

ผลของการแปรงฟันต่อความหยาบและความมันเงาพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิต

Effect of Tooth Brushing on Surface Roughness and Gloss of Nano Composites

ณิชภา ธนาดลพิจิต¹, ชัยวัฒน์ มณีบุษย์¹, ปาจารย์ สุนทรสวัสดิ์¹, พลิกา เหลืองเรืองรอง¹
 Nichapa Thanadolpigit¹, Chaiwat Maneenut¹, Pacharee Soonthornsawad¹, Palika Luangruangrong¹

¹ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหยาบและความมันเงาพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิตก่อนและหลังการจำลองการแปรงฟันด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (ฟิลเทกแซต350เอ็กซ์ที[®]) นาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®] และ ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) และไจโอเมอร์ (บิวติฟิล[®]) ผลิตภัณฑ์ละ 10 ชิ้น ขัดผิวด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (ซอพเพล็กซ์[®]) นำไปวัดค่าความหยาบพื้นผิวเริ่มต้นด้วยเครื่องโปรไฟล์มิเตอร์ชนิดสัมผัส และวัดความมันเงาเริ่มต้นด้วยเครื่องไมโครกลอสมิเตอร์ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทุกกลุ่มไปผ่านการจำลองการแปรงฟัน 10,000 รอบ 20,000 รอบ และ 40,000 รอบ ตามลำดับ เมื่อครบจำนวนรอบที่กำหนดนำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาวัดค่าความหยาบ ค่าความมันเงาพื้นผิว และสุ่มเลือกชิ้นตัวอย่าง 2 ชิ้น จากทุกกลุ่มไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง เมื่อมีการวัดซ้ำและการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณชนิดทุคีย์ กำหนดระดับนัยสำคัญที่ร้อยละ 95 ผลการศึกษาพบว่า เมื่อผ่านกระบวนการแปรงฟันวัสดุทุกผลิตภัณฑ์มีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยมากขึ้นและความมันเงาพื้นผิวเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (ฟิลเทกแซต350เอ็กซ์ที[®]) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด วัสดุไจโอเมอร์ (บิวติฟิล[®]) มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และพบว่าความหยาบพื้นผิวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความมันเงา สรุปได้ว่า วัสดุนาโนคอมโพสิตที่ผ่านกระบวนการจำลองการแปรงฟันมีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นและความมันเงาพื้นผิวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความหยาบพื้นผิวส่งผลต่อความมันเงาของวัสดุ

คำสำคัญ : การจำลองแปรงฟัน, ความมันเงาพื้นผิว, ความหยาบพื้นผิว, นาโนคอมโพสิต

Abstract

The aim of this study is to investigate surface roughness and gloss of nanocomposite materials before and after several periods of tooth brushing simulation. Ten tested specimens of nano-filled resin composite (Filtek Z350 XT[®]), nano-hybrid resin composite (Premise[®], Ceram.X SphereTEC one universal[®]) and giomer (Beautiful II[®]) were prepared. All specimens were polished with a set of aluminum oxide abrasive disk (Sof-Lex[®]). Baseline surface roughness (Ra) was obtained using contact type profilometer and baseline surface gloss (GU) was obtained using micro-gloss meter. All specimens were brushed for 10,000, 20,000 and 40,000 cycles with tooth brushing machine. The surface roughness and gloss were measured after each brushing period and two specimens of each material were selected to be surface analyzed by scanning electron microscope. The obtained data were analyzed by two-way repeated measures ANOVA and Tukey HSD test with the level of significance at $p=0.05$. The results revealed that after the brushing, all materials were significantly increased in surface roughness and significantly decreased in gloss. Average change in surface roughness and gloss of nano-filled resin composite (Filtek Z350 XT[®]) were the lowest and of giomer (Beautiful II[®]) were the highest. There was significant negative correlation between surface roughness and gloss. It can be concluded that for all tested nanocomposites, there was a significant increasing in surface roughness and decreasing in gloss after tooth brushing simulation. The surface roughness affected the gloss of the materials.

Keywords: Tooth brushing simulation, Surface gloss, Surface roughness, Nanocomposites

Received date:

Revised date:

Accepted date:

Doi:

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

นิชปา ธานาดลพิจิต, ภาควิชาทันตกรรมหัตถการ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย โทร: 02-218-8795, 083-626-4551 อีเมล: pamrawee@hotmail.com

Correspondence to :

Nichapa Thanadolpjit, Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand. Tel: 02-218-8795, 083-626-4551 E-mail pamrawee@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบัน วัสดุสีเหมือนฟันเป็นที่นิยมใช้ในการบูรณะฟัน วัสดุดังกล่าวเป็นวัสดุประเภทคอมโพสิต (composite) คือ มีส่วนประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมอยู่ด้วยกันแต่ไม่ทำปฏิกิริยากัน การผสมกันของส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัสดุบูรณะฟันประเภทนาโนคอมโพสิต (nano composites) เช่น เรซินคอมโพสิต ไจโอเมอร์ (giomer) คอมโพเมอร์ (compomer) และ กลาสไอโอเมอร์ (glass ionomer) ซึ่งมีการนำเทคโนโลยีระดับนาโนมาใช้ในการผลิต ทำให้ขนาดของวัสดุอุดแทรกเล็กลงอยู่ในช่วง 0.1-100 นาโนเมตร โดยเรซินนาโนคอมโพสิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ นาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (nano-filled resin composite) และ นาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (nano-hybrid resin composite) นาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต ประกอบด้วยวัสดุอุดแทรกชนิดซิลิกาและเซอร์โคเนียอาจอยู่เป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่มีการรวมกลุ่ม (non-agglomerated) หรือถูกทำให้เกิดการรวมกลุ่มกัน (agglomerates) เพื่อให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเป็นนาโนคลัสเตอร์ (nano cluster) และสามารถเพิ่มปริมาณวัสดุอุดแทรกในเรซินเมทริกซ์ ทำให้เรซินคอมโพสิตชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น ส่วนนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตนั้นประกอบด้วยวัสดุอุดแทรกซิลิกาขนาด 20 นาโนเมตร ที่กระจายอยู่ทั่วไปไม่มีการรวมกลุ่มกัน แบบเรซินกลาสขนาดเฉลี่ย 0.4 ไมโครเมตร และวัสดุอุดแทรกชนิดฟลูออโรโพลีเมอร์ไรซ์ซึ่งมีขนาดใหญ่ประมาณ 30-50 ไมโครเมตร เพื่อให้สามารถเพิ่มปริมาณวัสดุอุดแทรกได้มากขึ้น¹ สำหรับ ไจโอเมอร์นั้นจัดเป็นวัสดุบูรณะฟันแบบไฮบริด (hybrid) คือประกอบด้วย วัสดุอุดแทรกพรีรีแอคเตดกลาสไอโอเมอร์ (pre-reacted glass ionomer) ที่ใช้ในวัสดุกลาสไอโอเมอร์ร่วมกับเรซินและวัสดุอุดแทรกที่ใช้ในวัสดุเรซินคอมโพสิต วัสดุอุดแทรกพรีรีแอคเตดกลาสไอโอเมอร์เตรียมโดยการทำให้ฟลูออโรโพลีเมอร์ในซิลิกาเกิดปฏิกิริยากรด-เบสกับกรดโพลีอะซิติก วัสดุอุดแทรกนี้มีขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01-5 ไมโครเมตร สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เอสพีอาร์จี (S-PRG = Surface Pre-reacted Glass Ionomer) ซึ่งเกิดปฏิกิริยากรด-เบสเฉพาะพื้นผิว

(surface reaction) โดยยังคงเหลือแกน (core) ของวัสดุอุดแทรก และ เอฟพีอาร์จี (F-PRG = Fully Pre-reacted Glass Ionomer) ซึ่ง วัสดุอุดแทรกฟลูออโรโพลีเมอร์ในซิลิกาเกิดปฏิกิริยาเกือบทั้งหมด³ ในการบูรณะฟันด้วยวัสดุนาโนคอมโพสิตที่กล่าวมาข้างต้น ลักษณะพื้นผิวของวัสดุเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่ออายุการใช้งาน วัสดุควรเรียบสม่ำเสมอและมีความมันเงาเหมือนผิวฟัน เพื่อความสวยงาม ลดการสะสมของแผ่นคราบจุลินทรีย์และการติดสีตามขอบ ดังนั้น การขัดแต่งวัสดุคอมโพสิตภายหลังการบูรณะจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการบูรณะฟันให้ประสบความสำเร็จ วัสดุที่ไม่ได้ผ่านการขัดจะมีอายุการใช้งานที่สั้นและเกิดการติดสีได้มากกว่าวัสดุที่ผ่านการขัด⁴ ทั้งนี้ ความเรียบและความมันเงาของวัสดุเกิดจากหลายปัจจัย เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการขัด⁵ องค์ประกอบ และคุณสมบัติของวัสดุ^{6,7} ในการศึกษาทาง ทันตกรรมที่ผ่านมา จะทำการประเมินคุณภาพของการขัดวัสดุบูรณะฟันโดยการวัดความขรุขระหรือความหยาบพื้นผิว (surface roughness) ด้วยเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (surface roughness tester)⁵ การวัดความมันเงา (surface gloss) ด้วยเครื่องไมโครกลอสมิเตอร์ (micro gloss meter) และดูภาพพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope)⁸ พื้นผิวของวัสดุบูรณะคอมโพสิตภายหลังการขัดควรมีค่าความหยาบพื้นผิวที่น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร⁹ มีการศึกษาที่พบว่าความหยาบพื้นผิวที่มีค่ามากกว่า 0.2 ไมโครเมตร สามารถก่อให้เกิดการสะสมของคราบจุลินทรีย์และการติดสีได้¹⁰ สำหรับความมันเงาของวัสดุที่เป็นคุณสมบัติที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีความสัมพันธ์กับความหยาบพื้นผิวของวัสดุ¹¹ นอกจากนี้ ความมันเงายังเป็นสิ่งทันตแพทย์และผู้ป่วยสามารถรับรู้ได้ง่าย ซึ่งทางสมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา (American Dental Association) แนะนำว่าควรอยู่ในช่วง 40-60 หน่วยความเงา (Gloss unit = GU)¹¹

อย่างไรก็ตาม พื้นผิวของวัสดุบูรณะคอมโพสิตที่อยู่ภายในช่องปากอาจมีการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากปัจจัยภายในของวัสดุ เช่น

article in press

ชนิดของวัสดุอุดแทรก ขนาดของวัสดุอุดแทรก และการยึดติดระหว่างวัสดุอุดแทรกกับเรซินเมทริกซ์ การดูดซับน้ำซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic degradation) ของพื้นผิววัสดุอุดแทรกจนเกิดการสึกกร่อนและทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ได้ง่ายขึ้น และการย่อยสลายของสารอินทรีย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของวัสดุ¹² นอกจากนี้ ปัจจัยภายนอก เช่น การแปรงฟัน ก็เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความหยาบและความมันเงาของพื้นผิวของเรซินคอมโพสิต¹³ หลายการศึกษาได้แสดงผลของการแปรงฟันต่อความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของเรซินคอมโพสิต และพบว่าปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลเช่น ระยะเวลาในการแปรงฟัน แรงที่ใช้ในการแปรงฟัน^{14,15} และความสามารถในการขัดถูของอนุภาคในยาสีฟัน¹⁶ โดยการจำลองการแปรงฟันจากการศึกษาก่อนหน้าระบุว่า การจำลองการแปรงฟัน 10,000 รอบ เทียบเท่ากับการสึกที่ได้ออกจากการแปรงฟันในระยะเวลา 1 ปี¹⁷ แต่ค่าความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของเรซินคอมโพสิตจากหลายการศึกษายังไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากมีการออกแบบการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ มีรายงานจากหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ว่าค่าความหยาบผิวมีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความมันเงา^{14,15} โดยความหยาบพื้นผิวและความมันเงาต่างมีผลมาจากปัจจัยที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ เรซินเมทริกซ์ ชนิดวัสดุอุดแทรก และคุณภาพของการยึดติดระหว่างเรซินเมทริกซ์กับวัสดุอุดแทรก¹⁸ อย่างไรก็ตาม มีเพียงบางการศึกษาที่ได้ศึกษาผลของระยะเวลาการแปรงฟันต่อความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของวัสดุนาโนคอมโพสิต (nano composite)¹⁹⁻²¹ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาเกี่ยวกับผลของระยะเวลาของการแปรงฟันต่อความหยาบและความมันเงาพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิตยังไม่เป็นที่แน่ชัด การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของวัสดุนาโนคอมโพสิตก่อนและหลังจากผ่านการจำลองการแปรงฟันด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมชิ้นงาน

เตรียมชิ้นงานนาโนคอมโพสิต 4 ผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 1) ผลิตภัณฑ์ละ 10 ชิ้น ขนาด ยาว 15 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 2 มิลลิเมตร โดยใส่เรซินคอมโพสิตในแม่พิมพ์ซิลิโคน ปิดทับด้วยแผ่นแก้ว (glass slide) บ่มวัสดุโดยการฉายแสงผ่านแผ่นแก้วด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Elipar TriLight, 3M ESPE, Norristown, USA) ความเข้มแสงไม่ต่ำกว่า 800 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 40 วินาที โดยให้ปลายเครื่องฉายแสงแนบกับแผ่นแก้วและตั้งฉากกับพื้นผิวของวัสดุ จากนั้นขัดบริเวณพื้นผิววัสดุด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Sof-Lex® discs, 3M ESPE, Indonesia)

1 ชุด ที่มีความหยาบแตกต่างกัน 4 ระดับ ๆ ละ 20 วินาที โดยขัดไปในทิศทางเดียวกัน ภายใต้สภาวะที่แห้ง ด้วยความเร็ว 8,000 รอบต่อวินาที และใช้หัวขัด 1 ชุด ต่อชิ้นตัวอย่าง 1 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิคส์ร่วมกับน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที แล้วเป่าให้แห้งเป็นเวลา 20 วินาที ด้วยหัวเป่าลมและน้ำแบบสามทาง (Triple syringe) ก่อนนำไปวัดความหยาบพื้นผิวเริ่มต้น (baseline surface roughness) ด้วยเครื่องโปรไฟล์มิเตอร์ชนิดสัมผัส (Talyscan 150, Taylor Hobson, Leicester, England) และวัดความมันเงาเริ่มต้น (baseline gloss) ด้วยเครื่องไมโครกลอสมิเตอร์ (BYK Gardner, Germany) จากนั้นเก็บชิ้นงานไว้ในน้ำกลั่นที่ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน สุ่มเลือกชิ้นงานผลิตภัณฑ์ละ 2 ชิ้น เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (FEI QuantaTM 250 FEG, USA, Low vacuum mode) **ขั้นตอนการแปรงฟันตัวอย่างด้วยเครื่องแปรงอัตโนมัติ**

นำชิ้นงานที่ขัดแล้ว ซึ่งถูกเก็บในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ไปวางในเครื่องจำลองการแปรงฟัน (V-8 Cross Brushing Machine, SABRI Dental Enterprises, Inc., Villa Park, IL, USA) แล้วทำการแปรงฟันด้วยแปรงสีฟัน (GUM Classic no. 411, Sunstar Americas, Inc., Chicago, IL, USA) ที่มีแรงกดขนาด 150 กรัม ตามข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมจากการแปรงฟัน ISO14569-1²² โดยขณะทำการแปรงนั้นทั้งชิ้นงานและแปรงสีฟันจะถูกแช่ในสารละลายยาสีฟันที่เตรียมตามเกณฑ์ขององค์การมาตรฐานนานาชาติ ISO11609²³ โดยผสมยาสีฟัน (Colgate cavity protection, Colgate-Palmolive, Chonburi, Thailand ค่าการสึกมาตรฐานของเนื้อฟันเท่ากับ 68 อาร์ดีเอ (RDA = Relative Dentin Abrasion) ที่ประกอบด้วย น้ำ กลีเซอริน (glycerin) ไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮดรต (dicalcium phosphate dihydrate) เตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate) โซเดียมโมโนฟลูออโรฟอสเฟต (sodium mono fluorophosphate) และ โซเดียมฟลูออไรด์ (sodium fluoride) ปริมาณฟลูออไรด์รวม เท่ากับ 1450 ส่วนในล้านส่วน (part per million = ppm) เข้ากับน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วนเท่ากับ 25 กรัมต่อ 50 มิลลิลิตร สารละลายยาสีฟันจะถูกเปลี่ยนทุกการแปรงฟัน 10,000 รอบ จากนั้นนำชิ้นงานไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคส์ร่วมกับน้ำกลั่นเป็นเวลา 5 นาที เป่าให้แห้งด้วยหัวเป่าลมและน้ำแบบสามทาง นำชิ้นงาน 2 ชิ้นเดิมจากแต่ละกลุ่มไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด หลังจำลองการแปรงฟันครบ 10,000 รอบ 20,000 รอบ และ 40,000 รอบ ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ชื่อทางการค้า บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุนาโนคอมโพสิตที่ใช้ในการทดลอง

Table 1 Trade names, manufactures and compositions of experimental nanocomposite materials

Material	Manufacturer	Type	Organic Matrix	% Filler by Weight	Filler type	Mean Particle Size of Filler
Filtek Z350 XT	3M ESPE	Nano-filled resin composite	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA	60-82 %	Silica, zirconia	Nanocluster: 0.6 - 1.4 μm Silica: 20 nm Zirconia: 4-11 nm
Premise	Kerr	Nano-hybrid resin composite	Bis-EMA, TEGDMA	69-84 %	Barium aluminoborosilicate glass, nanofiller, PPF, barium glass	Glass: 0.4 μm Silica: 20 nm
Ceram.X SphereTEC one universal	Dentsply	Nano-hybrid resin composite	Methacrylate modified polysilane dimethacrylate resin	76-79 %	Barium aluminoboro-silicate glass, silica nanofiller, PPF	Glass: 1 μm Silica: 20 nm
Beautifil II	Shofu	Giomer	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA	68-83 %	S-PRG, multifunctional aluminofluoroborosilicate glass	Nano particle: 10-20 nm Average filler: 0.8 μm

Bis-GMA: Bisphenol-A-glycidyl methacrylate; Bis-EMA: Bisphenol-A-ethoxylate dimethacrylate; UDMA: Urethane dimethacrylate; TEGDMA: Triethylene glycol dimethacrylate.

การวัดความหยาบพื้นผิวของชิ้นงาน

วัดความหยาบพื้นผิวของวัสดุชิ้นงานตัวอย่างก่อนการแปรงฟันและเมื่อจำลองการแปรงฟันครบ 10,000 รอบ 20,000 รอบ และ 40,000 รอบ ด้วยเครื่องโปรไฟล์มิเตอร์แบบสัมผัส เลือกใช้ค่าความหยาบเฉลี่ย (Ra) ที่มีหน่วยการวัดเป็นไมครอน กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่จะวัดเป็นพิกัดในแนวแกน X และ Y โดยกำหนดพื้นที่ที่ต้องการให้เครื่องอ่านค่า กำหนดตามความยาวแกน X เป็น 2 มิลลิเมตร ความยาวตามแนวแกน Y เป็น 2 มิลลิเมตร โดยให้ปลายเข็มลากเคลื่อนไปบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยความเร็วคงที่ 500 ไมโครเมตร ต่อวินาที กำหนดค่าระยะห่างในแนวแกน X เป็น 5 ไมโครเมตร และแนวแกน Y เป็น 500 ไมโครเมตร ทำการวัดความหยาบของพื้นผิวเป็นโปรไฟล์ (profile) ทั้งหมด 5 เส้น เพื่อเป็นตัวแทนความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเชิงเส้นของชิ้นงานและทำการคำนวณหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเชิงเส้น (mean) ของแต่ละชิ้นงานหลังจากทำการแปรง โดยใช้ค่าตัด (standard cut off) ที่ 0.25 มิลลิเมตร²⁰

การวัดความมันเงาของชิ้นงาน

วัดความมันเงาผิวชิ้นงานด้วยเครื่องไมโครกลอสมิเตอร์ ก่อนการแปรงฟันและเมื่อจำลองการแปรงฟันครบ 10,000 รอบ 20,000 รอบ และ 40,000 รอบ กำหนดช่วงในการวัดที่ 0 ถึง 1000 หน่วยความเงา โดยวางชิ้นงานในแม่พิมพ์ระหว่างการวัด ทำการวัดทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของการวัดทั้ง 5 ครั้ง นำมาเป็นค่าหน่วยความเงาของแต่ละชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิว (ไมโครเมตร) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของนาโนคอมโพสิตแต่ละกลุ่ม

Table 2 Mean surface roughness (μm) and standard deviation of each nanocomposite

Group	Measuring stage			
	Baseline	10,000 รอบ	20,000 รอบ	40,000 รอบ
Z350	0.0142(0.001) ^{Ab}	0.0155(0.001) ^{Ab}	0.0161(0.001) ^{Ab}	0.0173(0.002) ^{Ac}
PRE	0.0140(0.001) ^{Ab}	0.0171(0.001) ^{Bb}	0.0181(0.002) ^{ABb}	0.0203(0.001) ^{Bc}
CER	0.0143(0.001) ^{Ab}	0.0180(0.002) ^{BCb}	0.0203(0.002) ^{Bc}	0.0230(0.002) ^{Cd}
BEA	0.0150(0.001) ^{Ab}	0.0195(0.002) ^{Cb}	0.0267(0.002) ^{Cc}	0.0339(0.002) ^{Dd}

Z350 = Filtek Z350 XT[®], PRE = Premise[®], CER = Ceram.X SphereTEC one universal[®] BEA = Beautifil II[®]

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same uppercase letter in each column are not statistically different ($p>0.05$)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same lowercase letter in each row are not statistically different ($p>0.05$)

ภายหลังจากการจำลองการแปรงฟันจำนวน 10,000 รอบ พบว่า วัสดุทุกชนิดมีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นและแตกต่างจากค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (ฟิลเทกแซต350เอ็กซ์ที[®]) มีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากวัสดุอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหยาบพื้นผิวของ วัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) ไม่แตกต่างกับวัสดุนาโน-

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส (SPSS statistics version 26) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อตรวจสอบการกระจายข้อมูลด้วยสถิติโคโมโกรอฟ สเมอรันอฟ (Kolmogorov-Smirnov) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ จึงทดสอบอิทธิพลของปัจจัยวัสดุ จำนวนรอบ และปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยวัสดุและจำนวนรอบว่ามีผลต่อค่าความหยาบและความมันเงาของพื้นผิวด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเมื่อมีการวัดซ้ำ (Two-way repeated ANOVA) และทิวกีโอสต์ฮ็อค (Tukey's post hoc test) และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบและความมันเงาพื้นผิวด้วยสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation)

ผลการศึกษา

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ระยะเวลาการแปรงฟัน และชนิดวัสดุนาโนคอมโพสิตมีผลต่อความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของนาโนคอมโพสิตทุกผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยความหยาบพื้นผิวและความมันเงามีอิทธิพลต่อกัน ($p<.001$)

ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (sd) ของความหยาบพื้นผิวก่อนและหลังจำลองการแปรงฟันของทุกกลุ่มทดลอง แสดงในตารางที่ 2 ค่าความหยาบพื้นผิวเริ่มต้นของวัสดุทุกผลิตภัณฑ์ หลังจากผ่านการขัดด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ไฮบริดเรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และวัสดุโจโอเมอร์ (บิวติฟิลทู[®]) มีความหยาบพื้นผิวมากที่สุด เมื่อผ่านการจำลองการแปรงฟันจำนวน 20,000 รอบ พบว่า วัสดุนาโนฟิลล์เรซิน คอมโพสิตและวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) จะมีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยไม่ต่างจากที่ 10,000 รอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่วัสดุโจโอเมอร์และวัสดุนาโนไฮบริด

เรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุพบว่า วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยไม่แตกต่างจากวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต โดยที่วัสดุไฮโอเมอร์มีความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยมากที่สุด เมื่อสิ้นสุดการจำลองการแปร่งฟันที่ 40,000 รอบพบว่า วัสดุทุกชนิดมีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ 20,000 รอบ และวัสดุทุกชนิดมีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต มีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยน้อยที่สุด ถัดไปคือวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®])

วัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) และ วัสดุไฮโอเมอร์ซึ่งมีค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าความมันเงาที่แสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่าความมันเงาเฉลี่ยเริ่มต้นของวัสดุทุกผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการขัดด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (ฟิลเทกแซด 350 เอ็กซ์ที[®]) มีค่าความมันเงาพื้นผิวมากที่สุด รองลงมา คือ วัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) วัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) และวัสดุไฮโอเมอร์ (บิวติฟิลทู[®]) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความมันเงา (GU) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของนาโนคอมโพสิตแต่ละกลุ่ม

Table 3 Mean gloss (GU) and standard deviation of each nanocomposite

Group	Measuring stage			
	Baseline	10,000 รอบ	20,000 รอบ	40,000 รอบ
Z350	84.2(0.79) ^{Aa}	81.1(0.99) ^{Ab}	77.1(0.99) ^{Ac}	71.6(0.97) ^{Ad}
PRE	77.0(1.15) ^{Ba}	73.5(1.08) ^{Bb}	69.0(1.25) ^{Bc}	63.9(1.60) ^{Bd}
CER	75.6(0.84) ^{Ca}	72.2(1.03) ^{Cb}	66.9(0.99) ^{Cc}	60.8(0.92) ^{Cd}
BEA	69.5(1.27) ^{Da}	65.6(1.43) ^{Db}	59.8(1.40) ^{Dc}	52.0(1.15) ^{Dd}

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same uppercase letter in each column are not statistically different ($p > 0.05$)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same lowercase letter in each row are not statistically different ($p > 0.05$)

ภายหลังการจำลองการแปร่งฟันแล้วพบว่า ทุกวัสดุมีค่าความมันเงาเฉลี่ยที่ลดลงและแตกต่างกันในทุกช่วงเวลาการจำลองการแปร่งฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เนื่องจากค่าความมันเงาเฉลี่ยเริ่มต้นของวัสดุมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่สามารถนำค่าความมันเงาเฉลี่ยของวัสดุต่าง ๆ เมื่อผ่านการจำลองการแปร่งฟันที่ระยะเวลาต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับได้ ดังนั้นในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวัสดุ จึงใช้ค่าความมันเงาเฉลี่ยที่เปลี่ยนไป (delta gloss) ภายหลังจากการจำลองการแปร่งฟันจำนวน 10,000 20,000 และ 40,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 4 มาเปรียบเทียบกับ ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการจำลองการแปร่งฟันจำนวน 10,000 รอบ วัสดุไฮโอเมอร์มีค่าความมันเงาเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปมากที่สุดซึ่งแตกต่างจากวัสดุอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อผ่านการจำลองการแปร่งฟันจำนวน 20,000 รอบ วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตมีค่าความมันเงาเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปน้อยที่สุด และวัสดุไฮโอเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดแต่ไม่แตกต่างจากวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อผ่านการจำลองการแปร่งฟันจำนวน 40,000 รอบพบว่า วัสดุไฮโอเมอร์และวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควัน

ยูนิเวอร์ซัล[®]) มีค่าความมันเงาเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปมากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต และวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) มีการเปลี่ยนแปลงความมันเงาที่น้อยกว่าและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหยาบและความมันเงาพื้นผิวด้วยสถิติสหสัมพันธ์ของเพียร์สันพบว่า มีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวและความมันเงา ดังสมการ

$$\text{หน่วยความเงา (GU)} = 95.16 - 1.33 E3 * Ra \text{ value}$$

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของนาโนคอมโพสิตแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาของการแปร่งฟันแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพบว่า หลังจากผ่านการจำลองการแปร่งฟันที่ระยะเวลาแตกต่างกัน ทุกวัสดุจะมีสภาพพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นสัมพันธ์กับค่าความหยาบพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อสิ้นสุดการจำลองการแปร่งฟันที่ 40,000 รอบ จะพบว่า วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต (ฟิลเทกแซด 350 เอ็กซ์ที[®]) มีลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงหรือความขรุขระน้อยกว่าวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต (พรีมิส[®]) และ ซีแรมเอ็กซ์สเฟียร์เทควันยูนิเวอร์ซัล[®]) และ วัสดุไฮโอเมอร์ (บิวติฟิลทู[®]) นอกจากนี้ยังพบว่า วัสดุไฮโอเมอร์ (บิวติฟิลทู[®]) มีรูพรุนที่เห็นได้ชัดกว่าวัสดุอื่นและมีการหลุดออกของพื้นผิวบางส่วน

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ความมันเงาที่เปลี่ยนไป (GU) ของนาโนคอมโพสิตแต่ละกลุ่ม

Table 4 Mean and Standard deviation of delta gloss values (GU) of each nanocomposite

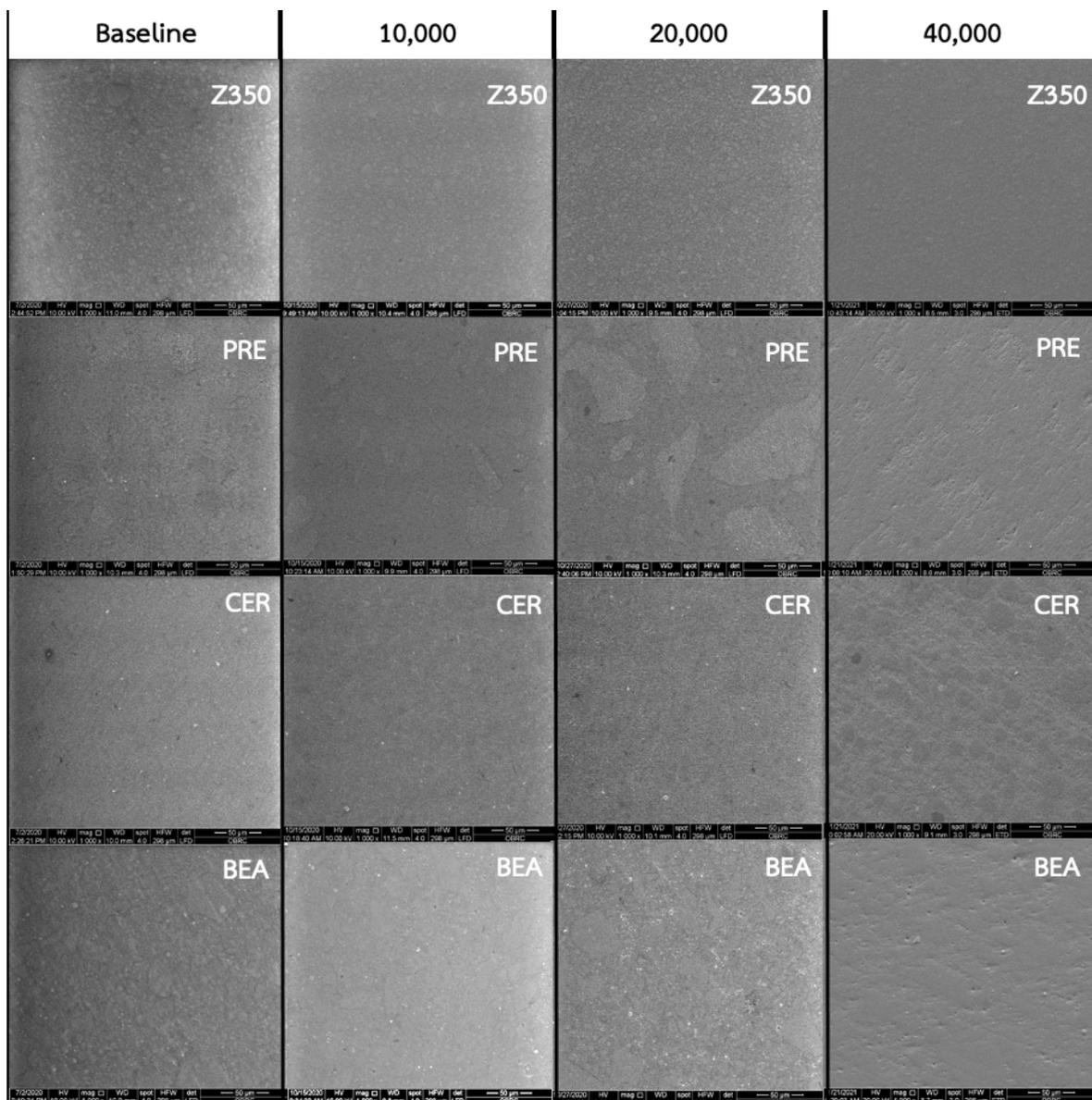
Group	Delta Gloss1 (10,000 cycles – Baseline)	Delta Gloss2 (20,000 cycles – Baseline)	Delta Gloss3 (40,000 cycles – Baseline)
Z350	-3.1(0.57) ^{Ab}	-7.1(1.10) ^{Ab}	-12.6(1.07) ^{Ac}
PRE	-3.5(0.53) ^{ABa}	-8.0(0.82) ^{Ab}	-13.1(1.20) ^{Ac}
CER	-3.4(0.52) ^{ABa}	-8.7(0.48) ^{Bb}	-14.8(0.42) ^{Bc}
BEA	-3.9(0.74) ^{Ba}	-9.7(0.82) ^{Bb}	-17.5(1.08) ^{Cc}

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same uppercase letter in each column are not statistically different ($p>0.05$)

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Group with the same lowercase letter in each row are not statistically different ($p>0.05$)



รูปที่ 1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของนาโนคอมโพสิตทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

Figure 1 Scanning electron microscope image of 4 nanocomposites' surface (Original magnification x1000)

บทวิจารณ์

การทดสอบข้อมูลทางสถิติในการศึกษานี้พบว่า ภายหลังจากการแปรงพื้นผิวจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของนาโนคอมโพสิตแต่ละผลิตภัณฑ์ แสดงว่าการแปรงพื้นผิวและระยะเวลาของการแปรงมีผลต่อความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของวัสดุนาโนคอมโพสิตทุกผลิตภัณฑ์

ในการขัดผิวนาโนคอมโพสิตเพื่อการบูรณะนั้น ได้มีการแนะนำให้ใช้หัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์เนื่องจากขนาดของอนุภาคขัดมีความสม่ำเสมอและเรียงลำดับความหยาบของแผ่นขัดจากมากไปน้อย ซึ่งคุณสมบัตินี้มีความสำคัญเพราะสามารถขัดพื้นผิววัสดุให้เรียบมากและใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการทดสอบทางห้องปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถทำให้เกิดพื้นผิวที่เรียบใกล้เคียงกันแม้จะเป็นวัสดุเรซินคอมโพสิตที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน²⁴ ซึ่งในการศึกษานี้ก็ได้ผลเช่นเดียวกันโดยที่ค่าความหยาบผิวเริ่มต้นของวัสดุทุกผลิตภัณฑ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การจำลองการแปรงพื้นผิวในการศึกษานี้เป็นไปตามมาตรฐานนานาชาติที่ 14569-1 ซึ่งกำหนดข้อปฏิบัติในการทดสอบความต้านทานต่อการสึกของวัสดุทันตกรรมจากการแปรงพื้นผิว²² รวมถึงการเลือกใช้แปรงสีพื้นที่มีส่วนประกอบตรงตามมาตรฐานวิชาการแปรงสีฟันกรมอนามัย พ.ศ. 2559 และยาสีฟันที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นยาสีฟันที่ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรมในประเทศไทย (มอก.45-2552) มีค่าการสึกมาตรฐานของเนื้อฟันเท่ากับ 68 อาร์ดีเอ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานนานาชาติที่ 11609 ที่ได้กำหนดค่าการสึกมาตรฐานของเนื้อฟันของยาสีฟันไม่ควรเกิน 250 อาร์ดีเอ²³ โดยจำนวนรอบที่ใช้การจำลองการแปรงพื้นผิวจากการศึกษาก่อนหน้านี้ให้ค่า 10,000 รอบของการจำลองการแปรงพื้นผิว เทียบเท่ากับการแปรงพื้นผิวในระยะเวลา 1 ปี¹⁷ ดังนั้น การกำหนดให้แปรง 40,000 รอบในการศึกษานี้จึงเทียบเท่าการแปรงพื้นผิวเป็นระยะเวลา 4 ปี ในการศึกษานี้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิตประกอบด้วยปัจจัยภายในวัสดุเช่น ชนิด ขนาด และจำนวนวัสดุอุดแทรกชนิดและปริมาณของเรซินแมทริกซ์ และปัจจัยภายนอกเช่น การแปรงพื้นผิวที่มีแรงขัดถูจากขนแปรง และอนุภาคสารขัดสีที่อยู่ในสารละลายยาสีฟันที่ใช้ จากการศึกษานี้ของ Costa และคณะในปี ค.ศ. 2010 ที่เปรียบเทียบผลของยาสีฟันต่างชนิดต่อความหยาบพื้นผิวและความมันเงาของเรซินคอมโพสิตพบว่า ยาสีฟันที่มีค่าการสึกมาตรฐานมากกว่าจะทำให้ความมันเงาของวัสดุลดลงมากกว่าและเกิดความหยาบผิวมากกว่ายาสีฟันที่มีค่าการสึกมาตรฐานน้อย¹⁶ อย่างไรก็ตาม สารขัดสีจะเป็นส่วนประกอบในยาสีฟันต่างๆ เพื่อช่วยในการกำจัดคราบจุลินทรีย์และคราบสี สารขัดสีที่มีในยาสีฟันที่ใช้ในการ

ทดสอบนี้คือ ไดแคลเซียมฟอสเฟตไดไฮเดรต ซึ่งบริษัทผู้ผลิตไม่เปิดเผยถึงปริมาณสารขัดสี แต่เนื่องจากยาสีฟันผลิตภัณฑ์นี้ไม่จัดเป็นยาสีฟันเพื่อขัดคราบสีเพื่อทำให้ฟันขาว จึงไม่น่าจะมีปริมาณมาก และจากการประเมินความสามารถในการขัดของยาสีฟันจากค่าการสึกมาตรฐานของเนื้อฟันเท่ากับ 68 อาร์ดีเอ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ (RDA < 70) ดังนั้น สารขัดสีในยาสีฟันที่ใช้ในการศึกษานี้จึงไม่น่าจะมีผลต่อความหยาบผิวและความมันเงาของวัสดุที่นำมาทดสอบ

จากการศึกษาของ Moraes และคณะในปี ค.ศ. 2009 ที่เปรียบเทียบคุณสมบัติของนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตกับนาโนฟิลล์และไมโครไฮบริดเรซินคอมโพสิตพบว่า วัสดุในกลุ่มนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตสามารถทนต่อการสึกที่มีสาเหตุมาจากการแปรงพื้นผิวได้มากกว่าวัสดุในกลุ่มนาโนไฮบริด เนื่องจากวัสดุอุดแทรกประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถคงความเรียบของพื้นผิวได้ภายหลังจากการขัด²⁵ สำหรับการศึกษาที่วัสดุไฮโอเมอร์มีขนาดวัสดุอุดแทรกเฉลี่ยอยู่ที่ 0.8 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับวัสดุอุดแทรกของวัสดุในกลุ่มเรซินนาโนคอมโพสิต จึงทำให้เกิดความหยาบผิวภายหลังจากการแปรงพื้นผิวที่มากกว่า นอกจากนั้น การที่วัสดุในกลุ่มนาโนไฮบริดมีรูปร่างของวัสดุอุดแทรกที่ไม่สม่ำเสมอทำให้มีความหยาบพื้นผิวมากกว่าวัสดุในกลุ่มนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอุดแทรกรูปร่างกลม²⁶ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษานี้ที่พบว่าวัสดุในกลุ่มนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต ซึ่งมีวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กและรูปร่างสม่ำเสมอ จึงมีค่าเฉลี่ยความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ซึ่งเป็นวัสดุกลุ่มนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิต ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิววัสดุที่ได้จากภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่ได้จากการศึกษานี้ จากภาพจะพบว่านาโนคอมโพสิตทุกผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการขัดด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์มีลักษณะเรียบก่อนการแปรงพื้นผิว แต่ภายหลังจากผ่านกระบวนการจำลองการแปรงพื้นผิวจะพบลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นตามจำนวนรอบการแปรงพื้นผิวที่เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตมีลักษณะพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุด และจะพบลักษณะการหลุดออกของพื้นผิวและรูพรุนในบางบริเวณในวัสดุไฮโอเมอร์ได้มากกว่าวัสดุอื่น

จากผลการศึกษาที่ยังพบว่า วัสดุไฮโอเมอร์มีความหยาบพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ruivo และคณะ ในปี ค.ศ. 2019 เกี่ยวกับความหยาบพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิตภายหลังจากการแปรงพื้นผิว และเขาได้แนะนำว่าไม่ควรนำวัสดุไฮโอเมอร์มาใช้บูรณะในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม³⁰ ทั้งนี้คงเนื่องมาจากวัสดุนี้มีวัสดุอุดแทรกหลายประเภท

เป็นส่วนประกอบ³¹ นอกจากนี้ อีกปัจจัยหนึ่งที่อาจส่งผลต่อความหยาบพื้นผิวของวัสดุโพลีเมอร์ก็คือ การมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น³² เนื่องจากเป็นคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุที่มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ที่ต้องอาศัยน้ำในการเกิดปฏิกิริยากรดเบสเพื่อเกิดการปลดปล่อยฟลูออไรด์ โดยคุณสมบัติในการดูดซับน้ำอาจส่งเสริมให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เกิดการสูญเสียพันธะเคมีระหว่างอนุภาควัสดุอัดแทรกและเรซินเมทริกซ์ ทำให้วัสดุอัดแทรกหลุดออกจากพื้นผิวของวัสดุทำให้เกิดความหยาบพื้นผิวในส่วนของเรซินนั้นปัจจัยที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำของวัสดุที่มีส่วนประกอบของเรซินพอลิเมอร์ คือ ชนิดของเรซินเมทริกซ์ โดยเรซินที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic resin) เช่น บิสฟีนอล-เอ-ไดโกลีซิลไดเมทาครีเลต (Bisphenol A-diglycidyl methacrylate; Bis-GMA) จะดูดซับน้ำได้น้อยกว่าเตตระเอทิลีนไดโกลีคอลไดเมทาครีเลต (Tetraethylene glycol dimethacrylate; TEGDMA) แต่ดูดซับน้ำได้มากกว่ายูรีเทนไดเมทาครีเลต (Urethane dimethacrylate ; UDMA) และบิสฟีนอล-เอ-อีโทกซีเลตไดเมทาครีเลต (Bisphenol-A-ethoxylate dimethacrylate; Bis-EMA)³³ ซึ่งวัสดุโพลีเมอร์ไม่มีบิสฟีนอล-เอ-อีโทกซีเลตไดเมทาครีเลตเช่นเดียวกับวัสดุอื่น จึงทำให้เกิดการดูดซับน้ำได้มากกว่า จึงเกิดการสลายตัวแบบไฮโดรไลซิส ทำให้ผิวอ่อนนุ่ม เกิดการหลุดออกของวัสดุอัดแทรกได้ง่ายเมื่อมีการสัมผัสขัดถูจากการแปรงฟัน รวมถึงการปลดปล่อยฟลูออไรด์ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของวัสดุอัดแทรกอาจทำให้เกิดรูพรุนบริเวณพื้นผิวส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหยาบพื้นผิวภายหลังจากการแปรงฟันได้³⁴

จากการศึกษาของ Monteiro และคณะในปี ค.ศ. 2015 และ Senawongse and Pongprueksa ในปี ค.ศ. 2007 เกี่ยวกับความหยาบพื้นผิวของวัสดุเรซินคอมโพสิตภายหลังกระบวนการจำลองการแปรงฟันไม่พบว่าวัสดุนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตและวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตมีความแตกต่างกันของความหยาบพื้นผิวภายหลังจากผ่านกระบวนการจำลองการแปรงฟันที่ 20,000 รอบ²⁷⁻²⁸ แต่จากการศึกษาของ Suzuki และคณะในปี ค.ศ. 2009 พบว่า มีความแตกต่างกันของความหยาบพื้นผิวภายหลังจากผ่านกระบวนการจำลองการแปรงฟันที่ 50,000 รอบ โดยนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตมีความหยาบพื้นผิวมากกว่านาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต²⁹ เช่นเดียวกับผลในการศึกษานี้ที่พบในการเปลี่ยนแปลงลักษณะเดียวกัน จึงมีความเป็นไปได้ว่าผลการศึกษานี้ที่แตกต่างกันมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการแปรงฟันในแต่ละการศึกษาอย่างไรก็ตาม ค่าความหยาบพื้นผิวของนาโนคอมโพสิตที่นำมาทดสอบทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านการแปรงฟันเทียบเท่าระยะเวลา 4 ปีนี้มีค่าน้อยกว่า 0.2 ไมโครเมตร ซึ่ง

เป็นค่าเฉลี่ยขั้นต่ำที่ไม่ทำให้เกิดการเกาะของคราบจุลินทรีย์บริเวณพื้นผิวของเรซินคอมโพสิต¹⁰ และมีค่าน้อยกว่า 0.5 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นค่าความหยาบพื้นผิวเฉลี่ยที่จะสามารถรับรู้ได้ด้วยลิ้นของผู้ป่วย³⁵ ดังนั้น จากผลการศึกษานี้ในแง่ของความหยาบเมื่อผ่านการแปรงฟันเป็นเวลาเทียบเท่า 4 ปี วัสดุนาโนคอมโพสิตทั้งสี่ผลิตภัณฑ์สามารถใช้ในการบูรณะฟันได้ แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ระบบหัวกรอในการขัดแต่งวัสดุอาหาร เครื่องดื่ม ความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และการบดเคี้ยว ที่อาจจะทำให้เกิดความหยาบผิวที่แตกต่างกันได้³⁶⁻⁴⁰ ดังนั้น การศึกษาถึงปัจจัยร่วมหลาย ๆ ปัจจัยจะทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น

สำหรับความมันเงาซึ่งเป็นลักษณะอันพึงประสงค์อีกอย่างหนึ่งของวัสดุบูรณะคอมโพสิตที่จะทำให้มีความใกล้เคียงกับลักษณะของเคลือบฟันนั้น การศึกษาของ Lu และคณะ ในปี ค.ศ. 2005 พบว่าเป็นผลโดยตรงมาจากความหยาบพื้นผิว⁴ แต่ในการศึกษานี้กลับพบว่าค่าความหยาบพื้นผิวของวัสดุของนาโนคอมโพสิตภายหลังจากการขัดด้วยหัวขัดแผ่นพลาสติกเคลือบผงอะลูมิเนียมออกไซด์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความมันเงากลับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่ายังมีปัจจัยอื่นนอกเหนือจากความหยาบที่มีผลต่อความมันเงาพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mohammed และคณะในปี ค.ศ. 2018 ที่สรุปว่า ส่วนประกอบของวัสดุนาโนฟิลล์และนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตอาจมีผลต่อความมันเงานอกเหนือจากความหยาบพื้นผิวเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเขาพบว่า วัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตสามารถคงความมันเงาได้มากกว่านาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตภายหลังจากการแปรงฟัน⁴¹ โดยความมันเงาอาจมีความเกี่ยวข้องกับ ขนาด การกระจายตัว คุณสมบัติเชิงกล และค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุอัดแทรกในเรซินเมทริกซ์ รวมไปถึงความหนืดและค่าดัชนีหักเหแสงของส่วนประกอบในเรซินเมทริกซ์⁴² โดยเรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่จะมีความสัมพันธ์กับความมันเงาที่ลดลง⁴³ นอกจากนี้ รูปร่างของวัสดุอัดแทรกยังส่งผลต่อความมันเงาด้วย วัสดุอัดแทรก รูปร่างกลมมีความสามารถในการสะท้อนแสงมากกว่าวัสดุอัดแทรกที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งวัสดุอัดแทรกรูปร่างกลมจะพบได้ในนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิต¹⁷ สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่าวัสดุนาโนฟิลล์เรซินคอมโพสิตมีความมันเงาเฉลี่ยเริ่มต้นที่มากกว่าวัสดุในกลุ่มนาโนไฮบริดเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และวัสดุโพลีเมอร์ ซึ่งมีขนาดวัสดุอัดแทรกที่ใหญ่และขนาดไม่สม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่น มีความมันเงาเฉลี่ยเริ่มต้นที่น้อยกว่าวัสดุอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจำลองการแปรงฟันที่ 40,000 รอบ วัสดุโพลีเมอร์มีความมันเงาเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

อย่างไรก็ตาม นาโนคอมโพสิตทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการจำลองการแปรงฟันที่ 40,000 รอบ มีค่าความมันเงาอยู่ในช่วง

เอกสารอ้างอิง

1. Bayne SC, Thompson JY. Biomaterials. In: Heymann H, Swift E, Ritter A, editors. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry*. 6th ed. Mosby; 2012. p. e4.
2. Chen MH. Update on Dental Nanocomposites. *J Dent Res* 2010;89(6):549-60.
3. Lien W, Vandewalle KS. Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater* 2010;26(4):337-44.
4. Lu H, Roeder LB, Lei L, Powers JM. Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites. *J Esthet Restor Dent* 2005;17(2):102-8; discussion 9.
5. Barbosa SH, Zanata RL, Navarro MF, Nunes OB. Effect of different finishing and polishing techniques on the surface roughness of microfilled, hybrid and packable composite resins. *Braz Dent J* 2005;16(1):39-44.
6. Endo T, Finger WJ, Kanehira M, Utterodt A, Komatsu M. Surface texture and roughness of polished nanofill and nanohybrid resin composites. *Dent Mater J* 2010;29(2):213-23.
7. Marghalani HY. Effect of filler particles on surface roughness of experimental composite series. *J Appl Oral Sci* 2010;18(1):59-67.
8. Da Costa J, Ferracane J, Paravina RD, Mazur RF, Roeder L. The effect of different polishing systems on surface roughness and gloss of various resin composites. *J Esthet Restor Dent* 2007;19(4):214-24; discussion 25-6.
9. Chung KH. Effects of finishing and polishing procedures on the surface texture of resin composites. *Dent Mater* 1994;10(5):325-30.
10. Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater* 1997;13(4):258-69.
11. American Dental Association. Product Review: Polishing systems. Chicago: *American Dental Association* 2010.
12. Sarrett DC. Clinical challenges and the relevance of materials testing for posterior composite restorations. *Dent Mater* 2005;21(1):9-20.
13. Tellefsen G, Liljeborg A, Johannsen A, Johannsen G. The role of the toothbrush in the abrasion process. *Int J Dent Hyg* 2011;9(4):284-90.
14. Heintze SD, Forjanic M, Ohmiti K, Rousson V. Surface deterioration of dental materials after simulated toothbrushing in relation to brushing time and load. *Dent Mater* 2010;26(4):306-19.
15. Heintze SD, Forjanic M, Rousson V. Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time *in vitro*. *Dent Mater* 2006;22(2):146-65.
16. da Costa J, Adams-Belusko A, Riley K, Ferracane JL. The effect of various dentifrices on surface roughness and gloss of resin composites. *J Dent* 2010;38 Suppl 2:e123-8.
17. Wang L, Garcia FC, Amarante de Araujo P, Franco EB, Mondelli RF. Wear resistance of packable resin composites after simulated toothbrushing test. *J Esthet Restor Dent* 2004;16(5):303-14; discussion 14-5.

40-60 หน่วยความเงา ซึ่งเป็นค่าที่สมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทย สหรัฐอเมริกาแนะนำว่าเป็นความมันเงาที่เหมาะสมสำหรับวัสดุบูรณะที่ใช้ในช่องปาก¹¹ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบผิวและความมันเงานั้น มีรายงานจากการศึกษาก่อนหน้าว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความหยาบพื้นผิวและค่าความมันเงา^{14,15} ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความหยาบพื้นผิวและค่าความมันเงา กล่าวคือ วัสดุนาโนคอมโพสิตทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบจะมีค่าความมันเงาที่ลดลงโดยแปรผกผันกับค่าความหยาบพื้นผิวที่เพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษานี้แล้วพบว่า การเลือกใช้วัสดุนาโนคอมโพสิตในการบูรณะฟันที่ต้องการความสวยงามและคงทนควรคำนึงถึงส่วนประกอบของนาโนคอมโพสิตที่นำมาใช้ด้วย เนื่องจากความมันเงาของวัสดุเป็นผลมาจากส่วนประกอบของนาโนคอมโพสิตนอกเหนือจากความหยาบพื้นผิว อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาในห้องปฏิบัติการ จึงไม่อาจจำลองสภาวะจริงในทางคลินิกได้ทั้งหมด และการจำลองการแปรงฟันในการศึกษานี้เทียบเท่ากับการแปรงฟันเป็นเวลาเพียง 4 ปี ดังนั้น ควรมีการศึกษาในระยะยาวเพิ่มเติม ร่วมกับมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความหยาบและความมันเงาพื้นผิวของวัสดุนาโนคอมโพสิต เช่น ระบบหัวกรอในการขัดแต่ง อุดมหมู่มีอาหาร เครื่องดื่ม ความเป็นกรดต่าง และการบดเคี้ยว เป็นต้น รวมไปถึงควรมีการศึกษาในวัสดุบูรณะฟันกลุ่มอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบวัสดุอุดแทรกกระดับนาโนเมตร เช่น เรซินอมดิฟายด์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เป็นต้น

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สรุปได้ว่า นาโนคอมโพสิตที่นำมาทดสอบทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านการจำลองการแปรงฟัน 40,000 รอบ จะมีความหยาบพื้นผิวเพิ่มขึ้นและความมันเงาตกลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ วัสดุที่มีวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กและมีรูปร่างกลมหรือสมมาตรจะมีความหยาบและความมันเงาพื้นผิวที่เปลี่ยนไปน้อยกว่าวัสดุที่มีวัสดุอุดแทรกหลายประเภท มีขนาดใหญ่ หรือมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร อย่างไรก็ตาม นาโนคอมโพสิตทั้ง 4 ผลิตภัณฑ์ ยังคงมีค่าความหยาบและความมันเงาพื้นผิวอยู่ในระดับที่สามารถใช้งานทางคลินิกได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ทญ.ดร. สรณันท์ จันทรางศุ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้สถิติ รวมถึงเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาชีวเคมี และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ แนะนำ ในการใช้เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยนี้

18. Lefever D, Perakis N, Roig M, Krejci I, Ardu S. The effect of toothbrushing on surface gloss of resin composites. *Am J Dent* 2012;25(1):54-8.
19. AlAli M, Silikas N, Satterthwaite J. The Effects of Toothbrush Wear on the Surface Roughness and Gloss of Resin Composites with Various Types of Matrices. *Dent J (Basel)* 2021;9(1):8.
20. Kamonkhantikul K, Arksornnukit M, Takahashi H, Kanehira M, Finger WJ. Polishing and toothbrushing alters the surface roughness and gloss of composite resins. *Dent Mater J* 2014;33(5):599-606.
21. Sang EJ, Song JS, Chung SH, Jin BH, Hyun HK. Influence of a new polishing system on changes in gloss and surface roughness of resin composites after polishing and brushing. *Dent Mater J* 2021;40(3):727-35.
22. International Organization for Standardization. ISO 14569-1 Dental materials—guidance on testing of wear resistance. Part 1: wear by tooth brushing. Geneva: ISO; 2007.
23. International Organization for Standardization. ISO 11609 Dentistry-Toothpaste-Requirements, test methods and marking. 3 ed. Geneva: ISO; 2017.
24. Abzal MS, Rathakrishnan M, Prakash V, Vivekanandhan P, Subbiya A, Sukumaran VG. Evaluation of surface roughness of three different composite resins with three different polishing systems. *J Conserv Dent* 2016;19(2):171-4.
25. de Moraes RR, Goncalves Lde S, Lancellotti AC, Consani S, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Nanohybrid resin composites: nanofiller loaded materials or traditional microhybrid resins? *Oper Dent* 2009;34(5):551-7.
26. Nithya K, Sridevi K, Keerthi V, Ravishankar P. Evaluation of Surface Roughness, Hardness, and Gloss of Composites After Three Different Finishing and Polishing Techniques: An *In Vitro* Study. *Cureus* 2020;12(2):e7037.
27. Monteiro B, Spohr AM. Surface Roughness of Composite Resins after Simulated Toothbrushing with Different Dentifrices. *J Int Oral Health* 2015;7(7):1-5.
28. Senawongse P, Pongprueksa P. Surface Roughness of Nanofill and Nanohybrid Resin Composites after Polishing and Brushing. *J Esthet Restor Dent* 2007;19(5):265-73.
29. Suzuki T, Kyoizumi H, Finger WJ, Kanehira M, Endo T, Utterodt A, et al. Resistance of nanofill and nanohybrid resin composites to toothbrush abrasion with calcium carbonate slurry. *Dent Mater J* 2009;28(6):708-16.
30. Ruivo MA, Pacheco RR, Sebold M, Giannini M. Surface roughness and filler particles characterization of resin-based composites. *Microsc Res Tech* 2019;82(10):1756-67.
31. Sunico MC, Shinkai K, Katoh Y. Two-year clinical performance of occlusal and cervical giomer restorations. *Oper Dent* 2005;30(3):282-9.
32. Gonulol N, Ozer S, Sen Tunc E. Water Sorption, Solubility, and Color Stability of Giomer Restoratives. *J Esthet Restor Dent* 2015;27(5):300-6.
33. Kukiattrakoon B, Tantanuch S, Peerasukprasert T, Chanmanee N, Chaisomboonphun P, Rodklai A. Surface roughness and erosion of nanohybrid and nanofilled resin composites after immersion in red and white wine. *J Conserv Dent* 2016;19(1):51.
34. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. *Dent Mater J* 2018;37(2):293-300.
35. Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J* 2004;196(1):42-5; discussion 31.
36. Miyazaki CL, Medeiros IS, Santana IL, Matos Jdo R, Rodrigues Filho LE. Heat treatment of a direct composite resin: influence on flexural strength. *Braz Oral Res* 2009;23(3):241-7.
37. da Silva MA, Fardin AB, de Vasconcellos RC, Santos Lde M, Tonholo J, da Silva JG, Jr., et al. Analysis of roughness and surface hardness of a dental composite using atomic force microscopy and microhardness testing. *Microsc Microanal* 2011;17(3):446-51.
38. Dos Santos PA, Garcia PP, De Oliveira AL, Chinelatti MA, Palma-Dibb RG. Chemical and morphological features of dental composite resin: influence of light curing units and immersion media. *Microsc Res Tech* 2010;73(3):176-81.
39. Kumari RV, Nagaraj H, Siddaraju K, Poluri RK. Evaluation of the Effect of Surface Polishing, Oral Beverages and Food Colorants on Color Stability and Surface Roughness of Nanocomposite Resins. *J Int Oral Health* 2015;7(7):63-70.
40. da Silva EM, de Sa Rodrigues CU, Dias DA, da Silva S, Amaral CM, Guimaraes JG. Effect of toothbrushing-mouthrinse-cycling on surface roughness and topography of nanofilled, microfilled, and microhybrid resin composites. *Oper Dent* 2014;39(5):521-9.
41. Mohammed A. Al-Ateeg ASA-G, Mohammed G. Al-Otaibi, Khalid H. Al-Rasheed, Ahmed F. Al-Otaibi, Nashaat M. Magdy. Surface Gloss of Resin Composite Restorative Materials Finished/Polished With Different Systems. *IOSR J Dent Med Sci* 2018;17(6):48-53.
42. O'Brien WJ, Johnston WM, Fanian F, Lambert S. The surface roughness and gloss of composites. *J Dent Res* 1984;63(5):685-8.
43. Lee YK, Lu H, Oguri M, Powers JM. Changes in gloss after simulated generalized wear of composite resins. *J Prosthet Dent* 2005;94(4):370-6.