่ 1 แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ กลุ่มที่ 2 เซนชั่นเอ็น และกลุ่มที่ 3 เรซินคอมโพสิต หลังผ่านการจำลองการใช้งานด้วยเครื่องเปลี่ยนอุณหภูมิ 10,000 รอบ ทำการวัดค่า การด้านการแตกหักด้วยหัวกดโลหะทรงกลม ขนาด 3 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับเครื่องทดสอบสากล ใช้ความเร็วหัวทดสอบที่ 1 มิลลิเมตร/นาที และศึกษารูปแบบการแตกหักของชิ้นงานหลังถูกทดสอบ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และวิเคราะห์ผลต่างระหว่างคู่วิธียอนเฟอร์โรนี ผลการศึกษาพบว่า ชนิดวัสดุบุรณะมีผลต่อการด้านการแตกหัก อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยกลุ่มเรซินคอมโพสิตมีความสามารถในการด้านการแตกหักสูงที่สุด ตามด้วยกลุ่ม แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ และเซนชั่นเอ็น ตามลำดับ โดยกลุ่มเรซินคอมโพสิตให้ผลแตกต่างจาก กลุ่มเซนชั่นเอ็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 รูปแบบการแตกหักชนิดสามารถบูรณะใหม่พบมากที่สุดในกลุ่มเรซินคอมโพสิตที่ ร้อยละ 44 ตามด้วยกลุ่มแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟที่ร้อยละ 18 และลำดับสุดท้ายคือ กลุ่มเซนชั่นเอ็น ที่ร้อยละ 12 **คำสำคัญ:** วัสดุบุรณะไบโอแอคทีฟ, การด้านการแตกหัก, โพรงฟันคลาสทุ

ข้อมูลการอ้างอิง: นฐกมล เตชะรุ่งโรจน์, อาภาภรณ์ ภาษาสุข, ปุณยาพร รัชญะคุปต์ และ สุบิน พัวศิริ. (2567). คุณสมบัติการด้านการแตกหักของวัสดุบุรณะไบโอแอคทีฟ ในโพรงฟันคลาสทุของฟันกรามน้อยบน. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(7), 36

บทนำ

วัสดุบูรณะฟันที่แพร่หลายในปัจจุบัน คือ เรซินคอมโพสิต (resin composite) เนื่องจากสีเหมือนฟัน (tooth-colored material) ให้ความสวยงามคล้ายฟันธรรมชาติ มีคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ที่ดี สามารถบูรณะในโพรงฟันได้หลากหลาย (Ferracane, 2011) แต่ยังมีข้อด้อย คือ หดตัวหลังเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization shrinkage) ทำให้เกิดรอยรั่วซึม โดยเฉพาะบริเวณ รอยต่อกับเนื้อฟัน (marginal leakage) นำไปสู่การเกิดฟันผุซ้ำ (secondary caries) ได้ (Pereira-Cenci et al., 2009) วัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟเป็นการปรับปรุงเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) และอนุภาคอัดแทรก (filler) ของเรซินคอมโพสิตด้วยการเติมส่วนประกอบ ไบโอแอคทีฟกลาส (bioactive glass) (Skallevold et al., 2019) ซึ่งมีคุณสมบัติเข้ากันทางชีวภาพ (biocompatibility) กับเนื้อเยื่อร่างกายมนุษย์ ช่วยส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ (remineralization) ให้ผิวฟัน เกิดการยึดกับเนื้อฟัน ด้วยแรงยึดทางเคมี (chemical bond) ลดการหดตัวของวัสดุบูรณะหลังปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ลดโอกาสเกิดการฟันผุซ้ำ (Tarle & Par, 2018) มีการศึกษาที่พบว่า การเติมไบโอแอคทีฟกลาสในวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟมีผลลดความแข็งแรงของวัสดุลง โดยปริมาณไบโอแอคทีฟกลาสที่เติมไม่ควรเกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก (Yun et al., 2022) จากการทบทวนวรรณกรรม การทดสอบความแข็งแรงชนิดต่างๆ ของชิ้นวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟ พบว่า แข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงบดเคี้ยวได้ (Garoushi et al., 2018; Pameijer et al., 2015) ขอบ่งใช้จากบริษัทผู้ผลิตวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟที่มีจำหน่ายในไทย ชื่อทางการค้า แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสตอเรทีฟ (ACTIVA™ BioACTIVERESTORATIVE™, PULPDENT, USA) และเซนชั่นเอ็น (CentionN, Ivoclar Vivadent, USA) และเห็นว่า วัสดุสามารถบูรณะในโพรงฟันคลาสทูได้ (class II cavity) (Francois et al., 2020) โพรงฟันคลาสทูเป็นการสูญเสียเนื้อฟันด้านประชิด ส่งผลต่อความแข็งแรงของฟัน (Khera et al., 1990; Reel & Mitchell, 1989) โดยเฉพาะโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดี (class II MOD cavity) ที่มีการสูญเสียเนื้อฟันด้านประชิดทั้งสองฝั่ง พบการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการต้านการแตกหักของฟัน ได้แก่ ชนิดของวัสดุบูรณะ และขนาดของโพรงฟัน หากวัสดุบูรณะที่มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน จะทำให้รับแรงได้ดี แต่หากขนาดโพรงฟันมีขนาดใหญ่ จะยิ่งเพิ่มโอกาสในการเกิดการแตกหักของซี่ฟันมากขึ้น (Lin et al., 2001) จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า ความแข็งแรงของชิ้นวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟในห้องปฏิบัติการแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้บูรณะโพรงฟันคลาสทูตามข้อบ่งใช้ของทางบริษัทได้ (Garoushi et al., 2018; Pameijer et al., 2015; Francois et al., 2020) แต่การศึกษาที่น่าวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟมาบูรณะในฟันจริงและทดสอบการต้านการแตกหักยังมีน้อย และไม่พบการศึกษาที่จำลองการใช้งานด้วยเครื่องจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 10,000 รอบ จำลองการใช้งานในช่องปากเป็นเวลา 1 ปี (Gale & Darvell, 1999) เป็นที่มาของการศึกษานี้ที่จะศึกษาการต้านการแตกหักของวัสดุบูรณะเปรียบเทียบกับระหว่างแอคทีวาไบโอแอคทีฟ-เรสตอเรทีฟ เซนชั่นเอ็นและเรซินคอมโพสิตในโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีของฟันกรามน้อยบน วัดผลหลังผ่าน การจำลองการใช้งานด้วยเครื่องจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 10,000 รอบ และศึกษารูปแบบการแตกหักเพื่อนำไปเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุบูรณะอย่างเหมาะสมต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

ไบโอแอคทีฟกลาสในงานทันตกรรม คือ ไบโอบีโกลาสเลขที่สี่ห้าเอสห้า (Bioglass® 45S5) ประกอบด้วย ซิลิกา (silicon dioxide: silica) แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) โซเดียม (sodium) และฟอสเฟส (phosphate) (Hench, 2006) ไบโอแอคทีฟกลาสทำให้เกิดการเชื่อมระหว่างวัสดุกับเนื้อเยื่อมนุษย์ จากการละลายตัวเมื่ออยู่ในช่องเหลว (Skallevold et al., 2019) เกิดการสะสมสะสมของไฮดรอกซีอะพาไทต์และอะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (amorphous calcium phosphate) ที่ฟัน (Ladino et al., 2021) ทำให้เกิดการยึดติดกับฟัน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ส่งเสริมการคืนกลับของแร่ธาตุ (ions recharging) และยับยั้งการเกิดฟันผุซ้ำ (Ruengrungsom et al., 2020) ไบโอแอคทีฟกลาสที่ถูกเติมในวัสดุบูรณะต้องไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เพื่อคงความแข็งแรงของวัสดุ (Yun et al., 2022; Par et al., 2018)

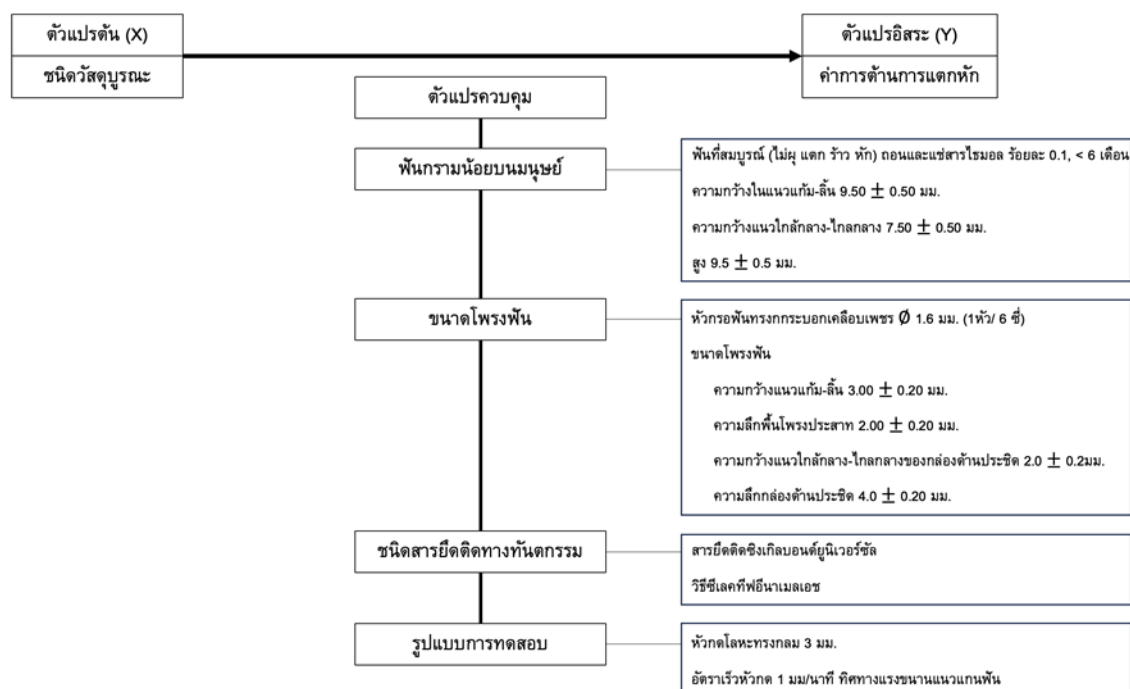
ประเทศไทยมีการนำเข้าวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟจาก 2 บริษัท ได้แก่ แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสตอเรทีฟ และเซนชั่นเอ็นแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสตอเรทีฟ โดยบริษัท PULPDENT, USA มีส่วนของเหลวและผงแยกกัน อยู่ในบรรจุภัณฑ์แบบหลอดฉีดผสมเอง (self-mixing syringe) 2 หลอด ส่วนของเหลว ได้แก่ กรดโพลีอะคริลิกน้ำหนักโมเลกุลสูง (high molecular weight polyacrylic acid) เรซินโมโนเมอร์ชนิดเอ็มเบรสเรซิน (embrace resin) ทางบริษัทกล่าวว่า เรซินโมโนเมอร์นี้มีคุณสมบัติยึดหยุ่นสูง กรดไดเมทาครีเลตฟอสเฟต (dimethacrylate phosphate acids) สารเหนียวสำหรับการก่อตัวด้วยแสง (photoinitiators) สารเหนียวสำหรับการก่อตัวด้วยเคมี (chemoinitiators) และน้ำ ส่วนผง ได้แก่ อนุภาคอัดแทรกขนาดนาโนที่เคลือบผิวด้วย ซิลเลน (silanized filler) และไบโอแอคทีฟฟกลาส วัสดุจะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวแบบหลายทาง (dual cure) (Francois et al., 2020; van Dijken et al., 2019) สามารถบูรณะเป็นลักษณะบัลค์ฟิลล์ (bulk- fill) คือ บูรณะที่ความหนาแน่นมากกว่า 2 มิลลิเมตร ได้ ใช้บูรณะในโพรงฟันคลาสวัน โพรงฟันคลาสทู และโพรงฟันคลาสไฟว์ (class V cavity) (Francois et al., 2020) เซนชั่นเอ็น ผลิตโดยบริษัท Ivoclar Vivadent วัสดุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ 2 ขวด ผสมมือ (hand mixing) แยกส่วนของเหลวกับส่วนผง ของเหลว ประกอบด้วย โมโนเมอร์ สารเหนียวสำหรับการก่อตัวของโพลิเมอร์ด้วยแสงและเคมี สารเหนียวสำหรับการก่อตัวของโพลิเมอร์ด้วยแสงชนิดไอโวเซอร์อิน (ivocerin) ส่วนผง ประกอบด้วย อนุภาคอัดแทรกขนาดนาโนที่เคลือบผิวด้วยซิลเลน ไบโอแอคทีฟฟกลาส และอัลคาไซต์ (alkasite) มีปฏิกิริยาการก่อตัวแบบหลายทาง บูรณะลักษณะบัลค์ฟิลล์ได้ (Francois et al., 2020) สามารถบูรณะในโพรงฟันคลาสวัน โพรงฟันคลาสทู และโพรงฟันคลาสไฟว์ได้ (Kelić et al., 2021) วัสดุบูรณะทั้งสองชนิดนี้ควรใช้ร่วมกับสารยึดติดทางทันตกรรม (dental adhesive) (Pulpdent XP-V-IN-09w, 2015) เช่นกันกับเรซินคอมโพสิต สารยึดติดทางทันตกรรมระบบยูนิเวอร์ซัล (universal adhesive) เป็นสารยึดที่มีรายงานถึงค่าการยึดติดที่ดีต่อเคลือบฟัน (enamel) และเนื้อฟัน (dentin) (Souza-Junior et al., 2012; Frankenberger et al., 2008; Valizadeh et al., 2019; Perdigão et al., 2021) โดยหากโพรงฟันมีทั้งส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟันควรใช้วิธีซีเลกทีฟอีนาเมลเอช (selective enamel etch) ในการเตรียมผิวฟัน คือ ใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 37 (37% phosphoric acid) ในส่วนเคลือบฟันก่อน จากนั้นใช้สารยึดติดระบบยูนิเวอร์ซัลเตรียมผิวทั้งส่วนเคลือบฟัน และเนื้อฟัน การทดสอบการต้านการแตกหักของฟันมนุษย์ในห้องปฏิบัติการ คือ การให้แรงกดอัด (compressive strength) ที่ด้านบดเคี้ยวของฟันด้วยหัวกดโลหะทรงกลม (steel ball) ที่ยึดกับเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) กดด้วยแรงที่มีอัตราคงที่ในการเพิ่มแรง (crosshead speed) (Vale, 1956) เป็นการจำลองแรงกดที่มากที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟัน การแตกหักนี้เกิดจากคุณสมบัติการทนการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (plastic deformation) ของฟัน (Naik et al., 2021) วัตถุประสงค์ของการศึกษามีผลต่อตำแหน่งหัวกดในการทดสอบ หากต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการต้านการแตกหักกับเนื้อฟันที่เหลืออยู่ของฟันที่ถูกบูรณะ ควรใช้หัวกดขนาดใหญ่กว่าโพรงฟันเพื่อให้สัมผัสอยู่ที่เนื้อฟัน แต่หากวัตถุประสงค์ คือ การศึกษาความแข็งแรงของวัสดุบูรณะที่ทดแทนเนื้อฟัน ผู้นิพนธ์แนะนำให้เลือกใช้หัวกดขนาดเล็กสัมผัสบนวัสดุบูรณะ (da Silva et al., 2012) ซึ่ฟันที่นิยมใช้จะเป็นฟันกรามน้อยบน เหตุเพราะเป็นซี่ที่พบการแตกบิ่นในทางคลินิก และหาซี่ฟันที่สมบูรณ์ง่าย (Burke, 1992) การจำลองการใช้งานด้วยเครื่องจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิร้อนเย็นเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการนิยมนำมาใช้ในการเสื่อมของวัสดุบูรณะจากการหดและขยายตัวจากการเปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นการจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิในช่องปากจากอาหาร (Cenci et al., 2008) เครื่องจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำตามไอเอสโอ หมายเลข ทีเอส11405 (ISO TS11405) ในปี 2015 ปฏิบัติได้ดังนี้ เก็บชิ้นงานในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนเริ่มทำการทดสอบตั้งค่าเครื่องจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้อุณหภูมิของเหลวอยู่ที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 500 รอบ โดยแช่ชิ้นงานในแต่ละอุณหภูมิด้วยวิธีการแช่ค้าง (dwell time) ที่ 20 วินาที (IOF, 1994) แต่การจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียง 500 รอบ ไม่เพียงพอที่จะจำลองการใช้งานจริงของวัสดุบูรณะในช่องปาก (Morresi et al., 2014; De Munck et al., 2005) พบว่า การจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 10,000 รอบ มีผลต่อความแข็งแรงดัดขวางและมอดูลัสแรงดัดขวางของวัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิต (Boussès et al., 2021) จากการทบทวนวรรณกรรมพบการศึกษาที่ก่อนหน้าการต้านการแตกของวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟที่ถูกบูรณะในโพรงฟันอยู่น้อย พบการศึกษาการต้านการ

แตกหักของฟันกรามแท้ที่บุรณะโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีด้วยวัสดุไบโอแอคทีฟชนิดแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสตอเรทีฟ และเซนชันเอ็นเทียบกับเรซินคอมโพสิต ทดสอบหลังผ่านเครื่องจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 1,000 รอบ ผลการดำเนินการแตกหักของกลุ่มเรซินคอมโพสิตสูงกว่าไบโอแอคทีฟทั้งสอง อย่างมีนัยสำคัญ ตามด้วยเซนชันเอ็นและแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสตอเรทีฟ แต่ผลของไบโอแอคทีฟทั้งสองไม่ได้ต่างกันอย่างมีนัยทางสถิติ (Ramírez-Barrantes, & Quesada-Rojas, 2023) และการศึกษาที่บุรณะโพรงฟันเอ็มโอดีของฟันกรามน้อยเปรียบเทียบกับ ระหว่างเซนชันเอ็น และเรซินคอมโพสิต ผลพบว่า กลุ่มเรซินคอมโพสิตด้านการแตกหักได้สูงกว่าเซนชันเอ็นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ (Firouzmandi et al., 2021)

สมมติฐานการวิจัย

การบุรณะโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีในฟันกรามน้อยบนด้วยวัสดุต่างกัน 3 ชนิด คือ แอคทีวาไบโอแอคทีฟ เรสตอเรทีฟ เซนชันเอ็น และเรซินคอมโพสิต โดยใช้สารยึดติดชนิดยูนิเวอร์ซัลด้วยวิธีซีเลคทีฟอีนาเมลเอช และผ่านการจำลอง การใช้งานด้วยเครื่องจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส 10,000 รอบ มีผลต่อความสามารถ ในการดำเนินการแตกหักที่แตกต่างกัน

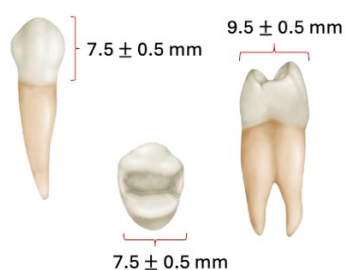
กรอบแนวคิดการวิจัย



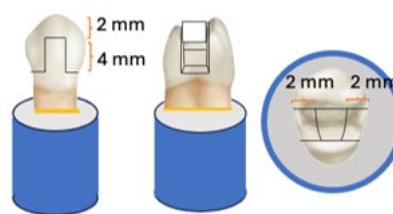
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ในห้องปฏิบัติการ (in vitro) ได้ทำการขอยกเว้นจริยธรรมจากศูนย์จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ฟันกรามน้อยบนมนุษย์จำนวน 48 ซี่ แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 16 ซี่ ตามการศึกษาก่อนหน้า (Ramírez-Barrantes, & Quesada-Rojas, 2023) แล้วนำผลการทดลองมาคำนวณตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*power 3.1.9.4 ระดับความเชื่อมั่นที่ 0.95 และอำนาจการทดสอบที่ 0.8 เกณฑ์การตัดเข้าตามภาพที่ 1 ขนาดฟันตามเกณฑ์ตัดเข้าเป็นไปตามภาพ 2 ก นำฟันยึดเข้ากับท่อพีวีซี ให้ตำแหน่งที่ทำยึดต่ำกว่ารอยต่อเคลือบรากฟันและเคลือบฟัน 2 มิลลิเมตร นำมาเตรียมโพรงฟัน คลาสทูเอ็มโอดีขนาดภาพ 2x และบุรณะแยกตามกลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ แอคทีวาไบโอแอคทีฟ-เรสตอเรทีฟ กลุ่มที่ 2 คือ เซนชันเอ็น และกลุ่มที่ 3 คือ เรซินคอมโพสิตชนิดฟิลเทคแซตสามห้าศูนย์เอ็กซ์ที



ภาพ 2ก ขนาดฟันกรามน้อยบนตามเกณฑ์คัตเข้า



ภาพ 2ข ขนาดโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดี

โดยทุกกลุ่มจะถูกทาสารยึดติดทางทันตกรรมชนิดยูนิเวอร์ซัล ด้วยวิธีซีเลคทีฟอีนาเมลเอซ การบูรณะในกลุ่มที่ 1 และกลุ่ม 2 จะทำการบูรณะทั้งโพรงฟันในครั้งเดียว ส่วนกลุ่มที่ 3 จะทำการบูรณะขึ้นมาเป็นชั้นๆ (incremental technique) ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มเข้าเครื่องจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 10,000 รอบ ก่อนนำมาทดสอบการต้านการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบสากล ให้แรงกดที่อัตราเร็ว 1 มิลลิเมตรต่อนาที ด้วยหัวกดโลหะทรงกลมขนาด 3 มิลลิเมตร ตำแหน่งกดอยู่บนนิวส์บูรณะให้แนวแกนฟัน (tooth long axis) และการกดตั้งฉากกับพื้น บันทึกผลการต้านการแตกหัก หน่วยนิวตัน (newton) หลังการทดสอบเสร็จสิ้นจะนำฟันชิ้นตัวอย่างที่แตกหักไปศึกษาารูปแบบการแตกหักด้วย แว่นขยายผ่าตัดทางทันตกรรมกำลังขยาย 4 เท่า (Dental loupes 4X magnified, ZEISS, Germany) โดยแบ่งรูปแบบการแตกหักออกเป็น 2 แบบ (Firouzmandi et al., 2021) การแตกหักแบบสามารถบูรณะใหม่ คือ การแตกที่เกิดขึ้นเหนือรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน และการแตกหักแบบไม่สามารถบูรณะใหม่ คือ การแตกหักที่เกิดขึ้นต่ำกว่ารอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เพื่อใช้อธิบายข้อมูลค่าการต้านการแตกหัก ส่วนข้อมูลรูปแบบการแตกหักใช้จำนวนและร้อยละในการอธิบาย การวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) ทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test และทดสอบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (test of homogeneity of variances) หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติและไม่มีมีความแตกต่างกันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม ใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวในการทดสอบสมมติฐานและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนชนิด Bonferoni โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย

ค่าเฉลี่ยการต้านการแตกหักเป็นไปตามตารางที่ 1 และการเปรียบเทียบผลของชนิดวัสดุบูรณะทั้งสาม ตรวจสอบสมมติฐานด้วยสถิติวิเคราะห์การแจกแจงข้อมูลของ Shapiro-Wilk พบว่า ข้อมูลแจกแจงปกติ ตรวจสอบ ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มของ Levene ไม่พบความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยการต้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนที่ถูกบูรณะโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีด้วยวัสดุไบโอแอคทีฟสองชนิด และเรซินคอมโพสิตหลังผ่านการจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิจำนวน 10,000 รอบ

ชนิดวัสดุบูรณะ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
แอคทีวาไบโอแอคทีฟ	637.81	42.92	695.19	573.50
เซนต์เอ็น	610.06	44.08	675.41	537.66
เรซินคอมโพสิต	654.36	37.10	701.61	595.06

ตารางที่ 2 ตารางแสดงความแปรปรวนทางเดียววิเคราะห์ปัจจัยชนิดวัสดุบูรณะ 3 ชนิดต่อการด้านการแตกหักฟันกรามน้อยบนที่มีโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีหลังผ่านการจำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิ จำนวน 10,000 รอบ

Fracture resistance	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Between groups	16027.963	2	8013.982	4.657	0.015*
Within groups	77430.463	45	1720.677		
Total	93458.426	47			

*P-value < 0.05

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการด้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนในกลุ่มย่อย ระหว่างกลุ่มแอคทิวาไบโอแอคทีฟ เซนชันเอ็น และเรซินคอมโพสิต

ชนิดวัสดุบูรณะ	ความต่างค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	P-value
แอคทิวาไบโอแอคทีฟ เซนชันเอ็น	27.742	14.665	0.195
แอคทิวาไบโอแอคทีฟ เรซินคอมโพสิต	-16.548	14.665	0.795
เซนชันเอ็น เรซินคอมโพสิต	-44.291	14.665	0.012*

*P-value < 0.05

จากการศึกษาพบว่า ชนิดวัสดุบูรณะมีผลต่อการด้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนที่มีโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามตารางที่ 2 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่า ค่าเฉลี่ยการด้านการแตกหักกลุ่มที่ให้ค่าสูงสุด คือ กลุ่มเรซินคอมโพสิต ตามด้วยกลุ่มแอคทิวาไบโอแอคทีฟ และเซนชันเอ็น ลำดับสุดท้าย โดยค่าการด้านการแตกหักในกลุ่มเรซินคอมโพสิตแตกต่างจากเซนชันเอ็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และแตกต่างจากแอคทิวาไบโอแอคทีฟ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ค่าการด้านการแตกหักในกลุ่มแอคทิวาไบโอแอคทีฟ กับเซนชันเอ็นแตกต่างจากแอคทิวาไบโอแอคทีฟ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 3 ส่วนรูปแบบการแตกหักหลังการทดสอบความต้านทานการแตกหักของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า รูปแบบการแตกหักชนิดสามารถบูรณะใหม่พบมากที่สุดในกลุ่มที่ถูกบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตที่ร้อยละ 44 ตามมาด้วยกลุ่มที่บูรณะด้วยแอคทิวาไบโอแอคทีฟที่ร้อยละ 18 และลำดับสุดท้ายคือกลุ่มที่บูรณะด้วยเซนชันเอ็นที่ร้อยละ 12 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ร้อยละรูปแบบการแตกหัก

ชนิดวัสดุบูรณะ	Restorable		Unrestorable	
	N	%	N	%
แอคทิวาไบโอแอคทีฟ	3	18	13	82
เซนชันเอ็น	2	12	14	88
เรซินคอมโพสิต	7	44	9	56

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้ทดสอบการด้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนที่ถูกบูรณะโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดี เปรียบเทียบกันระหว่างวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟสองชนิดคือ แอคทิวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ และเซนชันเอ็น เทียบกับเรซินคอมโพสิต ชนิดฟิลเทคแซดสามห้าศูนย์เอ็กซ์ที โดยการศึกษาท่อนี้มีรูปแบบการศึกษาที่แตกต่างกัน ทั้งชนิดฟัน ขนาดโพรงฟัน ขนาดหัวกด ตำแหน่งสัมผัสของหัวกด ทิศของแรงและการจำลองการใช้งาน ทำให้ไม่สามารถนำค่ามาเปรียบเทียบกันโดยตรงได้ ในการศึกษาเลือกใช้ฟันกรามน้อยบนซึ่งเป็นฟันที่พบการแตกหักบ่อย (Burke, 1992) และสามารถหาซี่ฟันใน

ลักษณะสมบูรณ์ได้มากเพียงพอ ขนาดโพรงฟันอยู่ที่ 3 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่ไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างแนวแก้มลิ้นของฟัน ซึ่งเป็นขนาดโพรงฟันที่สามารถบูรณะด้วยวัสดุบูรณะชนิดบูรณะในช่องปากได้ (Vale, 1956) จากขนาดโพรงฟันที่กำหนดนี้ ทำให้การศึกษานี้ออกแบบห้วกดเหล็กขนาด 3 มิลลิเมตร เนื่องจากการศึกษานี้ต้องการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุบูรณะในโพรงฟัน จึงให้ตำแหน่งห้วกดสัมผัสกับวัสดุบูรณะ (da Silva et al., 2012) ผลการศึกษานี้พบว่า กลุ่มที่บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดฟิลเทคแซดสามห้าศูนย์เอ็กซ์ที่มีค่าการต้านการแตกหักสูงที่สุด เป็นผลมาจากค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงใกล้เคียงกับเนื้อฟัน จึงรับแรงเค้นและมีการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) ที่คล้ายกับเนื้อฟัน ทำให้สามารถส่งผ่านและกระจายแรงเค้นที่ได้รับคล้ายกับเนื้อฟัน โดยค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเนื้อฟัน คือ 18 จิกกะปาสคาล (giga pascal: GPa) (Ausiello et al., 2004) เรซินคอมโพสิตฟิลเทคแซดสามห้าศูนย์เอ็กซ์ที่อยู่ 12.77 จิกกะปาสคาล (da Silva et al., 2012) ทำให้สามารถทนต่อการแตกหักได้ไม่ต่างจากฟันธรรมชาติ (Elayouti et al., 2011) ผลการศึกษานี้เป็นไปทางเดียวกับ การศึกษาของ Firouzmandi et al. (2021) พบว่า เรซินคอมโพสิตต้านการแตกหักสูงกว่าวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟ ชนิดเซนชันเอ็น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในโพรงฟันแบบอนุรักษ์ (conservative cavity) ซึ่งขนาดโพรงฟันด้านแก้มลิ้นขนาดใกล้เคียงการศึกษานี้ที่ใช้ฟันกรามน้อยบน แต่ต่างในเรื่องขนาดห้วกดโลหะซึ่งอยู่ที่ 8 มิลลิเมตร โดยขนาดดังกล่าวกว้างมากกว่า ความกว้างด้านแก้มลิ้นของฟันกรามน้อยบนในประเทศไทย ที่มีความกว้างเฉลี่ย คือ 7.64 ± 0.3 มิลลิเมตร ในเพศชาย และ 7.57 ± 0.35 มิลลิเมตร ในเพศหญิง (Manopatanakul et al., 2011) อีกการศึกษาเป็นของ Barrantes et al. (2022) เปรียบเทียบวัสดุเรซินคอมโพสิตกับไบโอแอคทีฟสองชนิด คือ แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟและเซนชันเอ็น แต่ทำการศึกษาในโพรงฟันเอ็มโอดีของฟันกราม พบว่า กลุ่มเรซินคอมโพสิตต้านการแตกหักได้สูงที่สุด แตกต่างกับไบโอแอคทีฟทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามมาด้วยวัสดุเซนชันเอ็นและแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ ซึ่งให้ค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาดังกล่าวให้เหตุผลในเรื่องของค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นซึ่งเซนชันเอ็นมีสูงกว่าแอคทีวาไบโอแอคทีฟที่ 5.3 และ 3.4 จิกกะปาสคาล (Francois et al., 2020) ตามลำดับ

โดยทั่วไปโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีของฟันกรามน้อยบนมักจะนิยมบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต (Ferracane, 2011) ในการศึกษาพบว่า แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟให้ค่าการต้านการแตกหักได้ไม่แตกต่างจากเรซินคอมโพสิตเมื่อนำมาบูรณะโพรงฟันดังกล่าว ความแข็งแรงของแอคทีวาไบโอแอคทีฟอาจเป็นผลจากส่วนประกอบ ได้แก่ อนุภาคอัดแทรก ร้อยละ 56 โดยน้ำหนัก(Pulpdent XP-V-IN-09w, 2015) อนุภาคอัดแทรกระดับนาโนที่ปรับผิว (surface modified) ด้วยไซเลน ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเปียกผิว (wettability) ของวัสดุ ทำให้สารอัดแทรกเกิดแรงยึดทางเคมีกับเมทริกซ์ ช่วยลดการหดตัวขณะก่อตัว และกระจายความเครียดในเนื้อวัสดุ มีผลลดการแตกหักในเนื้อวัสดุ และยังมีเอ็มเบรสเรซิน เป็นเรซินโมโนเมอร์ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง ทำให้วัสดุกระจายแรงได้ดี ทนต่อการแตกหัก (Tarle & Par, 2018) และจากการศึกษาการทดสอบความเหนียวต้านทานการแตกหัก (fracture toughness) ที่พบว่า เรซินคอมโพสิตและแอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ มีความเหนียวต้านการแตกหักไม่ต่างกัน (Ruengrungsom et al., 2021) ความเหนียวต้านการแตกหักนี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงของชั้นวัสดุบูรณะในห้องปฏิบัติการที่สอดคล้องกับการเกิดการแตกหักของวัสดุในทางคลินิก (Heintze et al., 2017) สำหรับวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟชนิดเซนชันเอ็นที่พบว่าต้านการแตกหักต่ำที่สุด ต่างจากเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะเซนชันเอ็นมีไบโอแอคทีฟกลาส ร้อยละ 25-55 ทำให้วัสดุลดความแข็งแรงลง (Yun et al., 2022) ในขณะที่การศึกษาของ Barrantes et al. (2022) ให้ผลการศึกษาที่แตกต่างจากการศึกษานี้ เนื่องจากชนิดซีฟัน ขนาดโพรงฟัน ขนาดห้วกดโลหะต่างกัน โดยห้วกดที่ใช้มีขนาด 6 มิลลิเมตร ห้วกดสัมผัสตำแหน่งเนื้อฟัน ต่างจากการศึกษานี้ที่ห้วกดสัมผัสวัสดุบูรณะ และการจำลองการใช้งานทำการแช่ตัวอย่างในน้ำเกลือชนิดไร้ประจุแคลเซียมที่ 7 วันก่อนการทดสอบ แต่การศึกษานี้จำลองการเปลี่ยนอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส จำนวน 10,000 รอบ ซึ่งเป็นการจำลองระยะเวลาการใช้งานในช่องปากเท่ากับจำนวน 1 ปี การศึกษานี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะที่กำหนด สามารถสรุปได้ว่า การต้านการแตกหักของวัสดุในโพรงฟันคลาสทูเอ็มโอดีตามขนาดที่กำหนดในฟันกรามน้อยบนโดยใช้แอคทีวาไบโอแอคทีฟเรสโตรเรทีฟ แสดงผล

แตกต่างจากการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการด้านการแตกหักของเซรามิกชั้นเอ็น แสดงค่าต่ำกว่าเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าการด้านการแตกหักของกลุ่มเซรามิกชั้นเอ็น ในการศึกษาี้มาเปรียบเทียบกับแรงบดเคี้ยวปกติในตำแหน่งฟันหลังของมนุษย์ จากการศึกษาของ Liwattanakorn et al. (2024) ที่มีค่าเท่ากับ 608 นิวตัน ยังพบว่า การด้านการแตกหักของกลุ่มเซรามิกชั้นเอ็นยังมีค่ามากกว่า นอกจากนี้ ยังพบว่า ผลของรูปแบบการแตกหักที่ไม่สามารถบูรณะซ่อมแซมได้ของฟันกลุ่มเซรามิกชั้นเอ็นมีค่าสูงที่สุด คือ ร้อยละ 88 ตามด้วยกลุ่มแอคทีวาไบโอแอคทีฟ ร้อยละ 82 ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อวัสดุมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นที่ต่ำกว่าเนื้อฟันจะ เกิดการกระจายแรงสู่เนื้อฟันที่เหลือนอยู่ร่วมกับการเกิดการสะสมแรงบางส่วนในเนื้อวัสดุเอง เมื่อเพิ่มแรงกดจะทำให้ ตำแหน่งที่สะสมแรงอยู่ในส่วนเนื้อฟันมีผลทำให้การแตกหักอยู่ตำแหน่งต่ำกว่ารอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน ส่วนเรซินคอมโพสิตมีมอดูลัสสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงเนื้อฟัน ทำให้วัสดุส่งผ่านแรงไปยังเนื้อฟันบริเวณผนังโพรงฟัน เหนือรอยต่อเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน เมื่อเกิดการสะสมของแรงในบริเวณผนังโพรงฟัน นำมาซึ่งการแตกหักใน บริเวณดังกล่าวสูง ทำให้เกิดรูปแบบการแตกหักของกลุ่มเรซินคอมโพสิตเป็นชนิดที่สามารถบูรณะได้มากกว่าวัสดุ บูรณะกลุ่มไบโอแอคทีฟ (Jung et al., 2024)

ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่า ชนิดวัสดุบูรณะมีผลต่อการด้านการแตกหักของฟันกรามน้อยบนที่ถูกบูรณะในโพรงฟัน คลาสทูเอ็มโอดี การเลือกชนิดวัสดุบูรณะให้เหมาะสมจึงส่งผลต่อคุณภาพการบูรณะฟัน อย่างไรก็ตามนอกจาก คุณสมบัติการด้านการแตกหักแล้ว ควรศึกษาคูสมบัติเชิงกลประเภทอื่น เช่น ความแข็งแรงต้านแรงกดอัด กำลังยึดเหนี่ยว ความแข็งแรงดัดขวาง ความแข็งผิว และการปล่อยแร่ธาตุต่างๆ และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุ รวมถึงการคำนึงถึง สภาพแวดล้อมในช่องปากจริงทางคลินิกซึ่งมีความแตกต่างจากในห้องปฏิบัติการ ทั้งในเรื่องสภาพความเป็นกรดต่าง ความชื้น การเรียงตัวของฟันและกล้ามเนื้อบดเคี้ยวซึ่งส่งผลต่อทิศทาง และแรงในการกดสบฟันที่แตกต่างกันไปใน แต่ละบุคคล ซึ่งส่งผลต่อการพิจารณาเลือกวัสดุในการบูรณะที่เหมาะสมในทางคลินิกต่อไป

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ควรศึกษาเปรียบเทียบวัสดุกลุ่มไบโอแอคทีฟกับบูรณะชนิดอื่นๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์เลือกวัสดุบูรณะที่เหมาะสมต่อไป
- 2) ควรศึกษาการด้านการแตกหักของวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟชนิดอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาขึ้นใหม่และยังมีการศึกษาน้อย
- 3) ควรศึกษาคูสมบัติเชิงกลอื่นๆ เช่น ความแข็งแรงต้านแรงกดอัด กำลังยึดเหนี่ยว ความแข็งแรงดัดขวาง ความแข็งผิว และการปล่อยแร่ธาตุ เพื่อนำมาพิจารณาเลือกวัสดุบูรณะไบโอแอคทีฟในช่องปาก
- 4) ควรเพิ่มการจำลองการใช้งานในทางห้องปฏิบัติการรูปแบบอื่น เช่น การจำลองการใช้งานด้วยกรดเบส เป็นต้น
- 5) ควรมีการศึกษาทางคลินิกเพิ่มเติมเพื่อทดสอบอายุการใช้งานของวัสดุกลุ่มไบโอแอคทีฟในระยะยาวและศึกษาอัตราความสำเร็จในการรักษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Ausiello, P., Rengo, S., Davidson, C. L., & Watts, D. C. (2004). Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin-composite class II inlay restorations: A 3D-FEA study. *Dental Materials*, 20(9), 862-872.
- Boussès, Y., Brulat-Bouchard, N., Bouchard, P. O., & Tillier, Y. (2021). A numerical, theoretical and experimental study of the effect of thermocycling on the matrix-filler interface of dental restorative materials. *Dental Materials*, 37(5), 772-782.
- Burke, F. J. T. (1992). Tooth fracture in vivo and in vitro. *Journal of Dentistry*, 20(3), 131-139.

- Cenci, M. S., Pereira-Cenci, T., Donassollo, T. A., Sommer, L., Strapasson, A., & Demarco, F. F. (2008). Influence of thermal stress on marginal integrity of restorative materials. *Journal of Applied Oral Science*, 16(2), 106-110.
- da Silva, G. R., da Silva, N. R., Soares, P. V., Costa, A. R., Fernandes-Neto, A. J., & Soares, C. J. (2012). Influence of different load application devices on fracture resistance of restored premolars. *Brazilian Dental Journal*, 23(5), 484-489.
- De Munck, J., Van Landuyt, K., Coutinho, E., Poitevin, A., Peumans, M., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2005). Micro-tensile bond strength of adhesives bonded to class-I cavity-bottom dentin after thermo-cycling. *Dental Materials*, 21(11), 999-1007.
- Elayouti, A., Serry, M. I., Geis-Gerstorfer, J., & Löst, C. (2011). Influence of cusp coverage on the fracture resistance of premolars with endodontic access cavities. *International Endodontic Journal*, 44(6), 543-549.
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite-State of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29-38.
- Firouzmandi, M., Alavi, A. A., Jafarpour, D., & Sadatsharifee, S. (2021). Fracture strength and marginal adaptation of conservative and extended MOD cavities restored with cention N. *International journal of dentistry*, 2021(1), 5599042.
- Francois, P., Fouquet, V., Attal, J. P., & Dursun, E. (2020). Commercially available fluoride-releasing restorative materials: a review and a proposal for classification. *Materials*, 13(10), 2313.
- Frankenberger, R., Lohbauer, U., Roggendorf, M. J., Naumann, M., & Taschner, M. (2008). Selective enamel etching reconsidered: better than etch-and-rinse and self-etch?. *Journal of Adhesive Dentistry*, 10(5), 339-344.
- Gale, M. S., & Darvell, B. W. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *Journal of Dentistry*, 27(2), 89-99.
- Garoushi, S., Vallittu, P. K., & Lassila, L. (2018). Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. *Dental Materials Journal*, 37(2), 293-300.
- Heintze, S. D., Ilie, N., Hickel, R., Reis, A., Loguercio, A., & Rousson, V. (2017). Laboratory mechanical parameters of composite resins and their relation to fractures and wear in clinical trials—A systematic review. *Dental Materials*, 33(3), e101-e114.
- Hench, L. L. (2006). The story of Bioglass®. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 17(11), 967-978.
- IOF, S. (1994). Dental materials guidance on testing of adhesion to tooth structure. *Iso Tr11405*, 1994, 1-15.
- Jung, M. K., Jeon, M. J., Kim, J. H., Son, S. A., Park, J. K., & Seo, D. G. (2024). Comparison of the stress distribution in base materials and thicknesses in composite resin restorations. *Heliyon*, 10(3), e25040.
- Kelić, K., Par, M., Peroš, K., Šutej, I., & Tarle, Z. (2021). Fluoride-Releasing Restorative Materials: The Effect of a Resinous Coat on Ion Release. *Acta Stomatologica Croatica*, 54(4), 371-381.
- Khera, S. C., Askarieh, Z., & Jakobsen, J. (1990). Adaptability of two amalgams to finished cavity walls in class II cavity preparations. *Dental Materials*, 6(1), 5-9.
- Ladino, L. G., Bernal, A., Calderón, D., & Cortés, D. (2021). Bioactive materials in restorative dentistry: a literature review. *SVOA Dentistry*, 2, 74-81.

- Lin, C. L., Chang, C. H., & Ko, C. C. (2001). Multifactorial analysis of an MOD restored human premolar using auto-mesh Finite Element approach. *Journal of Oral Rehabilitation*, 28(6), 576-585.
- Liwwattanakorn, T., Kamonkhantikul, K., Homsiang, W., & Arksornnukit, M. (2024). *Effect of screw access hole on fracture resistance among 3 different implant-supported crown materials after cyclic loading: An in vitro study*. 1-8.
- Manopatanakul, S; Fuangtharnthip, P., Lertrid, P., Law, I., & Boonmegaew, P. (2011). Trend of tooth width of Bangkok residents. *Mahidol Dental Journal*, 31(1), 1-14.
- Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., & Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: Does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 29, 295-308.
- Naik, N. S., Sharma, K., Sharmaa, S., Vashisth, P., & Murry, J. N. (2021). Comparative evaluation of fracture resistance of newer restorative materials with conventional amalgam in Class II cavity preparation. *International Journal of Scientific Study*, 9(2), 33-37.
- Pameijer, C. H., Garcia-Godoy, F., Morrow, B. R., & Jefferies, S. R. (2015). Flexural strength and flexural fatigue properties of resin-modified glass ionomers. *Journal of Clinical Dentistry*, 26(1), 23-27.
- Par, M., Tarle, Z., Hickel, R., & Ilie, N. (2018). Dentin Bond Strength of Experimental Composites Containing Bioactive Glass: Changes During Aging for up to 1 Year. *Journal of adhesive dentistry*, 20(4), 325-334.
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 51-68.
- Pereira-Cenci, T., Cenci, M. S., Fedorowicz, Z., & Marchesan, M. A. (2009). Antibacterial agents in composite restorations for the prevention of dental caries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3.
- Pulpdent XP-V-IN-09w. (2015). PULPDENT® ACTIVA™ BioACTIVE Dual Cure Products. *ACTIVATM BioACTIVE Dual Cure Products*, 2.
- Ramírez-Barrantes, J. C., & Quesada-Rojas, F. J. (2023). Biomechanical and chemical behavior of various bioactive materials in class II restorations. *Odovtos International Journal of Dental Sciences*, 25(1), 44-57.
- Reel, D. C., & Mitchell, R. J. (1989). Fracture resistance of teeth restored with class II composite restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 61(2), 177-180.
- Ruengrungsom, C., Burrow, M. F., Parashos, P., & Palamara, J. E. (2020). Evaluation of F, Ca, and P release and microhardness of eleven ion-leaching restorative materials and the recharge efficacy using a new Ca/P containing fluoride varnish. *Journal of Dentistry*, 102, 103474.
- Ruengrungsom, C., Burrow, M. F., Parashos, P., & Palamara, J. E. (2021). Comprehensive characterisation of flexural mechanical properties and a new classification for porosity of 11 contemporary ion-leaching dental restorative materials. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 121, 104615.
- Skallefold, H. E., Rokaya, D., Khurshid, Z., & Zafar, M. S. (2019). Bioactive glass applications in dentistry. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), 1-24.
- Souza-Junior, E. J., Prieto, L. T., Araújo, C. T. P., & Paulillo, L. A. M. S. (2012). Selective enamel etching: Effect on marginal adaptation of self-etch led-cured bond systems in aged Class I composite restorations. *Operative Dentistry*, 37(2), 195-204.

- Tarle, Z., & Par, M. (2018). Bioactive dental composite materials. Rad Hrvatske Akademije Znanosti i Umjetnosti. *Medicinske Znanosti*, 533(43), 83-100.
- Vale W. A. (1956). Cavity preparation. *Irish Dent Rev*, 2, 33-41.
- Valizadeh, S., Moradi, A., Mirazei, M., Amiri, H., & Kharazifard, M. J. (2019). Microshear bond strength of different adhesive systems to dentin. *Frontiers in Dentistry*, 16(4), 265-271.
- Van Dijken, J. W., Pallesen, U., & Benetti, A. (2019). A randomized controlled evaluation of posterior resin restorations of an altered resin modified glass-ionomer cement with claimed bioactivity. *Dental Materials*, 35(2), 335-343.
- Yun, J., Burrow, M. F., Matinlinna, J. P., Wang, Y., & Tsoi, J. K. H. (2022). A Narrative Review of Bioactive Glass-Loaded Dental Resin Composites. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(4), 208.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2024 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).