

ผลของความหนาของโครงแบบซิลิโคนแบบใสต่อความแข็งผิว ระดับจุลภาคของชิ้นงานบูรณะชั่วคราวเรซินคอมโพสิต

Effect of Clear Silicone Matrix Thickness on Microhardness of Composite Resin Provisional Restoration

อภิชาติ ลีนาณรุักษ์¹, มะลิ พลานูเวช²

¹นิสิตหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

²ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

Apichard Leenanuraksa¹, Mali Palanuwech²

¹Postgraduate Student in Master of Science (Dentistry)

²Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry Srinakharinwirot University

ชม.ทันตสาร 2556; 34(2) : 61-70

CM Dent J 2013; 34(2) : 61-70

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความหนาของโครงแบบซิลิโคนแบบใสต่อความแข็งผิวจุลภาคแบบนูนของชิ้นงานบูรณะชั่วคราวเรซินคอมโพสิต ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสง กลุ่มตัวอย่างถูกแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามความหนาของโครงแบบซิลิโคนแบบใส ได้แก่ กลุ่มที่ไม่ใช้ซิลิโคน กลุ่มที่ใช้ซิลิโคนหนา 2 4 และ 6 มิลลิเมตรตามลำดับ โดยซิลิโคนแบบใสทำหน้าที่เป็นวัสดุกั้นระหว่างหลอดไฟแก้วนำแสงและชิ้นงานบูรณะชั่วคราว ภายหลังชิ้นงานบูรณะชั่วคราวฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที เปรียบเทียบความแข็งผิวแบบนูนของชิ้นงานบูรณะชั่วคราวด้วยเครื่องทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคในแต่ละกลุ่มตัวอย่างที่ความลึก 0

Abstract

The objective of this study was to study the effect of the clear silicon matrix thickness on knoop microhardness of dual-cured composite resin provisional restoration. The samples were divided into four groups according to the thickness of the clear silicone : no silicone, 2, 4 and 6 mm respectively used as a barrier between the optical fiber of light curing unit and provisional restoration. The samples were treated with a visible light curing unit for 40 seconds. The Knoop hardness number was compared with microhardness tester in each sample at a depth of

Corresponding Author:

อภิชาติ ลีนาณรุักษ์

ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันต
แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

Apichard Leenanuraksa

Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University,
Bangkok 10110, Thailand.

Tel. 08-1530-0094 E-mail: modzzz_072@hotmail.com

2 4 และ 6 มิลลิเมตรด้วยแรงกดขนาด 25 กรัม นาน 10 วินาที นำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ผลการศึกษาพบว่าความหนาของซิลิโคนแบบใสมีผลต่อความแข็งผิวแบบนูนของวัสดุที่ระดับความลึกของวัสดุ 0 มิลลิเมตร แต่ไม่มีผลต่อความแข็งผิวแบบนูนของวัสดุที่ระดับความลึก 2 4 และ 6 มิลลิเมตรระหว่างบางกลุ่มตัวอย่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นการใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใสผลิตงานบูรณะชั่วคราวจำเป็นต้องมีการฉายแสงเพิ่มเติมด้วยเครื่องฉายแสงเพื่อให้วัสดุมีความแข็งแรงมากขึ้นก่อนให้ผู้ป่วยใช้งานจริง

คำสำคัญ: ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงจากพันธะคู่เป็นพันธะเดี่ยว ชิ้นงานบูรณะชั่วคราว ซิลิโคนแบบใส ความแข็งผิวระดับจุลภาค

0, 2, 4 and 6 mm. with a load of 25 gram for 10 seconds. The microhardness tested were analyzed with a two-way analysis of variance. The result of this study, the clear silicone thickness significantly affected the knoop hardness number of the provisional restoration at the depth of 0 mm ($p < 0.05$). But the clear silicone thickness were not affected the provisional restoration at the depth of 2, 4, and 6 mm between some groups ($p < 0.05$). Application of clear silicone as a matrix for fabricating provisional restorations clinically need to have more exposure time of light from light curing unit for increasing the hardness when the patient clinically used.

Keywords: Degree of conversion, Provisional restoration, Clear silicone, Microhardness

บทนำ

วัสดุทำครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวในปัจจุบัน ได้แก่ โลหะผสม เรซินชนิดโพลีคาร์บอนเนต เรซินชนิดเมทาคริลิต และเรซินคอมโพสิต⁽¹⁾ ครอบฟันชั่วคราวโลหะผสมและเรซินชนิดโพลีคาร์บอนเนตเป็นครอบฟันชั่วคราวผลิตสำเร็จรูปจากผู้ผลิต ครอบฟันชั่วคราวโลหะผสมได้แก่ ครอบฟันชั่วคราวอะลูมิเนียม ครอบฟันเหล็กไร้สนิม ครอบฟันดีบุกผสมเงินหรือดีบุกผสมบิสมาท ข้อดีของวัสดุโลหะผสมคือมีความแข็งแรงเพียงพอในการใช้งานระยะยาว ข้อเสียคือต้องมีการปรับแต่งและเสริมขอบให้พอดีกับฟันหลักจึงไม่สามารถทำให้ขอบแนบสนิทและเนื่องจากสีของโลหะจึงจำกัดการใช้งานเฉพาะฟันหลัง⁽²⁾ ครอบฟันชั่วคราวเรซินชนิดโพลีคาร์บอนเนตมีคุณสมบัติโดยรวมเหนือกว่าเรซินชนิดเมทาคริลิต⁽³⁾ เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการความสวยงาม เช่น ฟันหน้า⁽²⁾ แต่ข้อเสียคือต้องมีการเสริมขอบร่วมด้วยเสมอเพื่อความแนบสนิทของชิ้นงานและมีราคาสูงกว่าวัสดุบูรณะชั่วคราวชนิด

อื่น⁽⁴⁾ วัสดุกลุ่มเรซินเมทาคริลิตเริ่มมีการใช้งานตั้งแต่ ค.ศ.1940 จนถึงปัจจุบัน เป็นวัสดุที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดและใช้งานได้หลากหลายวิธี เช่น สามารถทำชิ้นงานบูรณะชั่วคราวโดยตรงในช่องปากโดยการผสมแล้วปั้นแต่งวัสดุกับฟันหลักโดยตรงหรือใช้โครงแบบเป็นแบบพิมพ์กับฟันหลักในช่องปาก สองวิธีดังกล่าวมีข้อดีคือสะดวกและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคืออันตรายต่อโพรงประสาทฟันจากการคายความร้อนเมื่อวัสดุบ่มตัว การทำงานบูรณะชั่วคราวภายนอกช่องปากแล้วนำมาเสริมฐานบนฟันหลักจึงปลอดภัยกว่าแต่มีข้อเสียคือใช้เวลามากกว่าในการเตรียมชิ้นงาน⁽⁵⁾ เรซินคอมโพสิตถูกนำมาใช้งานในทางทันตกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970⁽⁶⁾ สามารถใช้ทำวัสดุบูรณะชั่วคราวได้ทางตรงในช่องปากร่วมกับโครงแบบหรือทางอ้อมภายนอกช่องปาก มีคุณสมบัติโดยรวมเหนือกว่า เรซินเมทาคริลิต เช่น คุณสมบัติทางกล มีความสวยงาม สามารถเลือกสีได้⁽⁷⁾ การคายความร้อนจากการบ่มตัวน้อยกว่า⁽⁸⁾ ระบายเคืองต่อโพรงประสาท

พื้นน้อยกว่าและมีมอเมออร์ส่วนเกินตกค้างน้อย⁽¹⁾ เรซินคอมโพสิตสามารถแบ่งตามลักษณะการบ่มตัวได้ 3 แบบ คือ การบ่มตัวด้วยตัวเอง การบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสงและการบ่มตัวด้วยการฉายแสง วัสดุกลุ่มที่บ่มตัวด้วยการฉายแสงมีคุณสมบัติทางกลที่มีความแข็งแรงเพียงพอทนแรงบดเคี้ยวทันทีหลังการฉายแสงเสร็จ⁽⁹⁾ กระบวนการบ่มตัวด้วยการฉายแสงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น ความเข้มแสงของเครื่องฉายแสง ระยะเวลาการฉายแสง และระยะห่างระหว่างปลายใยแก้วนำแสงจนถึงวัสดุเป็นต้น⁽¹⁰⁻¹³⁾ ทั้งนี้การเกิดการบ่มตัวมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ความแข็งผิว⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ เป็นต้น

การใช้โครงแบบสำหรับใช้ทำครอบฟันชั่วคราวทำโดยการลอกเลียนฟันหลักจากแบบจำลองฟันก่อนการรักษาของผู้ป่วย หรือ ฟันหลักที่ผ่านการตกแต่งด้วยซีเมนต์ยิบซัม หรือ เรซินชนิดเมทาคริลิต⁽⁵⁾ วัสดุที่ใช้เป็นโครงแบบได้แก่ พลาสติกแผ่นใสร่วมกับการใช้ความร้อนและเครื่องดูดสูญญากาศ⁽¹⁷⁾ วัสดุพิมพ์ปาก⁽¹⁾ และวัสดุบันทึกการกัดสบฟันซิลิโคนใสชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง⁽¹⁸⁾ พลาสติกแผ่นใสมีข้อดีคือมีความใสสามารถฉายแสงทะลุผ่านได้ และมีความคงทนต่อการฉีกขาด⁽¹⁹⁾ ข้อเสียคือขั้นตอนการผลิตซับซ้อนและจำเป็นต้องมีเครื่องดูดสูญญากาศ วัสดุพิมพ์ปาก เช่น วัสดุพิมพ์ปากประเภทอีลาสโทเมอร์และไฮโดรคอลลอยด์ผันกลับไม่ได้ วัสดุอีลาสโทเมอร์มีคุณสมบัติโดยรวมเหมาะกับการเป็นโครงแบบแต่มีข้อเสียคือมีราคาสูง ไฮโดรคอลลอยด์ผันกลับไม่ได้มีข้อดีคือราคาถูกและช่วยลดอุณหภูมิจากการคายความร้อนของวัสดุบูรณะชั่วคราวเมื่อบ่มตัว⁽⁵⁾ ข้อเสียคือมีความคงทนต่อการฉีกขาดต่ำและเปลี่ยนรูปร่าง⁽¹⁾ วัสดุบันทึกการสบฟันซิลิโคนใสชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองมาประยุกต์ใช้เป็นโครงแบบในทางทันตกรรม⁽²⁰⁾ ข้อดีของวัสดุชนิดนี้มีลักษณะใส โปร่งแสง มีความคงทนต่อการฉีกขาด ขั้นตอนการเตรียมง่าย และสามารถเตรียมขึ้นงานวัสดุบูรณะชั่วคราวโดยตรงในช่องปากผู้ป่วยและภายนอกช่องปาก⁽¹⁸⁾

การนำวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสงมาใช้งานจำเป็นต้องมีโครงแบบที่ทำมาจากวัสดุลักษณะใสเพื่อให้แสงจากเครื่องฉายแสงผ่านไปสู่วัสดุทำขึ้นงานบูรณะชั่วคราวเพื่อเกิดการบ่มตัวอย่างรวดเร็วและเพียงพอ มีรายงานถึงการนำโครงแบบซิลิโคน

แบบใสมาใช้ยึดลวดเพื่อคงสภาพฟันหลังจากการจัดฟันเรียบร้อยแล้ว⁽¹⁸⁾ แต่ยังไม่มียารายงานถึงผลของความหนาของโครงแบบซิลิโคนแบบใสต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราว ทั้งนี้ความหนาของโครงแบบซิลิโคนดังกล่าวอาจมีผลต่อปัจจัยการบ่มตัว เช่น ความเข้มแสง ระยะทางและระยะเวลาในการฉายแสง เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของความหนาของซิลิโคนแบบใสต่อความแข็งผิวระดับจุลภาคของวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสงโดยมีสมมุติฐานของงานวิจัยคือความหนาของซิลิโคนชนิดใสไม่มีผลต่อความแข็งผิวของวัสดุบูรณะชั่วคราว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

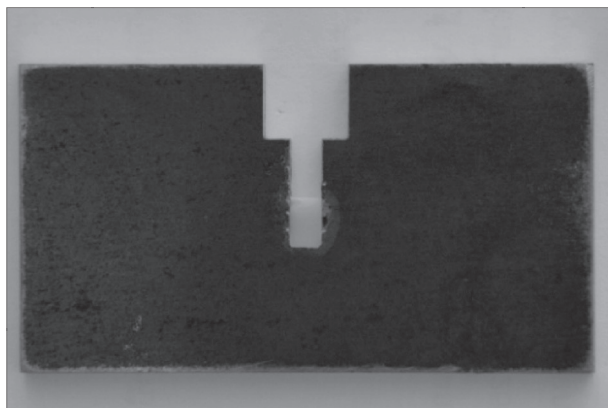
วัสดุอุปกรณ์

วัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นวัสดุประเภทบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสง (Temp Span[®] shade A2 ; Pentron, Wallingford, CT, USA) โดยวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวดังกล่าวและซิลิโคนแบบใส (Memosil2[®], Heraeus Kulzer, Hanau, Germany) (ตารางที่ 1) เตรียมด้วยแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พี (L&P mold, เลขที่สิทธิบัตร 1001000915) (รูปที่ 1) ด้วยเทคนิคแอลแอนด์พี (เลขที่สิทธิบัตร 1103000789) การฉายแสงเพื่อให้เกิดการบ่มตัวด้วยเครื่องฉายแสง (PEKALUX[®], 3M, USA) โดยเครื่องฉายแสงทำการวัดความเข้มแสงด้วยอุปกรณ์วัดความเข้มแสงชนิดพกพา (Light intensity Meter, Dentamerica[®], CA, USA) นำตัวอย่างทั้งหมดไปทดสอบความแข็งผิวระดับจุลภาคด้วยเครื่องวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (MHT-10[®] Micro-hardness Tester, Anton Paar GMBH, Austria)

วิธีการ

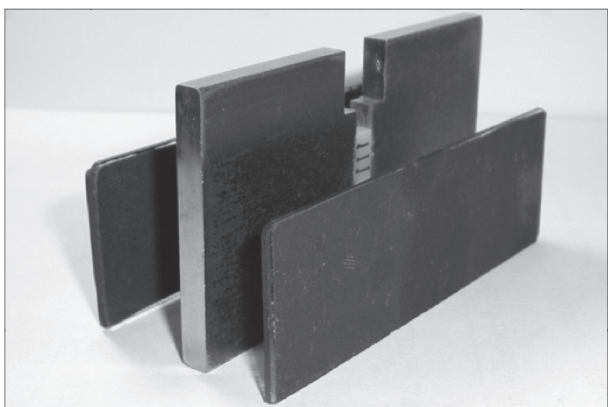
ทดสอบความเข้มแสงของเครื่องฉายแสงด้วยอุปกรณ์วัดความเข้มแสงชนิดพกพาซึ่งเครื่องฉายแสงควรมีความเข้มแสงอยู่ในช่วง 400-800 mW/cm²⁽²¹⁾

เตรียมวัสดุอุปกรณ์ได้แก่ แม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีและแผ่นกระจกทึบแสงจำนวน 2 แผ่น (รูปที่ 2) แม่แบบ



รูปที่ 1 แม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พี (เลขที่สิทธิบัตร 1001000915)

Figure 1 L&P mold (Patent No.1001000915)



รูปที่ 2 ภาพมุมเฉียงแสดงแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีวางระหว่างแผ่นกระจกทึบ 2 แผ่น

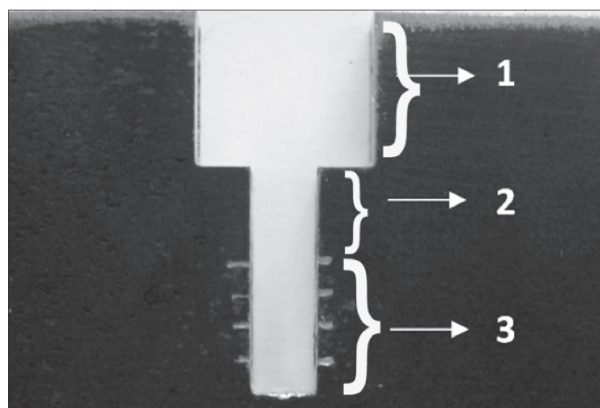
Figure 2 Oblique angle view of L&P mold between 2 opaque glass slaps

ช่องว่างแอลแอนด์พีมีลักษณะเป็นโลหะทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 40x75x4 มิลลิเมตรมีช่องกึ่งกลาง ช่องดังกล่าวประกอบด้วย 3 ส่วน (รูปที่ 3) ได้แก่ 1.ส่วนบน คือบริเวณสำหรับวางปลายหลอดใยแก้วนำแสงของเครื่องฉายแสงเพื่อกำหนดระยะห่างของปลายหลอดใยแก้วนำแสงกับชิ้นงานบูรณะชั่วคราวที่บรรจุในส่วนปลายให้มีระยะคงที่ 6 มิลลิเมตร 2.ส่วนกลางมีความยาว 6 มิลลิเมตร เป็นบริเวณสำหรับวางซิลิโคนแบบใสเพื่อคั่นกลางกับวัสดุที่อยู่ส่วนปลาย 3.ส่วนปลายมีความยาว 8 มิลลิเมตร เป็นช่องสำหรับเตรียมชิ้นงานบูรณะชั่วคราวและยึดชิ้นงาน

ตารางที่ 1 แสดงวัสดุที่ใช้ในการศึกษาและส่วนประกอบของวัสดุ

Table 1 Materials and compositions

วัสดุ	ส่วนประกอบ	ผู้ผลิต
Tempspan® Shade A2	EBPADMA, UDMA, BIS-GMA, HEMA, Methacrylate Phosphate, CQ Benzoyl Peroxide, Tertiary Amines	Pentron, Wallingford, CT, USA
Memosil2®	Polydimethylsiloxane, vinyl terminated, Cross-linking agent, Dye, vinyl terminated Silicon resin	Heraeus Kulzer, Hanau, Germany



รูปที่ 3 ภาพขยายช่องกึ่งกลางของแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีโดยหมายเลข 1, 2 และ 3 คือส่วนบนกลางและปลาย

Figure 3 Close up view of L&P mold chamber : number 1, 2 and 3 represent the upper, middle and lower part.

บูรณะชั่วคราวไว้เมื่อวัดความแข็งผิวแบบนูน

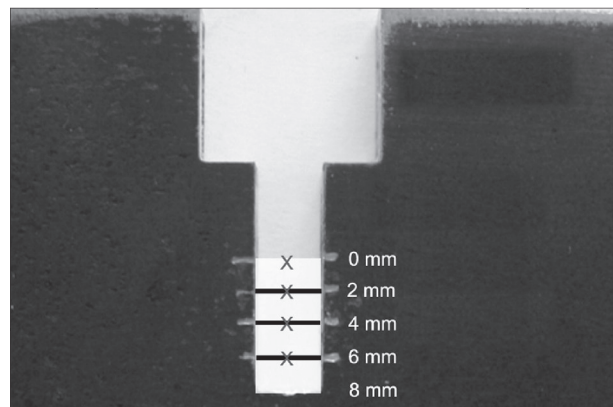
การเตรียมวัสดุด้วยเทคนิคแอลแอนด์พีมีสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 เตรียมโครงแบบซิลิโคนแบบใส 3 ระดับความสูงได้แก่ 2 4 และ 6 มิลลิเมตร ด้วยการฉีดวัสดุผ่านอุปกรณ์ผสมอัตโนมัติลงช่องกึ่งกลางแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีในส่วนปลาย 8 มิลลิเมตรที่ได้ประกบกระจกแก้วทึบแสงไว้ ทำการปาดผิวของวัสดุด้านบนให้เรียบด้วย Cement Spatular รอจนวัสดุบ่มตัวนาน 180 วินาทีแล้วนำวัสดุออกจากแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์

พีและตัดครึ่งส่วนเกินของโครงแบบซิลิโคนใสด้วยใบมีดตัดกระดาษให้มีระดับความสูง 2 4 และ 6 มิลลิเมตร ซิลิโคน ใสจะใช้ 1 ครั้งต่อการเตรียมชิ้นงานบูรณะชั่วคราว 1 ครั้งและทำซิลิโคนใสชิ้นใหม่ทุกครั้งเตรียมชิ้นงานบูรณะชั่วคราวชิ้นใหม่ ขั้นตอนที่ 2 เตรียมชิ้นงานบูรณะชั่วคราวดังนี้ 1.ประกบกระจกทึบแสงสูงเสมอกับช่องว่างแอลแอนด์พีส่วนปลาย 8 มิลลิเมตร ฉีดวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวผ่านอุปกรณ์ผสมอัตโนมัติลงแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีส่วนปลาย 8 มิลลิเมตรและกำจัดวัสดุส่วนเกินที่ล้นจากขอบด้านบนของกระจกทึบแสงด้วย Cement Spatular 2.วางโครงแบบซิลิโคนแบบใสที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 1 ลงในช่องกลางความยาว 6 มิลลิเมตรโดยส่วนปลายของโครงแบบซิลิโคนแบบใสสัมผัสกับผิวของวัสดุบูรณะชั่วคราวซึ่งบรรจุอยู่ในส่วนปลาย 8 มิลลิเมตรของแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พี 3.วางปลายหลอดใยแก้วนำแสงให้พอดีกับส่วนบนของแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีและฉายแสงนาน 40 วินาที 4.นำกระจกทึบแสงที่ประกบแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีออกแล้วนำแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีพร้อมกับชิ้นงานบูรณะชั่วคราวที่ฝังอยู่ในวัสดุความแข็งผิวระดับจุลภาคและบันทึกผล ควบคุมระยะเวลาตั้งแต่การผสมวัสดุบูรณะชั่วคราวจนถึงการบันทึกผลทั้งสิ้นไม่เกิน 180 วินาทีเพื่อลดผลกระทบจากการบ่มตัวด้วยตัวเองของวัสดุบูรณะชั่วคราว จากนั้นจึงทำการเตรียมซิลิโคนใสชิ้นใหม่ตามเทคนิคแอลแอนด์พีในขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวในขั้นตอนที่ 2 วัดความแข็งผิวระดับจุลภาคและบันทึกผลจนครบทุกกลุ่มตัวอย่าง

การวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคด้วยเทคนิคแอลแอนด์พีวัดค่าความแข็งผิวด้านข้างส่วนที่สัมผัสกับกระจกทึบ

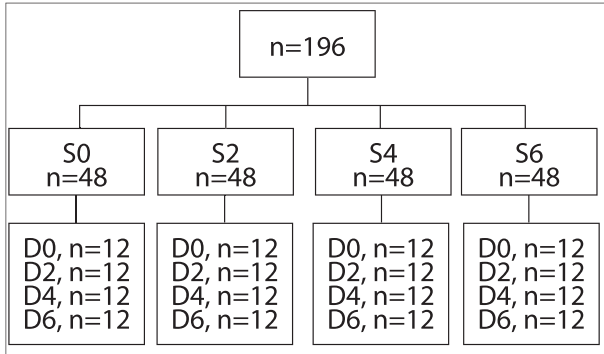
กลุ่มตัวอย่างชิ้นงานบูรณะชั่วคราวทั้งหมดมี 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม 1 เตรียมขึ้นโดยไม่ใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใสคั่นกลาง (S0) กลุ่ม 2 ใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใสหนา 2 มิลลิเมตร (S2), กลุ่ม 3 ใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใสหนา 4 มิลลิเมตร (S4) และ กลุ่ม 4 ใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใสหนา 6 มิลลิเมตร (S6) โดยวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวที่เตรียมเสร็จจะฝังอยู่ในแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีมีขนาด 4x8x4 มิลลิเมตรจำนวนกลุ่มละ 12 ตัวอย่าง กลุ่ม

ตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม (S0 S2 S4 และ S6) แบ่งย่อยในแต่ละกลุ่มเป็น 4 กลุ่มย่อยตามตำแหน่งที่ทดสอบค่าความแข็งผิว ได้แก่ ตำแหน่งกึ่งกลางของวัสดุที่มีความลึกจากผิว 0 มิลลิเมตร (D0) 2 มิลลิเมตร (D2) 4 มิลลิเมตร (D4) และ 6 มิลลิเมตร (D6) (รูปที่ 4) การทดลองนี้มีจำนวนตัวอย่างกลุ่มละ 48 รวมเป็นจำนวน 192 ตัวอย่าง แบ่งกลุ่มย่อย 16 กลุ่มย่อย (รูปที่ 5) วัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวที่ถูกเตรียมขึ้นภายใน แม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พีจะนำไปวัดความแข็งผิวระดับจุลภาค (MHT-10[®] Microhardness Tester, Anton Paar GMBH, Austria) ทันทีหลังจากฉายแสง 40 วินาที ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของวัสดุในแต่ละระดับความลึก (D0 D2 D4 และ D6) ด้วยแรงกดน้ำหนัก 25 กรัม นาน 10 วินาที รอยกดที่ปรากฏวัดผ่านกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแบบสองทางและเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วยวิธีทูกี้ (Tukey multiple comparison test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 4 แสดงการกำหนดวัสดุชิ้นงานบูรณะออกเป็น 4 ส่วน โดยการขีดเส้นในแนวนอนจำนวน 3 เส้นห่างกัน 2 มิลลิเมตร ในส่วนปลายของแม่แบบช่องว่างแอลแอนด์พี ภาพทแสดงตำแหน่งรอยกด

Figure 4 The sample is divided into four parts by underscore 3 horizontal lines separating each line 2 mm at the lower part of the L&P mold. Cross present the indentation position.



รูปที่ 5 แสดงการแจกแจงจำนวนของตัวอย่างทั้ง 16 กลุ่ม
Figure 5 Show the Distribution of 16 samples group

ผลการศึกษา

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูนปสูงสุดคือกลุ่ม S0D0 มีค่าเท่ากับ 18.65 KHN ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.86 ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูนปที่ต่ำที่สุดคือกลุ่ม S6D6 มีค่าเท่ากับ 3.80 KHN ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.50

เมื่อทดสอบการกระจายสู่ส่วนกลางด้วยสถิติโคโมโกลอฟ สไมนอฟ (Kolmogorov-Sminov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติเลวิน (Levene's test) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวปกติและมีความแปรปรวนเท่ากันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางเพื่อทดสอบอิทธิพลของปัจจัยจากระดับความลึกของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวและความหนาของซิลิโคนแบบใส พบว่าผลของความหนาซิลิโคนแบบใส ระดับของความลึกของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวและอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยล้วนมีอิทธิพลต่อความแข็งผิวแบบนูนปที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบเชิงซ้อนเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทีก็ตามตารางที่ 2 พบว่าที่ในกลุ่ม S0 S2 S4 และ S6 มีความแข็งผิวสูงที่สุดที่ระดับความลึกของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราว 0 มิลลิเมตรและมีความแข็งผิวแบบนูนปลดลงในระดับความลึกมากขึ้นโดยแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อพิจารณาที่ระดับความลึกของวัสดุที่ 2 4 และ 6 มิลลิเมตร พบว่าไม่มีแตกต่างของความแข็งผิวแบบนูนปที่นัยสำคัญ 0.05 ของ S0D2 และ S2D0 S0D4

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งผิวระดับจุลภาค ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและผลการเปรียบเทียบทางสถิติของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวทั้ง 16 กลุ่ม

Table 2 Mean, standard deviation and comparing result of each group

ความหนาของซิลิโคนชนิดใส	ระดับความลึกของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราว			
	D0 (0 mm)	D2 (2 mm)	D4 (4 mm)	D6 (6 mm)
S0 (0 mm)	18.65(0.86) ^a	14.06(0.93) ^b	10.57(0.84) ^{c,d}	8.27(0.86) ^e
S2 (2 mm)	14.66(0.88) ^b	10.31(0.85) ^{c,f}	7.62(0.82) ^g	4.60(0.71) ^h
S4 (4 mm)	13.03(0.92) ⁱ	9.70(0.89) ^f	6.53(0.47) ^j	3.89(0.47) ^k
S6 (6 mm)	11.08(1.09) ^d	8.16(0.82) ^e	6.53(0.81) ^j	3.80(0.50) ^k

หมายเหตุ การเปรียบเทียบทางสถิติอธิบายไว้ดังนี้

- อักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันแสดงความไม่แตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูนป ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- ตัวเลขในวงเล็บแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็งผิวแบบนูนปเป็นร้อยละโดยเปรียบเทียบกับ S0D0 ของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราวทั้ง 16 กลุ่ม

Table 3 Percentage of the knoop hardness comparing with group S0D0 in each group

ความหนาของซิลิโคนชนิดใส	ระดับความลึกของวัสดุชิ้นงานบูรณะชั่วคราว			
	D0 (0 mm)	D2 (2 mm)	D4 (4 mm)	D6 (6 mm)
S0 (0 mm)	100	75	56	44
S2 (2 mm)	78	55	40	24
S4 (4 mm)	59	51	35	20
S6 (6 mm)	59	43	35	20

และ S2D2 S0D4 และ S6D0 S0D6 และ S6D2 S2D2 และ S4D2 S4D4 และ S6D4 S4D6 และ S6D6

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูนปในทุกกลุ่มตัวอย่างเป็นร้อยละโดยเปรียบเทียบกับค่าความแข็งผิวแบบนูนปที่ S0D0 ซึ่งเป็นกลุ่มควบคุมตามตารางที่ 3 พบว่าไม่มีกลุ่มตัวอย่างใดที่มีร้อยละของค่าเฉลี่ยความแข็งผิวแบบนูนปเกินร้อยละ 80

บทวิจารณ์

การบ่มตัวของวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวชนิดเรซินคอมโพสิตทำได้หลายวิธี วิธีที่เที่ยงตรงและเป็นที่ยอมรับได้แก่ เอฟทีไออาร์ (FTIR : Fourier transform infrared spectroscopy)⁽¹⁴⁾ แต่ข้อเสียของวิธีการดังกล่าวคือมีความยุ่งยากซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลานาน ส่วนวิธีทดสอบความแข็งผิวซึ่งเป็นวิธีทางอ้อม เช่น การทดสอบความแข็งผิวแบบนูป (Knoop hardness test) สามารถนำไปเปรียบเทียบกับระดับการเกิดการบ่มตัวได้ Ferracane และคณะปี ค.ศ. 1984 รายงานผลการศึกษาพบว่าความแข็งผิวของเรซินคอมโพสิตและระดับการบ่มตัวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน การทดสอบความแข็งผิวทำได้ง่าย มีความซับซ้อนในการทดลองน้อยและใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคเอฟทีไออาร์^(15,16) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทดสอบวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวด้วยความแข็งผิวระดับจุลภาคแทนเทคนิคเอฟทีไออาร์

วัสดุเรซินคอมโพสิตประเภทบ่มตัวด้วยตนเองร่วมกับฉายแสงมีข้อดีคือมีกลไกการบ่มตัวถึง 2 ชนิด ประกอบด้วยชนิดบ่มตัวด้วยตนเองและชนิดบ่มตัวด้วยแสง จึงสามารถบ่มตัวได้แม้ไม่ฉายแสงได้อย่างทั่วถึง เช่น ฟันแขวน (Pontic) ของสะพานฟันชั่วคราว แต่กลไกการบ่มตัวด้วยตนเองมักเกิดขึ้นช้าและเฉพาะกลไกการบ่มตัวด้วยตนเองเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอให้เรซินคอมโพสิตเกิดการบ่มตัวได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับใช้การฉายแสงร่วมด้วย⁽²²⁻²⁵⁾ จึงแนะนำให้ฉายแสงร่วมด้วยเสมอ⁽¹⁰⁾ แต่ทั้งนี้มิงานวิจัยที่รายงานผลการทดลองที่แตกต่างโดย Tobias และคณะในปี ค.ศ. 2011 รายงานผลการทดสอบวัสดุแกนเรซิน คอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยตนเองร่วมกับการฉายแสงพบว่าไม่มีความแตกต่างกันของความแข็งผิวแบบนูปเมื่อเวลาผ่านไป 14 วันเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการฉายแสงที่แตกต่างกัน⁽²⁶⁾ ฉะนั้นการบ่มตัวด้วยตนเองมีประสิทธิภาพดีเมื่อให้เวลานานพอ นอกจากนี้วัสดุแต่ละชนิดมีองค์ประกอบที่ต่างกันตามบริษัทผู้ผลิตจึงยากที่จะชี้ชัดถึงเวลาที่เหมาะสมการทดลองนี้เพื่อควบคุมปัจจัยของการบ่มตัวด้วยตัวเองของวัสดุผู้วิจัยจึงทดสอบความแข็งผิวแบบนูปทันทีหลังจากการฉายแสงโดยควบคุมเวลาในการทดลองตั้งแต่เริ่ม

ผสมจนเสร็จสิ้นการวัดความแข็งผิวเป็นเวลาไม่เกิน 180 วินาทีเพื่อลดผลกระทบจากการบ่มตัวด้วยตนเองของวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวให้น้อยที่สุด งานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งที่ประเด็นของประสิทธิภาพการเกิดการบ่มตัวจากกลไกการบ่มตัวด้วยตนเองของวัสดุทำขึ้นงานบูรณะชั่วคราวในระยะยาว แต่ปัจจัยดังกล่าวอาจมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของวัสดุทำขึ้นงานบูรณะชั่วคราวจึงควรมีการทดสอบเพิ่มเติมต่อไป

ปัจจัยของระยะห่างระหว่างปลายแท่งใยแก้วนำแสงและผิววัสดุมีผลต่อความลึกของการบ่มตัว (Depth of cure)⁽²⁷⁾ ซึ่งในการทดสอบนี้มีการกำหนดระยะห่างที่คงที่ระหว่างปลายแท่งใยแก้วนำแสงและผิวของวัสดุเป็นระยะห่าง 6 มิลลิเมตรเพื่อเป็นที่อยู่สำหรับซิลิโคนแบบใสที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้ระยะห่างดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยที่จำลองสถานการณ์เมื่อต้องทำการฉายแสงลงภายในพื้นโพรงฟันที่ลึก^(27,28) เช่น เมื่อเตรียมโพรงฟันสำหรับการบูรณะฟันด้านประชิดซึ่งพื้นโพรงฟันอยู่ลึกถึงขอบเหงือกจะพบว่าระยะจากปลายใยแก้วนำแสงและโพรงฟันดังกล่าวอาจมีระยะห่างได้ถึง 10 มิลลิเมตร⁽²⁹⁾ ทั้งนี้การกำหนดระยะห่างที่ 6 มิลลิเมตรไม่เหมือนกับสถานการณ์ใช้งานจริงในคลินิกเพราะในการทำงานจริงนิยมวางปลายหลอดใยแก้วนำแสงให้ชิดติดกับโครงแบบ จึงควรมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ทราบว่าปัจจัยจากระยะห่างดังกล่าวมีผลต่อความแข็งผิวของขึ้นงานบูรณะชั่วคราวหรือไม่ต่อไป

แม้แบบช่องว่างแอลแอนด์ฟ็อกแบบเพื่อควบคุมปัจจัยของระยะห่างของปลายหลอดใยแก้วนำแสงและผิวของวัสดุบูรณะชั่วคราว และควบคุมขนาดของขึ้นงานบูรณะให้มีขนาดเท่ากันในส่วนปลายของแม่แบบ เทคนิคแอลแอนด์ฟ็อกค่าความแข็งผิวที่ผิวด้านข้างที่สัมผัสกับกระจกทึบแสง การวัดความแข็งผิวแบบนูปของวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวที่ตำแหน่ง 0 มิลลิเมตรจึงใช้ค่าความแข็งผิวที่ความลึก 0.25 มิลลิเมตรแทน

จากการทดลองพบว่าความหนาของซิลิโคนแบบใส นั้นไม่มีผลกับวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวที่ความลึกตั้งแต่ 2 มิลลิเมตรเป็นต้นไประหว่างกลุ่ม S0D2 และ S2D0 S0D4 และ S2D2 S0D4 และ S6D0 S0D6 และ S6D2 S2D2 และ S4D2 S4D4 และ S6D4 S4D6 และ

S6D6 ซิลิโคนแบบใสที่ใช้ทดสอบมีลักษณะโปร่งแสง และมีสีฟ้าอ่อน ความเข้มแสงที่ฉายลงวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวจึงอาจลดลงเมื่อเพิ่มความหนาของซิลิโคนแบบใสมีผลทำให้ความลึกของการบ่มตัวของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวนั้นลดลง เมื่อพิจารณาในสถานการณ์ที่ปฏิบัติจริงในคลินิกเมื่อทันตแพทย์ทำชิ้นงานบรูณะชั่วคราวให้แก่ผู้ป่วยเสร็จสิ้น กระบวนการบ่มตัวด้วยตนเองของชิ้นงานบรูณะชั่วคราวในส่วนที่มีความหนาจะยังไม่สมบูรณ์ในระยะแรกหลังการฉายแสงเช่น ส่วนโยง (Connector) และพอนทิกลส่งผลให้มีความแข็งแรงต่ำและอาจเกิดการแตกหักของสะพานฟันชั่วคราวเมื่อผู้ป่วยเคี้ยว ส่วนโยงของสะพานฟันชั่วคราวควรมีหนามากกว่า 4 มิลลิเมตรเพื่อดำเนินงานต่อการแตกหักโดยเฉพาะสะพานฟันชั่วคราวที่มีขนาดยาวหรือใช้วัสดุบรูณะชั่วคราวประเภทเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้วซึ่งมีความต้านทานต่อการหักสูงกว่า เรซินชนิดเมทาคริลิก และ เรซินคอมโพสิต⁽³⁰⁾ ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวัดความแข็งแรงแบบนูนของชิ้นงานบรูณะชั่วคราวที่สร้างขึ้นโดยใช้โครงแบบซิลิโคนแบบใส โดยพิจารณาในสถานการณ์เมื่อปฏิบัติจริงในคลินิกเมื่อทำชิ้นงานบรูณะชั่วคราวแก่ผู้ป่วยเสร็จสิ้น กระบวนการบ่มตัวด้วยตนเองของชิ้นงานบรูณะชั่วคราวในส่วนลึกสุดของวัสดุนั้นจะยังไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ชิ้นงานบรูณะชั่วคราวยังมีความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้นได้อีกเมื่อกระบวนการบ่มตัวด้วยตนเองได้ทำปฏิกิริยาจนเสร็จสิ้น ฉะนั้นการให้ข้อมูลแก่ผู้ป่วยให้ทราบถึงความแข็งแรงที่ต่ำในระยะแรกหลังจากการสร้างโดยวิธีตรงเป็นสิ่งที่ทันตแพทย์ควรแนะนำแก่ผู้ป่วย

มีงานวิจัยแนะนำว่าความลึกของการบ่มตัวของวัสดุประเภทเรซินคอมโพสิตในทางทันตกรรมที่เหมาะสม ควรมีค่าความแข็งแรงไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าความแข็งแรงสูงสุด^(12,31,32) งานวิจัยของ Moore และคณะ ปี 2008 และ Flury และคณะปี 2012 ศึกษาความลึกของการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ทางด้านทันตกรรมบรูณะโดยวัดจากความหนาของวัสดุที่ความแข็งแรงร้อยละ 80 ของค่าความแข็งแรงสูงสุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของการบ่มตัวจากการเตรียมวัสดุตาม ISO 4049 พบว่าเทคนิคตามมาตรฐาน ISO 4049 ให้ค่าความลึกของการบ่มตัวที่สูงกว่าการวัดความหนาของวัสดุที่ความแข็งแรง

ร้อยละ 80 ของค่าความแข็งแรงสูงสุด เพราะฉะนั้นการยึดแนวทางการประเมินความลึกของการบ่มตัวตามมาตรฐาน ISO 4049 อาจส่งผลทำให้ได้วัสดุที่เกิดการบ่มตัวต่ำซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุแตกต่างกัน^(12,31)

เมื่อพิจารณาหลักการที่ยอมรับว่าความลึกของการบ่มตัวของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 จะพบว่าการใช้ซิลิโคนแบบใสเป็นโครงแบบนั้นจะเป็นอุปสรรค เพราะจากงานวิจัยนี้ค่าความแข็งแรงแบบนูนที่สูงที่สุดจากการใช้ซิลิโคนแบบใสเป็นโครงแบบจะวัดได้มากที่สุดเพียงร้อยละ 75 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่วัดความแข็งแรงที่ระดับความลึก 0 มิลลิเมตรในสภาพที่ไม่ได้ใช้ซิลิโคนแบบใส แต่ทั้งนี้วัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับบ่มตัวด้วยการฉายแสงจะสามารถเกิดการบ่มตัวด้วยตนเองได้อย่างต่อเนื่องทำให้ความแข็งแรงนั้นสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้ในทางปฏิบัติเมื่อทำการแยกชิ้นงานบรูณะชั่วคราวออกจากโครงแบบซิลิโคนแบบใสทันตแพทย์สามารถทำการฉายแสงจากเครื่องฉายแสงฮาโลเจนให้แก่ชิ้นงานบรูณะชั่วคราวให้ทั่วทุกบริเวณเพิ่มได้อีกทางหนึ่ง

สรุปและข้อเสนอแนะ

ด้วยข้อจำกัดของงานศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าโครงแบบซิลิโคนแบบใสมีผลต่อความแข็งแรงแบบนูนของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองร่วมกับการฉายแสงที่ความลึกของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราว 0 มิลลิเมตร แต่ที่ความลึก 2 4 และ 6 มิลลิเมตรพบว่าโครงแบบซิลิโคนแบบใสไม่มีผลต่อความแข็งแรงแบบนูนของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราวระหว่างกลุ่มตัวอย่างบางกลุ่ม

ความหนาของโครงแบบซิลิโคนแบบใสมีโมซิลูมีผลลดระดับการเกิดการบ่มตัวของวัสดุชิ้นงานบรูณะชั่วคราว การนำซิลิโคนแบบใสมาประยุกต์เป็นโครงแบบทำครอบฟันและสะพานฟันชั่วคราวควรใช้ซิลิโคนแบบใสในระดับความหนาน้อยที่สุดและไม่ควรมีความหนาเกิน 2 มิลลิเมตร ควรฉายแสงโดยวางปลายหลอดไฟแก้วนำแสงชิดติดกับโครงแบบและทำการฉายแสงเพิ่มเติมหลังจากแยกชิ้นงานบรูณะชั่วคราวออกจากโครงแบบ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลของการ

ศึกษานี้กับผลของความแข็งผิวจากเตรียมวัสดุขึ้นงานบูรณะชั่วคราวโดยใช้โครงแบบที่มีลักษณะทึบแสง เช่น วัสดุพิมพ์ปากชนิดซิลิโคน เนื่องจากวัสดุพิมพ์ปากชนิดซิลิโคนใช้อย่างแพร่หลายมากกว่าซิลิโคนแบบใสและวัสดุขึ้นงานชั่วคราวในการทดสอบนี้เป็นชนิดบ่มตัวด้วยตนเองร่วมกับการฉายแสง จึงสามารถแข็งตัวโดยไม่ฉายแสงภายในเวลา 5 นาทีตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อ.ทพ.ธีรชัย ลิ้มปี่ลาวัฒน์ และ ทพญ.ดร.มะลิ พลานูเวช สำหรับการเป็นที่ปรึกษาคอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ด้วยความเคารพ

เอกสารอ้างอิง

- Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the committee on research in fixed prosthodontics of the academy of fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 2003; 90(5): 474-497.
- Lui JL, Setcos JC, Phillips RW. Temporary restorations: a review. *Oper Dent* 1986; 11(3): 103-110.
- King CJ, Young FA, Cleveland JL. Polycarbonate resin and its use in the matrix technique for temporary coverage. *J Prosthet Dent* 1973; 30(5): 789-794.
- Tebrock OC. Improving the fit of polycarbonate-resin crowns. *J Prosthet Dent* 1984; 51(3):435.
- Gratton DG, Aquilino SA. Interim restorations. *Dent Clin North Am* 2004; 48(2): 487-497.
- Frederick A R. From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. *J Prosthet Dent* 2002; 87(4): 364-379.
- Wang RL, Moore BK, Goodacre CJ, Swartz ML, Andres CJ. A comparison of resins for fabricating provisional fixed restorations. *Int J Prosthodont* 1989; 2(2): 173-184.
- Moulding MB, Teplitzky PE. Intrapulpal temperature during direct fabrication of provisional restorations. *Int J Prosthodont* 1990; 3(3): 299-304.
- Balkenhol M, Mautner MC, Ferger P, Wöstmann B. Mechanical properties of provisional crown and bridge materials: Chemical-curing versus dual-curing systems. *J Dent* 2008; 36(1): 15-20.
- Kwon TY, Bagheri R, Kim YK, Kim KH, Burrow MF. Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. *J Investig Clin Dent* 2012; 3(1): 3-16.
- Price RB, Felix CA. Effect of delivering light in specific narrow bandwidths from 394 to 515nm on the micro-hardness of resin composites. *Dent Mater* 2009; 25(7): 899-908.
- Moore BK, Platt JA, Borges G, Chu TM, Katsilieri I. Depth of cure of dental resin composites: ISO 4049 depth and micro-hardness of types of materials and shades. *Oper Dent* 2008; 33(4): 408-412.
- Calheiros FC, Daronch M, Rueggeberg FA, Braga RR. Degree of conversion and mechanical properties of a BisGMA:TEGDMA composite as a function of the applied radiant exposure. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2008; 84(2): 503-509.
- Jack L F, Greener EH. Fourier transform infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resins--methods comparison. *J Dent Res* 1984;63(8):1093-1095.
- Jack L F. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1985; 1(1): 11-14.

16. Diaz-Arnold AM, Dunne JT, Jones AH. Microhardness of provisional fixed prosthodontic materials. *J Prosthet Dent* 1999; 82(5): 525-528.
17. Papaspyridakos P, Lal K. Use of Vacuum-Formed Templates to Guide Tooth Preparation and Insertion of Interim Restorations. *J Prosthodont* 2010; 19(4): 303-306.
18. Campbell OJ, Panesar J, Winchester L, Noar J. A modified method of bonding lingual retainers. *J Clin Orthod* 2008; 42(2): 105-107.
19. Hsu KW, Shen YF. Fabrication of long-span provisional restorations with multiple pontics: a modified method by using a vacuum-formed matrix. *J Prosthet Dent* 1997; 78(5): 528.
20. Jeroff AA. Fabricating light-cured provisional restorations. *J Am Dent Assoc* 1997 Feb; 128(2): 230-231.
21. Theodore MR, Edward J, Swift Jr. Dental materials. In: Theodore MR, editor. *Sturdevants Art And Science of Operative Dentistry* 4th ed St.Lious: Mosby 2001: 197-199.
22. Kournetas N, Tzoutzas I, Eliades G. Monomer conversion in dual-cured core buildup materials. *Oper Dent* 2011; 36(1): 92-97.
23. Arrais CA, Kasaz Ade C, Albino LG, Rodrigues JA, Reis AF. Effect of curing mode on the hardness of dual-cured composite resin core build-up materials. *Braz Oral Res* 2010; 24(2): 245-249.
24. Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA. Kinetic analysis of monomer conversion in auto- and dual-polymerizing modes of commercial resin luting cements. *J Prosthet Dent* 2009; 101(2): 128-136.
25. Moraes RR, Brandt WC, Naves LZ, Correr-Sobrinho L, Piva E. Light- and time-dependent polymerization of dual-cured resin luting agent beneath ceramic. *Acta Odontol Scand* 2008; 66(5): 257-261.
26. Taubock TT, Buchalla W, Hildebrand U, Roos M, Krejci I, Attin T. Influence of the interaction of light- and self-polymerization on subsurface hardening of a dual-cured core build-up resin composite. *Acta Odontol Scand* 2011; 69(1): 41-47.
27. Aravamudhan K, Rakowski D, Fan PL. Variation of depth of cure and intensity with distance using LED curing lights. *Dent Mater* 2006; 22(11): 988-994.
28. Price RB, Derand T, Sedarous M, Andreou P, Loney RW. Effect of distance on the power density from two light guides. *J Esthet Dent* 2000; 12(6): 320-327.
29. Corciolani G, Vichi A, Davidson CL, Ferrari M. The influence of tip geometry and distance on light-curing efficacy. *Oper Dent* 2008; 33(3): 325-331.
30. Pfeiffer P, Grube L. Effect of pontic height on the fracture strength of reinforced interim fixed partial dentures. *Dent Mater* 2006; 22(12): 1093-1097.
31. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Husler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater* 2012; 28(5): 521-528.
32. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004; 29(6): 698-704.