การศึกษาผลของวัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแร่ธาตุต่อการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของฟันกรามน้ำนมซี่ข้างเคียงในห้องปฏิบัติการ

น.ส.ดนุธิดา สาเขตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

In vitro effect of an ion-releasing material on remineralizing adjacent initial interproximal caries in primary molars

Miss Danuthida Saket

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Pediatric Dentistry
Department of Pediatric Dentistry
FACULTY OF DENTISTRY
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลของวัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแร่ธาตุต่อการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้น ของฟันกรามน้ำนมซี่ข้างเคียงในห้องปฏิบัติการ
โดย	น.ส.ดนุธิดา สาเขตร์
สาขาวิชา	ทันตกรรมสำหรับเด็ก
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงปริม อวยชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.วรรณกร ศรีอาจ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.พรชัย จันศิษย์ยานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ (พิเศษ) ทันตแพทย์หญิงชุติมา ไตรรัตน์วรกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิงปริม อวยชัย)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.วรรณกร ศรีอาจ)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.ศิริพร ส่งศิริประดับบุญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดนุธิดา สาเขตร์ : การศึกษาผลของวัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแร่ธาตุต่อการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้น ของฟันกรามน้ำนมซี่ข้างเคียงในห้องปฏิบัติการ. (In vitro effect of an ion-releasing material on remineralizing adjacent initial interproximal caries in primary molars) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ทพญ.ปริม อวยชัย, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ทพญ. ดร.วรรณกร ศรีอาจ

การศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วยนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต (Predicta™ bioactive bulk) กับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®) และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350) เป็นกลุ่มควบคุม โดยใช้ชิ้นฟันน้ำนมจำนวน 60 ชิ้นจากด้านแก้มของฟันกรามน้ำนมที่ถูกถอน 60 ซี่มาสร้างรอยผุระยะเริ่มต้นที่กึ่งกลางของชิ้นฟัน นำชิ้นฟันตัวอย่างมาวัดร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (∆F) เริ่มต้นด้วยเครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณชนิดดิจิทัล เรียงลำดับร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์เริ่มต้นจากชิ้นฟันที่สูญเสียแร่ธาตุน้อยไปมาก สุ่มชิ้นฟันออกเป็น 3 กลุ่ม นำชิ้นฟันไปติดกับบล็อกอะคริลิกที่บูรณะด้านประชิดด้วยวัสดุบูรณะทั้ง 3 ชนิด แล้วเข้ากระบวนการเลียนแบบสภาวะในช่องปากเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณการคืนแร่ธาตุโดยวัสดุบูรณะแต่ละชนิด ด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (∆∆F) และค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (∆∆Q) ผลการศึกษาพบว่าทั้งค่า ∆∆F และค่า ∆∆Q ของทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ มีการคืนแร่ธาตุแก่ชิ้นฟันสูงที่สุด ส่วนกลุ่มนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตมีการสูญเสียแร่ธาตุของชิ้นฟันเล็กน้อย ซึ่งน้อยกว่ากลุ่มควบคุม คือเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าการบูรณะด้วยวัสดุซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ สามารถคืนแร่ธาตุให้ฟันซี่ข้างเคียงได้ดีที่สุด แต่ในกรณีที่รอยผุหรือโพรงฟันคลาสทูมีขนาดใหญ่ นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตก็ถือเป็นวัสดุหนึ่งที่เป็นทางเลือกในการใช้ทดแทนเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เนื่องจากใช้งานง่าย มีความแข็งแรงและความสวยงามเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการลุกลามของรอยผุระยะเริ่มต้นในฟันซี่ข้างเคียงได้ดีกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

สาขาวิชา	ทันตกรรมสำหรับเด็ก	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

6270007232 : MAJOR PEDIATRIC DENTISTRY

KEYWORD: Remineralization Initial caries Calcium phosphate nanocomposite Glass-ionomer cement QLF-D

Danuthida Saket : In vitro effect of an ion-releasing material on remineralizing adjacent initial interproximal caries in primary molars. Advisor: Assoc. Prof. PRIM AUYCHAI, D.D.S., M.Sc. Co-advisor: Asst. Prof. WANNAKORN SRIARJ, D.D.S., Ph.D.

The objective of this study was compare the ability to remineralizing adjacent initial interproximal caries of the new calcium phosphate nanocomposite (Predicta™ bioactive bulk) with glass-ionomer cements (Equia Forte®) and composite resin (Filtek™ Z350), in vitro. 60 human enamel specimens from buccal aspect of 60 extracted primary molar teeth were formed the artificial incipient caries in the center of enamel specimen. The baseline mineral loss of artificial caries was determined by percent loss of fluorescence when compared to unaffected enamel (ΔF) using quantitative light-induced fluorescence-digital (QLF-D). The specimens were sorted from least to greatest ΔF and randomly assigned to 3 groups of restorative materials. Specimens were put in contact with proximal restorative materials in acrylic blocks and then submitted to 14 days of pH-cycling. The remineralization effects was analysis by QLF-D when completed the pH-cycling, mean difference in ΔF ($\Delta\Delta F$) and ΔQ ($\Delta\Delta Q$) were calculated. The results showed that both the $\Delta\Delta F$ and $\Delta\Delta Q$ values of all groups were statistically different. The specimens that contact with glass-ionomer cement yielded a remineralizing effect, while the other groups were not. However, the mineral loss of the specimens in composite resin group had significantly higher than in the calcium phosphate nanocomposite group that mean calcium phosphate nanocomposite can reduce specimen demineralization. In conclusion, glass-ionomer cement is the most effective material for remineralizing adjacent teeth. However, in case of large Class II cavities, calcium phosphate nanocomposite is considered a good alternative material compared to composite resin, because of high compressive and flexural strength, esthetics, and easy usage. In addition, it can inhibit the progression of early caries in adjacent teeth.

Field of Study: Pediatric Dentistry		Student's Signature ....
Academic Year: 2021		Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปริม อวยชัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. วรรณกร ศรีอาจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์พิเศษ ทันตแพทย์หญิง ชุติมา ไตรรัตน์วรกุล และ อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. ศิริพร ส่งศิริประดับบุญ คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อและช่วยเหลือในการเตรียมสารเคมี เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยและพัฒนาทันตวัสดุ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่ตลอดจนให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไลอ้อน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณชนิดดิจิทัล (QLF-D) สำหรับใช้ในการวัดผลงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก เพื่อน ๆ นิสิตหลังปริญญา ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัย

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และผู้ใกล้ชิดทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจให้ผู้ทำวิจัยเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดนุธิดา สาเขตร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญรูปภาพ .... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

  ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

  คำถามการวิจัย 4

  วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

  สมมติฐานการวิจัย 4

  ขอบเขตการวิจัย 4

  รูปแบบการวิจัย 5

  กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

  คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย 5

  ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

  ข้อจำกัดของงานวิจัย 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

  โรคฟันผุ 7

  การจัดประเภทของฟันผุ 8

  แนวทางการจัดการโรคฟันผุ 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุบูรณะสีเหมือนฟัน 15
การวัดผลการสูญเสียและคืนแร่ธาตุ 20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 29
รูปแบบการวิจัย 29
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 29
สิ่งแทรกแซง 29
ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 30
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 30
วิธีดำเนินงานวิจัย 32
การเก็บรวบรวมข้อมูล 41
การวิเคราะห์ข้อมูล 41
บทที่ 4 ผลการศึกษา 43
การเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทู 43
การทดสอบปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ แคลเซียมและฟอสฟอรัส 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 48
บรรณานุกรม 56
ภาคผนวก 65
ภาคผนวก ก เอกสารผลการพิจารณาจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ 66
ภาคผนวก ข เอกสารผลการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพ 67
ภาคผนวก ค เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับขอฟัน/ เนื้อเยื่อ/ ภาพรังสี/ ข้อมูลหรือสิ่งอื่นๆเพื่อใช้ในงานวิจัย 68
ภาคผนวก ง เอกสารยินยอมมอบฟัน/ เนื้อเยื่อ/ ภาพรังสี/ ข้อมูลหรือสิ่งอื่นๆเพื่อใช้ในงานวิจัย 69
ประวัติผู้เขียน 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับการเกิดรอยโรคฟันผุ 9

ตารางที่ 2 ข้อบ่งชี้ทางคลินิกที่ใช้ประเมินการดำเนินของโรค 10

โดยแนะนำแนวทางการจัดการฟันผุตามระดับความรุนแรงของรอยโรค และแบ่งเป็นชุดฟันน้ำนมและชุดฟันแท้ ดังตารางที่ 3 และ 4 ตารางที่ 3 แสดงแนวทางการจัดการฟันผุในฟันน้ำนมโดย ICCMS . 12

ตารางที่ 4 แนวทางการจัดการฟันผุในฟันแท้โดย ICCMS 13

ตารางที่ 5 การศึกษาการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของฟันน้ำนมข้างเคียงที่สัมผัสกับฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยวัสดุที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์ 27

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ภายหลังผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปากที่ 14 วัน 43

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ภายหลังผ่านกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปากที่ 14 วัน 44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

รูปที่ 2 Ecological plaque hypothesis 7

รูปที่ 3 องค์ประกอบในการพิจารณาการจัดการรอยโรคฟันผุ 11

รูปที่ 4 การจัดการรอยผุในด้านประชิด 14

รูปที่ 5 หัวกดวิกเกอร์ส (Vickers) 22

รูปที่ 6 หัวกดนูป (Knoop) 23

รูปที่ 7 ขนาดของชิ้นฟันกรามน้ำนม 33

รูปที่ 8 การทาน้ำยาทาเล็บที่ชิ้นฟันน้ำนม 33

รูปที่ 9 ขนาดและรูปร่างของฐานอะคริลิก 34

รูปที่ 10 การยึดชิ้นฟันกับฐานอะคริลิก 34

รูปที่ 11 ขนาดการเตรียมแควิตี้เพื่อนำไปสร้างโมเดล 36

รูปที่ 12 การสร้างโมเดลต้นแบบสำหรับการใช้วัสดุบูรณะ 36

รูปที่ 13 การจำลองสภาวะช่องปากโดยนำชิ้นฟันน้ำนมแนบติดกับวัสดุบูรณะ 38

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรคฟันผุเป็นโรคในช่องปากที่มีความชุกสูงที่สุดของประชากรโลก[1] โรคฟันผุมีสาเหตุซับซ้อนและประกอบด้วยหลายปัจจัย[2] โดยจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความไม่สมดุลของกระบวนการสูญเสีย และคืนแร่ธาตุบนผิวฟัน[3] จากการสำรวจประชากรทั่วโลกในปี 2017 พบว่าประชากรประมาณ 2.3 พันล้านคนได้รับผลกระทบจากการเกิดฟันผุในชุดฟันแท้ และพบเด็กจำนวน 530 ล้านคนที่ได้รับผลกระทบจากฟันผุในชุดฟันน้ำนม[4] ส่วนในประเทศไทย จากรายงานผลการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ในปีพ.ศ. 2560 พบว่าโรคที่เป็นสาเหตุหลักของอาการเจ็บปวดและการสูญเสียฟันก่อนเวลาอันควรโดยเฉพาะในเด็ก คือ โรคฟันผุ พบเด็กอายุ 3 ปีมีความชุกในการเกิดโรคฟันผุ ร้อยละ 52.9 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75.6 ในเด็กอายุ 5 ปี นอกจากนี้ ยังพบว่าเด็กอายุ 3 ปี และ 5 ปี มีฟันผุระยะเริ่มต้นร้อยละ 31.1 และร้อยละ 31.3 ตามลำดับ ซึ่งเด็กกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับการส่งเสริมป้องกันไม่ให้เกิดฟันผุเป็นรู[5]

ฟันผุด้านประชิดเป็นฟันผุที่พบได้มากที่สุดในเด็กวัยเรียนสาเหตุอาจเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมบริเวณฟันผุที่จุดสัมผัสของฟันสองซี่ รวมถึงเป็นตำแหน่งที่มีคราบจุลินทรีย์สะสมและทำความสะอาดได้ยาก[6] แต่อย่างไรก็ตามบริเวณด้านประชิดนั้นไม่ได้รับแรงจากการบดเคี้ยวโดยตรงเมื่อเกิดรอยผุระยะเริ่มแรกแม้จะมีการสูญเสียแร่ธาตุในชั้นเนื้อฟันก็อาจไม่เกิดรอยผุเป็นโพรง[7] โดยพบว่าหากพบรอยโปร่งรังสีถึงชั้นในของเคลือบฟันจากภาพรังสีกัดปีก มีเพียงร้อยละ 2.9 ของฟันน้ำนมที่ผุเป็นโพรง[8] โดยพบว่าระยะเวลาการดำเนินของโรคฟันผุจากชั้นนอกของเคลือบฟันไปถึงรอยต่อของเคลือบฟันกับเนื้อฟันในเวลาประมาณ 10 เดือน และจะลุกลามถึงชั้นในของเนื้อฟันในเวลาอีก 1.4 ปี หากไม่ได้รับการรักษาใดๆ[9]

แนวทางการรักษาทางทันตกรรมในปัจจุบัน ยึดตามแนวคิดทางทันตกรรมอนุรักษ์ หรือ Minimal Intervention Dentistry เนื่องจากมีการศึกษาเกี่ยวกับโรคฟันผุอย่างกว้างขวาง ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในการเกิดโรคฟันผุเพิ่มมากขึ้น มีการพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจฟันผุจึงสามารถตรวจพบรอยโรคฟันผุได้รวดเร็วตั้งแต่ในระยะเริ่มแรก แนวคิดทางทันตกรรมร่วมสมัยจึงเปลี่ยนจากการกำจัดเนื้อฟันที่ติดเชื้อทั้งหมด มามุ่งเน้นการหยุดยั้ง และรักษารอยโรคฟันผุ จึงมีการหาแนวทางใหม่ๆ ในการจัดการรอยโรคฟันผุในระยะเริ่มต้น[10] นอกจากนี้ยังมีการใช้เรซินคอมโพสิตทดแทนการบูรณะด้วยอะมัลกัมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถบูรณะได้โดยการกำจัดเฉพาะเนื้อฟันส่วนที่ติดเชื้อ

(Infected dentin) ได้[11] อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตสามารถเกิดฟันผุซ้ำ (Secondary caries) ได้มากกว่าการบูรณะด้วยอะมัลกัมถึง 3.5 เท่า[12] จึงได้มีการพัฒนาวัสดุบูรณะทางทันตกรรมที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์หรือแร่ธาตุอื่นๆ เพื่อช่วยในการยับยั้งการเกิดฟันผุ เช่น แคลเซียมและแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของไฮดรอกซีอะพาไทต์ โดยวัสดุบูรณะเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive materials) ซึ่งเป็นวัสดุบูรณะที่สามารถทดแทนโครงสร้างของฟันผุที่เสียไปและกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองของเนื้อเยื่อ รวมทั้งควบคุมปฏิสัมพันธ์ของจุลชีพได้[13]

วัสดุบูรณะที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดแรกคือ ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (glass-ionomer cement) ถูกพัฒนาขึ้นในปีค.ศ. 1960 มีคุณสมบัติในการปล่อยฟลูออไรด์ ซึ่งมีรายงานว่าสามารถลดการเกิดอุบัติการณ์ฟันผุซ้ำได้ และมีหลักฐานแสดงถึงการป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุของโครงสร้างฟันที่อยู่รอบวัสดุบูรณะ[14] ต่อมามีการพัฒนาซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เป็นซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (resin-modified glass-ionomer cement, RMGIC) ด้วยการเพิ่มสารพอลีอะคริลิกแอซิดโมโนเมอร์ โดยใช้แสงเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัว[15] อย่างไรก็ตามซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ก็ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่แข็งแรงและมีความต้านทานต่อการสึกต่ำรวมถึงวัสดุมีสีขุ่นทึบไม่สวยงามเมื่อเทียบกับเรซินคอมโพสิต[16, 17] นอกจากนี้ยังมีวัสดุที่สามารถปล่อยฟลูออไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น คอมโพเมอร์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายเรซินคอมโพสิต ซึ่งมีความแข็งแรง และสวยงามกว่าซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน แต่คอมโพเมอร์มีความสามารถในการปล่อยฟลูออไรด์ได้น้อยกว่าฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน[18]

Chulalongkorn University

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ พบว่าเคลือบฟันและเนื้อฟันที่สัมผัสกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ จะได้รับฟลูออไรด์จากวัสดุนั้นๆ[19] โดยแสดงให้เห็นถึงการเกิดฟันผุที่เกิดซ้ำลดลง และพบการคืนแร่ธาตุของเคลือบฟันบริเวณข้างเคียงที่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุไปแล้ว[20] แม้ว่าปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะจะน้อย เมื่อเทียบกับยาสีฟัน หรือน้ำยาบ้วนปากผสมฟลูออไรด์ แต่อย่างไรก็ตามฟลูออไรด์จากวัสดุบูรณะจะมีปริมาณคงที่อยู่ในช่องปากและหากสัมผัสกับฟันผุระยะเริ่มต้นที่ด้านประชิดของฟันซี่ข้างเคียง จะมีความสามารถทำให้เกิดการคืนแร่ธาตุเทียบเท่ากับการใช้ยาสีฟันที่ผสมฟลูออไรด์ 1,000 ส่วนในหนึ่งล้านส่วน แปรงฟันวันละ 2 ครั้ง[21] ซึ่งวัสดุบูรณะจะทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บฟลูออไรด์ ดังนั้นการได้รับฟลูออไรด์ทั้งจากการแปรงฟันด้วยยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และวัสดุบูรณะที่สามารถกักเก็บและปลดปล่อยฟลูออไรด์ จึง

เป็นการส่งเสริมให้เกิดการคืนแร่ธาตุ เพื่อหยุดยั้งการเกิดฟันผุในระยะเริ่มต้นได้ดีมากยิ่งขึ้น[22] โดยวิธีการวัดปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุสามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่สามารถวัดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคเริ่มต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ทำลายชิ้นฟัน และสามารถนำชิ้นฟันไปใช้ศึกษาต่อได้ คือการใช้เครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ ชนิดดิจิทัล (Quantitative light-induced fluorescence-Digital; QLF-D)[23]

จากการพัฒนาวัสดุบูรณะที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดวัสดุบูรณะชนิดต่างๆ ขึ้นมากมาย โดยวัสดุที่น่าสนใจชนิดหนึ่งคือ นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต เป็นวัสดุบูรณะในกลุ่มของเรซินคอมโพสิตที่สามารถปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตไอออนซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของโครงสร้างฟัน จึงช่วยให้เกิดการคืนแร่ธาตุของผิวฟันที่อยู่โดยรอบวัสดุบูรณะได้[13, 24] นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดสภาวะเป็นกลางในขณะที่สภาวะช่องปากเป็นกรด[25] รวมทั้งสามารถส่งเสริมให้เกิดการคืนแร่ธาตุแก่ฟันทั้งในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ และการศึกษาในสิ่งมีชีวิต[26, 27] ปัจจุบันได้มีวัสดุบูรณะในกลุ่มนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้ชื่อทางการค้าว่า Predicta bioactive bulk โดยผู้ผลิตระบุว่าเป็น Bulk-fill dual-cure composite ชนิดปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตที่มีการพัฒนาในด้านความแข็งแรง ความสามารถในการป้องกันการเกิดรอยผุซ้ำ และความสวยงามให้ดียิ่งขึ้นกว่าวัสดุบูรณะในกลุ่มเดียวกันในอดีต อย่างไรก็ตามการศึกษาของวัสดุชนิดนี้ยังมีเพียงการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น และยังไม่มีการศึกษาที่นำมาเปรียบเทียบความสามารถในการคืนแร่ธาตุต่อผิวฟันกับวัสดุบูรณะชนิดอื่นๆ งานวิจัยทางห้องปฏิบัติการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของวัสดุบูรณะในการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันน้ำนมข้างเคียงกับฟันที่มีการบูรณะคลาสทูด้วยวัสดุ Predicta bioactive bulk กับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ โดยใช้เครื่อง QLF-D ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนต์ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการเลือกใช้วัสดุบูรณะที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการคืนแร่ธาตุได้ในทางคลินิก

คำถามการวิจัย

1. การบูรณะฟันน้ำนมคลาสทูด้วยวัสดุ นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตสามารถส่งเสริมการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะแตกต่างจากซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์หรือไม่ โดยใช้เครื่อง QLF-D ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนต์

2. วัสดุบูรณะนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัสได้หรือไม่ในช่วงระยะ 14 วันโดยใช้เครื่องวัดค่าฟลูออไรด์ และเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วย นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต กับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ โดยใช้เครื่อง QLF-D ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนต์

2. เพื่อทดสอบปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัส ที่ปลดปล่อยจากวัสดุบูรณะนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ในช่วงระยะ 14 วันโดยใช้เครื่องวัดค่าฟลูออไรด์ และเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ

สมมติฐานการวิจัย

1. การคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วยนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ไม่แตกต่างกัน

2. นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัสได้ในช่วงระยะ 14 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

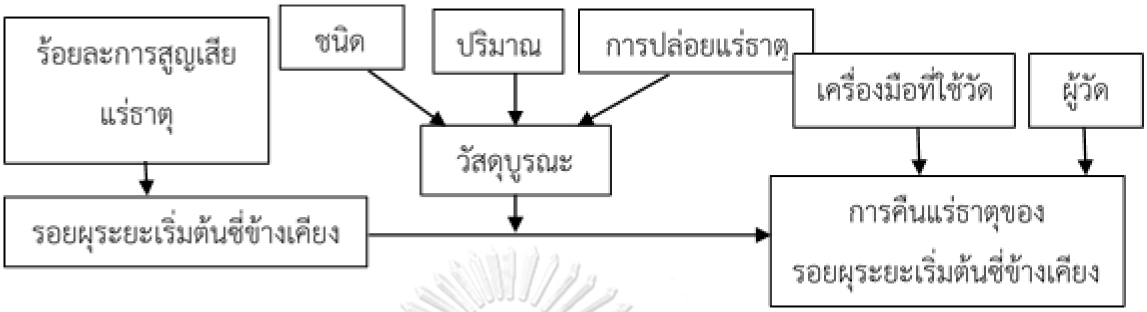
ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยจำลองสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก เพื่อศึกษาปริมาตร และร้อยละของการสูญเสียแร่ธาตุ ในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันน้ำนมที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วยนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ และศึกษาปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกจากวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ

กรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

1. ชิ้นฟันตัวอย่าง คือ ชิ้นฟันที่ถูกตัดในขนาดที่กำหนด (กว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร) จากด้านใกล้แก้ม ของฟันกรามน้ำนมที่ปราศจากรอยร้าว รอยผุ วัสดุบูรณะ หรือความผิดปกติของผิวฟัน
2. รอยโรคผุระยะเริ่มต้น คือ รอยผุในชั้นเคลือบฟันที่เกิดจากการสูญเสียแร่ธาตุ แต่ยังไม่มีการทำลายโครงสร้างของชั้นเคลือบฟันจนเป็นโพรงฟัน ในทางคลินิกพบลักษณะเคลือบฟันเป็นสีขาวขุ่น[28] และมีค่าร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (∆F) ตั้งแต่ 13-20
3. การคืนแร่ธาตุ คือ การวัดการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุก่อนและหลังการให้สิ่งแทรกแซงโดยผ่านกระบวนการจำลองสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก โดยวัดจากปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ในบริเวณของรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นด้วยเครื่องวัด ฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ ชนิดดิจิทัล (QLF-D)
4. ปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ คือ ปริมาตรของเคลือบฟันที่สูญเสียแร่ธาตุที่แสดงผลเป็นค่า ∆Q จากเครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ ชนิดดิจิทัล (QLF-D)
5. ร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ คือ ร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณหน้าต่างทดลองที่เกิดรอยผุในระยะเริ่มต้นเทียบกับผิวฟันปกติโดยรอบที่แสดงผลเป็นค่า ∆F จากเครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ ชนิดดิจิทัล (QLF-D)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ทราบความสามารถของวัสดุบูรณะคลาสทูในการคืนแร่ธาตุให้รอยผุระยะเริ่มต้นของฟันข้างเคียง หากวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตสามารถช่วยคืนแร่ธาตุให้ฟันซี่ข้างเคียงได้จะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีของเรซินคอมโพสิตอีกทั้งยังเป็น Bioactive material เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ระยะเวลาในการศึกษาจำกัด จึงไม่อาจบอกผลการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะยาวได้
2. การศึกษาครั้งนี้ใช้ฟันกรามกรามน้ำนมในการศึกษา ผลการศึกษาที่ได้จึงไม่อาจนำมาสรุปในฟันแท้

คำสำคัญ

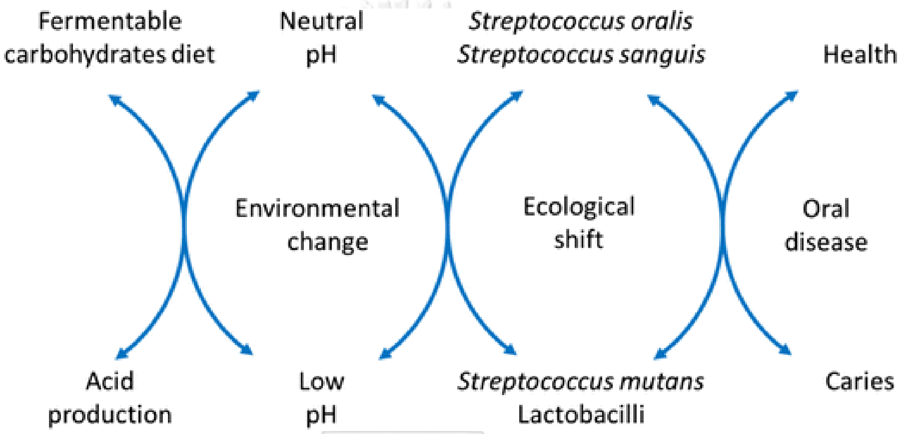
Remineralization, Initial caries, Bioactive material, Glass ionomer cement, QLF-D

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรคฟันผุ

ในปัจจุบัน เชื่อว่าสาเหตุการเกิดฟันผุเกิดขึ้นตามทฤษฎี Ecological plaque hypothesis ซึ่งเป็นทฤษฎีที่เชื่อว่าแม้ในภาวะปกติหรือสุขภาพดีก็สามารถพบเชื้อก่อโรคได้ แต่จะพบเชื้อในปริมาณที่น้อยมาก จนไม่แสดงอาการใด ๆ แต่เมื่อสิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้สมดุลของเชื้อเปลี่ยนไปจนทำให้เกิดโรคขึ้นได้[29] ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Ecological plaque hypothesis[30]

กระบวนการเกิดโรคฟันผุ เกิดจากการรบกวนสมดุลของ 2 กระบวนการในช่องปาก ได้แก่[29]

1. การรบกวนสมดุลของเชื้อในคราบจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่พบบนผิวฟันในระยะแรก (initial colonizers) คือเชื้อกลุ่ม Streptococcus ได้แก่ S. sanguinis, S. oralis และ S. mitis และอาจพบ S. mutans ได้ประมาณ 1% ซึ่งเชื้อแบคทีเรียเหล่านี้สามารถนำน้ำตาลไปใช้และผลิตกรดออกมาทำให้โดยรอบเกิดการลดลงของ pH อย่างไรก็ตามน้ำลายจะสามารถช่วยให้ pH กลับสู่ภาวะสมดุลได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณผิวเคลือบฟัน แต่หากมีการบริโภคน้ำตาลบ่อยขึ้นการผลิตกรดก็จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะเป็นกรด และเกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเชื้อในคราบจุลินทรีย์ โดยเชื้อที่พบในสภาวะปกติจะไม่สามารถทนกรดได้ทำให้มีปริมาณลดลง แตกต่างจากเชื้อก่อโรคฟันผุ เช่น S. mutans และ Lactobacilli ที่สามารถ

ทนกรด (Aciduric organisms) จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นเชื้อก่อโรคฟันผุนี้ยังสามารถผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ได้และก่อตัวเป็นคราบจุลินทรีย์ได้ดีกว่าเชื้อในระยะแรกอีกด้วย จึงทำให้เกิดการสูญเสียของแร่ธาตุจากผิวฟันได้

2. การรบกวนสมดุลของการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนแร่ธาตุ

ในช่องปากที่มีสภาวะเป็นกลาง ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) ในชั้นเคลือบฟันจะถูกละลายออกมาเพียงเล็กน้อยโดยปล่อยแคลเซียม ฟอสเฟต และไฮดรอกซิล (OH-) ไอออนออกมาในน้ำลาย จนกระทั่งสารละลายมีความอิ่มตัวยวดยิ่ง จะเกิดการคืนแร่ธาตุสู่ชั้นเคลือบฟัน แต่ในสภาวะที่ค่า pH ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งต่ำกว่าค่าวิกฤต (Critical pH) จะทำให้ไฮดรอกซีอะพาไทต์ถูกละลายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ฟอสเฟตไอออนและไฮดรอกซิลไอออนจะไปจับกับไฮโดรเจนไอออน (H+) ที่อยู่ในคราบจุลินทรีย์ ทำให้ pH ยิ่งลดลง หากเกิดขึ้นเป็นเวลานานจะทำให้เกิดรอยโรคฟันผุขึ้นได้

เมื่อ pH ในน้ำลายกลับมามีค่าสูงกว่าค่า pH วิกฤตและมีความเข้มข้นระดับแคลเซียม ฟอสเฟต และฟลูออไรด์อิ่มตัวยิ่งยวดแล้ว จะเกิดการแทนที่ของฟลูออไรด์ในน้ำลายเข้าไปในผลึกของเคลือบฟัน เกิดการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุกลายเป็นฟลูออร์แอพาไทต์ (Fluorapatite) บนผิวชั้นนอกของเคลือบฟัน ซึ่งมีความแข็งแรง และมีความสามารถในการต้านทานกรดมากกว่าผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีอยู่เดิม

การจัดประเภทของฟันผุ

การจัดประเภทของฟันผุของ International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)[31] กำหนดขึ้นเพื่อให้เกิดการเก็บข้อมูลที่มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ในการวินิจฉัย การพยากรณ์โรคและการวางแผนการรักษาที่เหมาะสม โดยระบบถูกออกแบบมาให้ใช้ได้กับ การให้การรักษาผู้ป่วย การศึกษา การวิจัย และงานสาธารณสุข

การตรวจทางคลินิกเป็นสำคัญที่จะได้การวินิจฉัยที่ถูกต้อง ซึ่งการแบ่งประเภทของฟันผุตาม ICDAS ใช้การวิธีการสังเกตฟันภายหลังจากการทำความสะอาดด้วยตาเปล่า ร่วมกับการเป่าฟันให้แห้ง มีแสงสว่างชัดเจน และเครื่องมือที่ใช้ตรวจควรเป็น Ball-end probe (WHO probe) นอกจากนั้นการตรวจต้องจำแนกลักษณะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่รอยโรคฟันผุออกไปด้วย เช่น ความวิการการเจริญพัฒนา (Developmental defect) ของเคลือบฟัน ได้แก่ ภาวะเคลือบฟันเจริญพร่อง (Enamel

hypoplasia) ภาวะเคลือบฟันสะสมแร่ธาตุพร่อง (Enamel hypomineralization) ฟันกร่อน (Erosion) ฟันสึกจากการขัดถู (Abrasion) การสึกแอปแฟรกชัน (Abfraction) และฟันแตก (Fracture) โดยแบ่งระดับการเกิดรอยโรคฟันผุเป็น 7 ระดับ ตั้งแต่ 0-6 และแบ่งกลุ่มตามความรุนแรง ดังรายละเอียดตามตารางที่ 1

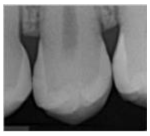
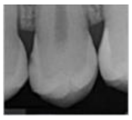
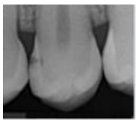
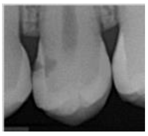
ตารางที่ 1 การแบ่งระดับการเกิดรอยโรคฟันผุ[31]

ระดับความรุนแรงของฟันผุ	ลักษณะของรอยโรค	
	ลักษณะของรอยโรคที่มีการดำเนินอยู่ (Active)	ลักษณะของรอยโรคที่ไม่มีการดำเนินแล้ว (Inactive)
Initial และ moderate	เคลือบฟันเป็นสีขาว หรือสีเหลือง มีความขุ่น ผิวขรุขระ เมื่อใช้เครื่องมือลากผ่านอย่างนุ่มนวล พบคราบจุลินทรีย์สะสมบริเวณรอยโรค	เคลือบฟันมีสีขาว หรือสีน้ำตาลหรือสีดำ มีความเงา แข็ง และเรียบเมื่อใช้เครื่องมือลากผ่านอย่างนุ่มนวล ไม่พบคราบจุลินทรีย์ปกคลุมบริเวณรอยโรค
Extensive	เนื้อฟันมีลักษณะนิ่ม หรือ เหนียวเมื่อใช้เครื่องมือลากผ่านอย่างนุ่มนวล	เนื้อฟันมีความเงา และแข็งเมื่อใช้เครื่องมือลากผ่านอย่างนุ่มนวล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากการจำแนกความรุนแรงของรอยโรคโดยการตรวจทางคลินิกแล้ว ยังควรตรวจถึงการดำเนินของโรคว่ารอยโรคบริเวณดังกล่าวยังคงมีการดำเนินของโรคอยู่หรือไม่ (Active or inactive) เพื่อประกอบการพยากรณ์โรค การวางแผน และการติดตามผลการรักษา ปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบการดำเนินโรคฟันผุ (Caries activity) โดยตรง รวมถึงการดำเนินโรคฟันผุยังประกอบไปด้วยหลายปัจจัย ดังนั้นในการประเมินการดำเนินรอยโรคฟันผุจึงแนะนำให้ใช้ข้อบ่งชี้ทางคลินิก (Clinical indicators) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อบ่งชี้ทางคลินิกที่ใช้ประเมินการดำเนินของโรค[32]

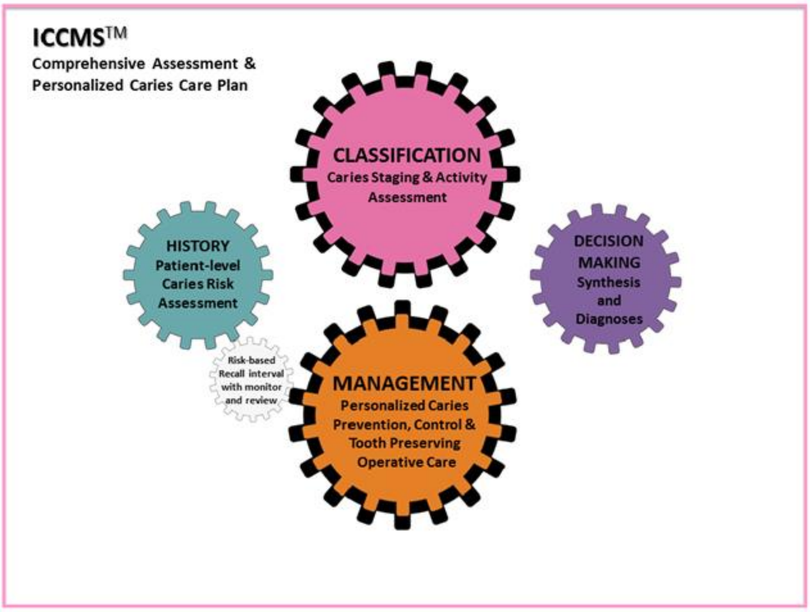
	ลักษณะทางคลินิก	ข้อสังเกตอื่นๆ	ลักษณะด้านบดเคี้ยว	ลักษณะด้านผิวเรียบ	ลักษณะทางภาพถ่ายรังสีของด้านประชิด
Sound	ผิวฟันมีสี ความโปร่งแสงและมันเงาปกติ ไม่พบรอยโรคใดๆทางคลินิก	ผิวฟันไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ	ICDAS 0		E0 หรือ R0 
Initial	พบรอยโรคทางคลินิกในระยะเริ่มต้น มีการสูญเสียแร่ธาตุระดับน้อย รอยโรคจำกัดอยู่ในชั้นเคลือบฟัน เมื่อมีการดำเนินของโรคอาจพบเป็นสีขาว หรือน้ำตาล และเคลือบฟันมีความด้าน ไม่ขึ้นเงาเหมือนเคลือบฟันปกติ	ไม่พบรอยผุเป็นโพรง	ICDAS 1		E1 หรือ RA1  E2 หรือ RA2 D1 หรือ RA3 
			ICDAS 2		
Moderate	พบลักษณะการแตกของเคลือบฟัน หรือเป็นเงาดำด้านใต้ที่แสดงถึงการสูญเสียแร่ธาตุในระดับกลางของชั้นเนื้อฟัน	พบรอยผุเป็นโพรงระยะเริ่มต้นขนาดเล็ก หรือเป็นเงาดำใต้เคลือบฟัน	ICDAS 3		D2 หรือ RB4 
			ICDAS 4		
Advance/ Extensive	มีการแตกของเคลือบฟันโดยสมบูรณ์ ชั้นเนื้อฟันเผยพึ่ง โดยรอยโรคลึกในชั้นเนื้อฟันและมีการสูญเสียแร่ธาตุในระดับรุนแรง	พบรอยผุเป็นโพรงขนาดใหญ่ ลุกลาม	ICDAS 5		D3 หรือ RC5
			ICDAS 6		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แนวทางการจัดการโรคฟันผุ

การจัดการรอยโรคฟันผุตามหลักการของการจัดการฟันผุแบบสากล (International Caries Classification and Management System: ICCMS)[32] ระบุว่าการจัดการรอยโรคฟันผุประกอบด้วยการป้องกันการเกิดรอยโรคใหม่ ป้องกันการลุกลามของรอยโรคเดิม และพยายามรักษาโครงสร้างฟันโดยใช้วิธีการดูแลแบบไม่บูรณะ (Non-operative care) ในรอยผุระยะเริ่มต้น และใช้วิธีการดูแลแบบอนุรักษ์ (Conservative operative care) ในรอยผุที่มีความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งการจัดการรอยโรคฟันผุต้องพิจารณา 4 องค์ประกอบ ดังรูปที่ 3 คือ

1. History เพื่อประเมินความเสี่ยงการเกิดโรคฟันผุระดับบุคคล
2. Classification ของรอยผุ ได้แก่ คราบจุลินทรีย์ ระดับความรุนแรง การดำเนินโรคฟันผุ เป็นต้น
3. Decision making เพื่อประเมินความเสี่ยงของการเกิดรอยโรคใหม่หรือจะมาการลุกลามหรือไม่ เพื่อวางแผนในการจัดการรอยโรคฟันผุ
4. Management การจัดการรอยโรคฟันผุต้องเหมาะสมในแต่ละบุคคล ทั้งจัดการกับรอยโรค และจัดการกับความเสี่ยงการเกิดโรคฟันผุของผู้ป่วย



รูปที่ 3 องค์ประกอบในการพิจารณาการจัดการรอยโรคฟันผุ[32]

การจัดการรอยโรคฟันผุประกอบด้วย การจัดการกับรอยโรคและการดำเนินโรคฟันผุที่มีอยู่เดิม และจัดการกับความเสี่ยงการเกิดโรคฟันผุใหม่หรือการลุกลามของโรคฟันผุของผู้ป่วย ตามระดับความรุนแรง โดยมี 3 วิธีการ ดังนี้

1. การป้องกันรอยผุใหม่ (Preventing new caries)
2. วิธีการดูแลแบบไม่บูรณะ (Non-operative care of lesion; NOC)
3. วิธีการบูรณะโดยรักษาโครงสร้างเนื้อฟัน (Tooth Preserving operative care of lesion; TPOC)

โดยแนะนำแนวทางการจัดการฟันผุตามระดับความรุนแรงของรอยโรค และแบ่งเป็นชุดฟันน้ำนมและชุดฟันแท้ ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงแนวทางการจัดการฟันผุในฟันน้ำนมโดย ICCMS[32]

	ด้านบดเคี้ยว	ด้านประชิด	ด้านผิวเรียบ
Initial + Active	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ หรือ เคลือบหลุมร่องฟันร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ หรือ เคลือบผิวด้วยเรซิน หรือ infiltration ร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ ร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm
Initial + Inactive	ไม่ระบุการรักษาที่เฉพาะเจาะจง		
Moderate + Active	NOC : เคลือบหลุมร่องฟัน กรณีไม่สามารถเคลือบหลุมร่องฟันได้อาจใช้วิธีครอบฟันสำเร็จรูปโดยไม่ต้องกำจัดฟันผุ TPOC : อุดฟัน หรือ ใส่ครอบฟันสำเร็จรูป	พิจารณาระดับการผุจากการแยกฟัน กรณีผุไม่เป็นโพรง : NOC กรณีผุเป็นโพรง : TPOC	NOC : เคลือบฟันด้วยวัสดุเรซิน กรณีไม่สามารถเคลือบหลุมร่องฟันได้อาจใช้วิธีครอบฟันสำเร็จรูปโดยไม่ต้องกำจัดฟันผุ TPOC : อุดฟัน หรือใส่ครอบฟันสำเร็จรูป
Moderate + Inactive	TPOC : ในกรณีที่มีการสะสมของคราบจุลินทรีย์ หรือ เป็นบริเวณที่ต้องการความสวยงาม		
Extensive + Active	TPOC : อุดฟัน หรือ ใส่ครอบฟันสำเร็จรูป หากไม่สามารถบูรณะได้อาจพิจารณาถอนฟัน		
Extensive + Inactive	TPOC : ในกรณีที่มีการสะสมของคราบจุลินทรีย์ หรือ เป็นบริเวณที่ต้องการความสวยงาม		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 แนวทางการจัดการฟันผุในฟันแท้โดย ICCMS[32]

	ด้านบดเคี้ยว	ด้านประชิด	ด้านผิวเรียบ
Initial + Active	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ หรือ เคลือบหลุมร่องฟันร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ หรือ เคลือบผิวด้วยเรซิน หรือ infiltration ร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm	NOC : เคลือบฟลูออไรด์ที่ใช้โดยทันตแพทย์ ร่วมกับ OHI ใช้ยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ 1,000 ppm
Initial + Inactive	ไม่ระบุการรักษาที่เฉพาะเจาะจง		
Moderate + Active	NOC : เคลือบหลุมร่องฟัน TPOC : บูรณะฟันตามความเหมาะสม	พิจารณาระดับการผุจากการแยกฟัน กรณีผุไม่เป็นโพรง : NOC กรณีผุเป็นโพรง : TPOC	TPOC : บูรณะฟันตามความเหมาะสม
Moderate + Inactive	TPOC : ในกรณีที่มีการสะสมของคราบจุลินทรีย์	TPOC : กรณีต้องการความสวยงาม	
Extensive + Active	TPOC : บูรณะฟันตามความเหมาะสม		
Extensive + Inactive	TPOC : ในกรณีที่มีการสะสมของคราบจุลินทรีย์	TPOC : บูรณะฟันตามความเหมาะสม	

โดยสรุป การจัดการฟันผุด้านประชิด โดยแบ่งตาม ICDAS score มีดังนี้[33]

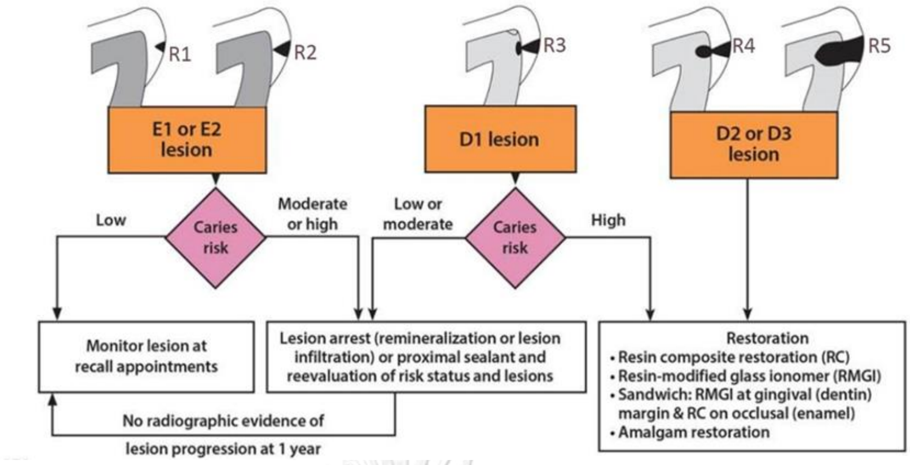
1. ฟันผุในระดับ ICDAS 1-2

- กรณีเป็น Inactive caries จะให้คำแนะนำในการดูแลรักษาสุขภาพช่องปากทั่วไป
- กรณีเป็น Active caries จะให้การรักษาโดยการคืนแร่ธาตุ หรือเคลือบหลุมร่องฟัน

ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากภาพถ่ายรังสีกัดปีก และความเสี่ยงในการเกิดฟันผุของผู้ป่วยร่วมด้วย ดังรูปที่ 4 หากผู้ป่วยมีความเสี่ยงการเกิดฟันผุต่ำ ให้นัดติดตามลักษณะรอยโรคเป็นระยะ

หากรอยโรคฟันผุอยู่ในชั้นเคลือบฟันยังไม่แตกเป็นโพรงและผู้ป่วยมีความเสี่ยงการเกิดฟันผุปานกลางถึงสูงจะให้การรักษาโดยหยุดยั้งการลุกลามได้แก่ การคืนแร่ธาตุ, Proximal sealant และติดตามผลเพื่อประเมินความเสี่ยงและลักษณะของรอยโรคต่อไป[32]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4 การจัดการรอยผุในด้านประชิด[32]

2. ฟันผุในระดับ ICDAS 3

หากพบฟันผุเป็นโพรงในด้านประชิดจะให้การบูรณะฟันแบบอนุรักษ์

3. ฟันผุในระดับ ICDAS 4

พิจารณาจากภาพถ่ายรังสีกัดปีก หากรอยโรคฟันผุอยู่ในชั้น Outer1/3 ของชั้นเนื้อฟัน แต่ผิวฟันยังไม่แตกเป็นโพรง และผู้ป่วยสามารถกลับมารับการตรวจได้อย่างสม่ำเสมอจะให้การรักษาโดยหยุดยั้งการลุกลาม ได้แก่ การคืนแร่ธาตุ, Proximal sealant และติดตามผลเพื่อประเมินความเสี่ยงและลักษณะของรอยโรคต่อไป หรือ ให้การบูรณะฟันแบบอนุรักษ์กรณีที่ผู้ป่วยไม่สามารถกลับมารับการตรวจได้อย่างสม่ำเสมอ

หากรอยโรคฟันผุอยู่ในชั้น Middle 1/3 ของชั้นเนื้อฟัน รวมทั้งกรณีฟันผุเป็นโพรงจะให้การบูรณะฟันแบบอนุรักษ์

4. ฟันผุในระดับ ICDAS 5-6

หากรอยโรคฟันผุอยู่ในชั้น inner 1/3 ของชั้นเนื้อฟัน ให้การบูรณะฟันแบบอนุรักษ์โดยเลือกกำจัดเฉพาะ Soft dentin

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุบูรณะสีเหมือนฟัน

เรซินคอมโพสิต

วัสดุบูรณะสีเหมือนฟันถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1940 ปัจจุบันมีการบูรณะฟันผุโดยใช้เรซินคอมโพสิตทดแทนอะมัลกัมมากขึ้น[11] โดยส่วนประกอบของเรซินคอมโพสิตประกอบด้วยส่วนของเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) และส่วนของวัสดุอัดแทรกที่มีพันธะทางเคมี (chemically bonded fillers) สามารถแบ่งประเภทของเรซินคอมโพสิตได้ด้วยขนาดอนุภาคของวัสดุอัดแทรก ซึ่งขนาดอนุภาคของวัสดุอัดแทรกของคอมโพสิตแต่ละประเภทจะส่งผลต่อความสามารถในการถูกขัดแต่ง ความสวยงาม การหดตัวจากปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ความลึกของปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ (polymerization depth) และคุณสมบัติเชิงกล (mechanical property) ยิ่งขนาดอนุภาคของวัสดุอัดแทรกมีขนาดเล็กจะทำได้สามารถขัดแต่งได้ง่าย และสวยงาม ในขณะที่ขนาดอนุภาคของวัสดุอัดแทรกใหญ่จะให้ความแข็งแรงได้มากกว่า โดยเรียกเรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดแตกต่างกันอย่างน้อยสองชนิดว่า ไฮบริดเรซินคอมโพสิต (hybrid resin composite) ซึ่งเป็นการพัฒนาความแข็งแรง ในขณะที่ยังให้ความสวยงามที่เหมาะสม[34]

ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของเรซินคอมโพสิตมีหลายประการ เช่น ประสบการณ์ของทันตแพทย์ ขนาดของวัสดุบูรณะ และตำแหน่งของฟัน[12] เนื่องจากการบูรณะฟันด้วยเรซินคอมโพสิตเป็นเทคนิคที่มีความไวสูงกว่าการบูรณะด้วยอะมัลกัม และใช้เวลาในการบูรณะมากกว่า การเลือกใช้คอมโพสิตเรซินจึงอาจไม่เหมาะสมในกรณีที่ไม่สามารถกันน้ำลายให้ปราศจากความชื้น หรือคนไข้ที่ไม่ให้ความร่วมมือ[35] มีหลักฐานที่แข็งแรงจากงานวิจัยวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) จากงานวิจัยสุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบ (randomized control trial) จำนวน 59 งานวิจัย พบอัตราการประสบความสำเร็จของทั้งเรซินคอมโพสิต และอะมัลกัมไม่แตกต่างกัน คือประมาณร้อยละ 90 หลังจากใช้งานไปเป็นระยะเวลา 10 ปี และพบว่าการใช้แผ่นยางกันน้ำลายขณะที่บูรณะจะเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุบูรณะทั้ง 2 ชนิดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[20] นอกจากนี้ยังมีหลักฐานจากงานงานวิจัยสุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบที่แสดงให้เห็นว่าการเกิดฟันผุซ้ำ เป็นเหตุผลหลักของความล้มเหลวในวัสดุบูรณะทั้งเรซินคอมโพสิต และอะมัลกัม[12, 36] อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตสามารถเกิดฟันผุซ้ำ (Secondary caries) ได้มากกว่าการบูรณะด้วยอะมัลกัมถึง 3.5 เท่า[12]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัสดุบูรณะที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive materials)

1. ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Glass-ionomer cements ; GICs)

ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมในหลายส่วน คือ ใช้เป็นวัสดุบูรณะ วัสดุรองพื้นโพรงฟัน (cavity liner/ base) และวัสดุยึดติด (luting cement) ตั้งแต่ช่วงปีค.ศ.1970[37] โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนผงเป็นแก้วฟลูออโรซิลิเกต และส่วนน้ำที่เป็นโพลิเมอร์ของกรดอะคริลิก เมื่อผสมส่วนผงและน้ำแล้วจะเกิดการทำปฏิกิริยาแบบกรด-ด่าง (acid-base reaction) ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมที่ออกมาในช่วงแรกมีเนื้อสัมผัสที่ยากต่อการใช้งาน มีความต้านทานการสึกต่ำ (poor wear resistance) และมีความเปราะ

ต่อมาซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมถูกพัฒนาให้มีลักษณะที่สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น เพิ่มความแข็งแรง และมีความต้านทานการสึกที่ดีมากยิ่งขึ้น[38] ระยะเวลาในการทำงาน (working time)ของซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมจะมีระยะเวลาสั้นๆเพียงไม่กี่นาที และจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวทันที แต่กว่าที่จะเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวเต็มที่ (setting time) จะใช้เวลานานประมาณ 24 ชั่วโมง[39] ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์หลายประการ ทำให้เหมาะสำหรับการใช้กับผู้ป่วยเด็กเช่น สามารถยึดติดกับเคลือบฟัน และเนื้อฟันด้วยพันธะทางเคมี มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงกับโครงสร้างฟัน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีความไวต่อความชื้นขณะบูรณะน้อยกว่าเรซินคอมโพสิต และมีความสามารถในการเก็บและปลดปล่อยฟลูออไรด์ ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บฟลูออไรด์ โดยสามารถกักเก็บฟลูออไรด์เพิ่มตามได้จากยาสีฟัน น้ำยาบ้วนปาก และการได้รับฟลูออไรด์เฉพาะที่จากทันตแพทย์ มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่ากลาสไอโอโนเมอร์สามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ในระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี[34, 40] อย่างไรก็ตามจากการทบทวนอย่างเป็นระบบแล้วไม่แนะนำให้บูรณะฟันผุคลาสทูด้วยซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม เนื่องจากการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตมีความสำเร็จที่มากกว่า หากสามารถความคุมความชื้นขณะที่บูรณะได้[41]

2. High-viscosity glass ionomer cements (HV-GICs)

เป็นวัสดุที่พัฒนาขึ้นจากซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม โดยมีการเติมแก้วฟลูออโรซิลิเกตขนาดเล็กเป็นวัสดุอัดแทรก เพื่อเป็นการเร่งความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการก่อตัวให้เร็วมากขึ้นเพื่อลดความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสมดุลน้ำเมื่อบูรณะไปแล้ว นอกจากนี้ยังพัฒนาให้มีความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอ (flexural strength) ลดความเสี่ยงในการเกิดการแตกในเนื้อวัสดุ (cohesive fracture) และมีความต้านทานต่อการสึกเพียงพอที่จะยอมรับได้ทางคลินิก[42] HV-GICs ถูกผลิตมาใน 2 รูปแบบคือ รูปแบบผงกับน้ำ และรูปแบบแคปซูล อย่างไรก็ตามในบางการศึกษายังรวมวัสดุกลุ่มนี้ว่าเป็นซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิมอยู่[43]

3. กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Resin-modified glass-ionomer cements ; RM-GICs)

ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินยังคงเกิดการทำปฏิกิริยาแบบกรด-ด่างเช่นเดียวกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม แต่จะเกิดโพลิเมอไรเซชันด้วยแสงจากการเติมอนุมูลอิสระ (radical polymerization) ของเมธาคลิเลทโมโนเมอร์ (methacrylate monomer) ร่วมด้วย[44] โดยวัตถุประสงค์ของการเติมเรซินเพื่อลดระยะเวลาในการก่อตัว (setting time) พัฒนาคุณสมบัติเชิงกลให้ดียิ่งขึ้น ลดความไวต่อการปนเปื้อนความชื้นหลังการบูรณะเมื่อเทียบกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม[45] RM-GICs ถูกผลิตมาใน 2 รูปแบบคือ รูปแบบผงกับน้ำ และ รูปแบบแคปซูล เนื่องจาก RM-GICs ต้องใช้แสงในการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน การบูรณะจึงต้องทำเป็นชั้นๆ โดยความหนาไม่เกินชั้นละ 2 มิลลิเมตร

กลไกการเก็บและปลดปล่อยฟลูออไรด์ของ RM-GICs จะมีลักษณะเดียวกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม อย่างไรก็ตามพบว่าฟลูออไรด์ที่ปล่อยออกมาจาก RM-GICs มีปริมาณน้อยกว่า ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ชนิดดั้งเดิม และ HV-GICs เนื่องจากปฏิกิริยาของเรซินไปจำกัดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมในช่องปาก[45, 46] แต่จากข้อมูลการวิเคราะห์อภิมานแสดงให้เห็นว่าการบูรณะด้วย RM-GICs สามารถป้องกันฟันผุได้ดีกว่าการบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิต[47]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. คอมโพเมอร์ (Compomer)

คอมโพเมอร์มาจากการรวมกันของคำว่า คอมโพสิต และ ไอโอโนเมอร์ โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ โมโนเมอร์ที่เป็นสารอินทรีย์ (organic monomer) และ ส่วนวัสดุอัดแทรกที่เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic fillers) คือ silinated reactive FAS ซึ่งไปจับกับเรซินเมทริกซ์ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุดียิ่งขึ้น และสามารถปล่อยฟลูออไรด์ไอออนได้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารเริ่มปฏิกิริยาโพลิเมอร์ด้วยแสง (photoinitiators) และโมโนเมอร์ในกลุ่มคาร์บอกซิลิกแอซิด การแข็งตัวเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรซ์โดยการกระตุ้นด้วยแสงเช่นเดียวกับเรซินคอมโพสิต การใช้คอมโพเมอร์ในการบูรณะจึงจำเป็นต้องแบ่งเป็นชั้น ชั้นละไม่เกิน 2 มิลลิเมตรเพื่อให้แสงสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรซ์ได้อย่างสมบูรณ์[43]

ฟลูออไรด์ไอออนที่ปล่อยออกมาจากคอมโพเมอร์จะสามารถปล่อยออกมาในระยะเวลาสั้นๆ และมีปริมาณต่ำมาก เมื่อเทียบกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ทั้งชนิดดั้งเดิม HV-GICs และ RM-GICs เนื่องจากหลังเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวแล้ว ฟลูออไรด์ไอออนที่อยู่ในคอมโพเมอร์จะยังยึดเกาะอยู่กับวัสดุอัดแทรก ไม่เป็นอิสระเหมือนฟลูออไรด์ที่อยู่ในซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ ดังนั้นในช่วงแรกหลังการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรซ์ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง คอมโพเมอร์จะมีคุณสมบัติไม่ต่างจากเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์[48]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate nanocomposite)

คือวัสดุบูรณะในกลุ่มของเรซินคอมโพสิตที่สามารถปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตไอออน ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเคลือบฟันคือ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite) โดยประกอบไปด้วย แคลเซียม (calcium) 5 ส่วน ฟอสเฟต (phosphate) 3 ส่วน และกลุ่มไฮดรอกซี (hydroxyl group) 1 ส่วน ซึ่งการเกิดกระบวนการคืนแร่ธาตุจะทำให้เกิดเป็น ฟลูออโรอะพาไทท์ เมื่อกลุ่มไฮดรอกซีถูกแทนที่ด้วยฟลูออไรด์ไอออน ดังนั้นวัสดุบูรณะที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นเป็นวัสดุบูรณะที่มีส่วนประกอบของเรซินและสามารถปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตซึ่งเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของฟันจึงช่วยให้เกิดการคืนแร่ธาตุที่บริเวณโดยรอบของวัสดุบูรณะได้[13, 24]

การพัฒนาวัสดุเหล่านี้เริ่มมาจาก การเติมแคลเซียมฟอสเฟต (CaP) เป็นวัสดุอัดแทรกในเรซินคอมโพสิต จากงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าคอมโพสิตที่เติมแคลเซียมฟอสเฟตนี้ สามารถทำให้เกิดการคืนแร่ธาตุของผิวฟันได้ แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าคุณสมบัติเชิงกลของเรซินคอมโพสิตกลับด้อยลง[24, 49] ต่อมาในปัจจุบันได้พัฒนาให้แคลเซียมฟอสเฟตมีอนุภาคขนาดเล็กลงอยู่ในระดับนาโน (nanoparticles) ซึ่งมีขนาดประมาณ 100 ไมโครเมตร จึงเป็นการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของเรซินคอมโพสิตให้ดีมากขึ้นเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิตทั่วไป[24, 50] และเรซินคอมโพสิตชนิดที่เติมแคลเซียมฟอสเฟตขนาดอนุภาคนาโนนี้ยังช่วยทำให้เกิดสภาวะเป็นกลางในขณะที่สภาวะช่องปากเป็นกรด[25] รวมทั้งสามารถส่งเสริมให้ฟันเกิดการคืนแร่ธาตุทั้งในการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ และการศึกษาในสิ่งมีชีวิต[26, 27]

จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Weir และคณะในปีค.ศ. 2012 ที่ศึกษาการคืนแร่ธาตุของชิ้นเคลือบฟันกรามแท้ที่ทำให้มีการสูญเสียแร่ธาตุ เมื่อสัมผัสอยู่ภายใต้วัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยแร่ธาตุ และชิ้นเคลือบฟันที่ไม่อยู่ภายใต้วัสดุใดๆ โดยการประเมินจากเครื่องไมโครเรดิโอกราฟเชิงปริมาณ (Quantitative microradiography) พบว่าชิ้นเคลือบฟันที่สัมผัสอยู่ภายใต้วัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต มีการคืนแร่ธาตุมากกว่าอีก 2 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ[26] สอดคล้องกับการศึกษาในช่องปากมนุษย์ ของ Melo และคณะในปี ค.ศ.2013 ที่ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งฟันผุ และการเกาะของคราบจุลินทรีย์บริเวณวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต กับคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยแร่ธาตุที่บูรณะในชิ้นฟันจากวัว แล้วนำมายึดกับเครื่องมือถอดได้ ใส่ไว้ในช่องปากของกลุ่มตัวอย่าง 25 คนเป็นเวลา 14 วัน พบว่าเคลือบฟันที่อยู่รอบวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตเกิดรอยโรคฟันผุน้อยกว่าเคลือบฟันที่อยู่รอบคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยแร่ธาตุ เมื่อประเมินด้วยเครื่อง ไมโครเรดิโอกราฟ แต่ไม่พบความแตกต่างของปริมาณคราบจุลินทรีย์ที่เกาะบนวัสดุทั้งสอง[27]

วัสดุบูรณะนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ถูกผลิตโดยบริษัทผู้จัดจำหน่าย เช่น Activa™ bioactive-restorative™ ของบริษัท Pulpdent ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์โดยใช้สารเคมีและแสงกระตุ้นร่วมกัน (dual cure) จึงสามารถใช้บูรณะให้มีความหนา 4 mm ได้โดยไม่ต้องแบ่งการอุดเป็นชั้นๆ ซึ่งมีการศึกษาปริมาณการปลดปล่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ฟลูออไรด์และแคลเซียมไอออน เปรียบเทียบกับ RM-GICs พบว่า Activa™ มีปริมาณแคลเซียม และฟอสเฟตไอออนที่ปล่อยออกมามากกว่า RM-GICs อย่างมีนัยสำคัญ[51, 52] แต่มีปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่ปล่อยออกมาน้อยกว่า RM-GICs อย่างมีนัยสำคัญ[52] ปัจจุบันบริษัท Parkell ได้พัฒนาและวางจำหน่ายวัสดุบูรณะเป็น Bulk-fill dual-cure composite ชนิดปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟต ในชื่อว่า Predicta™ bioactive bulk โดยได้พัฒนาให้มีความแข็งแรงทางแรงกด (compressive strength) และความต้านทางแรงดัด (flexural strength) ให้สูงขึ้น รวมถึงการเติมสารทึบรังสี เพื่อสามารถมองเห็นความสมบูรณ์ของวัสดุได้ชัดเจนจากการถ่ายภาพรังสี อย่างไรก็ตามการศึกษาของวัสดุชนิดนี้ยังจำกัดเพียงการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุโดยบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น และยังไม่มีการศึกษาที่นำมาเปรียบเทียบความสามารถในการคืนแร่ธาตุต่อผิวฟันกับวัสดุบูรณะชนิดอื่นๆ

การวัดผลการสูญเสียและคืนแร่ธาตุ
(Measurement of demineralization and remineralization)

การศึกษาจากกระบวนการสูญเสียและคืนแร่ธาตุ ในการเกิดฟันผุ เพื่อดูความรุนแรงของรอยโรค ในเชิงปริมาณจะสามารถวัดได้จากปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุบนผิวฟัน โดยการสูญเสียแร่ธาตุนั้นส่งผลนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของฟัน เช่น ความแข็งผิวฟัน ความสามารถในการหักเหแสง เป็นต้น[53] ซึ่งวิธีการศึกษาแต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ผู้ศึกษาจึงต้องพิจารณาและเลือกวิธีให้เหมาะสมกับงานวิจัย[54]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การวัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ (Transverse microradiography; TMR)

การวัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ ถือเป็นวิธีมาตรฐาน (gold standard) ในการวัดปริมาณการสูญเสีย หรือได้รับแร่ธาตุ ในการทดลองที่ทำให้เกิดฟันผุในระยะเริ่มต้น ซึ่งใช้วิธีการวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ความยาวคลื่นค่าเดียวของชิ้นฟันเทียบกับค่าการดูดกลืนมาตรฐาน โดยมีเครื่องมือคือ ไมโครสโคปเดนสิโตมิเตอร์ (Microscope densitometer) ช่วยคำนวณปริมาณแร่ธาตุในฟัน[54] แต่มีข้อจำกัดและข้อด้อยที่สำคัญคือ การวัดด้วยวิธีนี้จะทำลายชิ้นฟันที่วัด จึงไม่สามารถวัดซ้ำได้ และมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการทำนาน เนื่องจากชิ้นฟันที่เตรียมจะต้องมีพื้นผิวเรียบและหนาไม่เกิน 100 ไมโครเมตรเพื่อความ

แม่นยำในการวัด ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือ กรณีวัดปริมาณแร่ธาตุในชั้นเนื้อฟัน หากมีความแห้งเกินไปเนื้อฟันอาจหดตัวทำให้ผลคลาดเคลื่อนได้[55]

2. การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ (Polarized light microscope)

การวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ มักใช้เป็นวิธีวัดทางคุณภาพ (qualitative method) ใช้ในกรณีที่ยังมีผิวฟันปกติอยู่ข้างๆรอยฟันผุ[55] โดยกล้องจุลทรรศน์ชนิดนี้จะมีแผ่นกรอง 2 ชั้นเพื่อกรองคลื่นแสง ใช้กับวัตถุที่มีผลึก หากเกิดการหักเหแสงได้ 2 ทิศทางหรือที่เรียกว่าคุณสมบัติไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) แผ่นกรองทั้ง 2 ชั้นนี้จะสร้างภาพที่มีความเปรียบต่าง (contrast) ที่ดีออกมาจนสามารถแสดงองค์ประกอบวัตถุได้ละเอียด ใช้ตรวจสอบการสูญเสียแร่ธาตุในฟันได้เนื่องจากฟันปกติกับฟันที่สูญเสียแร่ธาตุจะมีการหักเหแสงที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เกิดภาพที่มีความเปรียบต่าง[56] ในทางปฏิบัติการวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสงโพลาไรซ์ใช้ในการช่วยประเมินความลึกของรอยผุที่ผิวนอก เมื่อไม่สามารถวัดได้ด้วยวิธี TMR อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการตัดชิ้นฟันให้มีความหนา 50-100 ไมโครเมตร และการจุ่มชิ้นฟันในสารละลายที่มีค่าดัชนีหักเหต่าง ๆ จึงมีขั้นตอนและใช้เวลาทำมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ แต่ก็มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า อีกทั้งผลที่จะสามารถบอกได้เฉพาะความลึกของรอยผุ แต่ไม่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุได้ วิธีนี้จึงมักใช้ในการศึกษาเชิงคุณภาพ[54, 55]

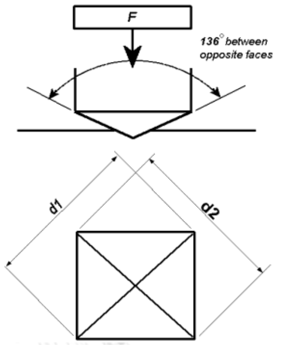
3. การวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาคชนิดตัดขวาง (Cross-sectional microhardness)

การวัดค่าความแข็งผิวระดับจุลภาค จะใช้หัวเพชรรูปร่างพิเศษกดลงไปบนชิ้นฟันที่ถูกตัดในแนวขวางให้เรียบและเป็นระนาบเดียว ในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งจะทำให้ชิ้นฟันเกิดรอยกดขึ้นอย่างถาวร และวัดขนาดของรอยกดเพื่อนำมาประเมินความแข็งของชิ้นฟัน สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุในทางอ้อมได้ โดยหากรอยกดมีความยาวเพิ่มขึ้นหมายถึงชิ้นฟันมีการสูญเสียแร่ธาตุ แต่หากความยาวรอยกดลดลงหมายถึงชิ้นฟันมีการคืนแร่ธาตุ ผลที่ได้จากวิธีนี้มีความสัมพันธ์กับการวัดด้วยวิธีมาตรฐานอย่าง ทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ[57-59] แต่ข้อจำกัดคือความแข็งผิวระดับจุลภาคที่วัดจากวิธีนี้จะไม่รวมพื้นผิว 25 ไมโครเมตรที่อยู่ด้านนอกสุดของชิ้นงาน และเป็นวิธีที่ทำลายชิ้นตัวอย่างจึงไม่สามารถ

ทำซ้ำที่ตำแหน่งเดิมได้[54] หัวกดเพชรที่ใช้ในการวัดความแข็งผิวระดับจุลภาคที่นิยมมี 2 ชนิด ได้แก่[57, 59]

3.1 หัวกดวิกเกอร์ส

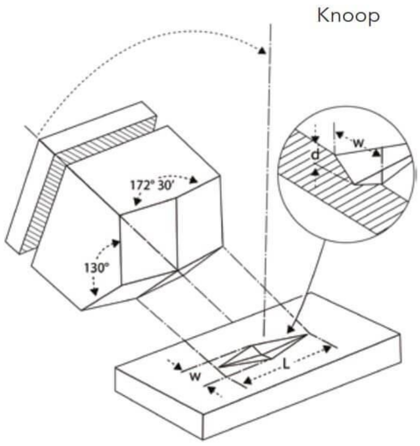
เป็นหัวกดเพชรรูปทรงพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยยอดแหลมทำมุมกว้าง 136 องศา โดยความแข็งผิววิกเกอร์ส (Vickers Hardness,H_v) จะคำนวณจากแรงที่ใช้กดและความยาวเส้นทแยงมุมของรอยกด รอยกดที่ได้จะลึกประมาณ 1 ใน 7 ของความยาวเส้นทแยงมุม[60, 61]



รูปที่ 5 หัวกดวิกเกอร์ส (Vickers)[61]

3.2 หัวกดนูป

เป็นหัวกดเพชรรูปทรงพีระมิดขนมเปียกปูนที่ทำมุม 130 องศาและ 172 องศา 30 ลิปดา รอยกดจะมีเส้นทแยงมุม 2 เส้นโดยเส้นยาว (L) จะยาวเป็น 7 เท่าของเส้นสั้น (W) ความแข็งผิวนูป (Knoop Hardness,H_k) จะคำนวณจากแรงที่ใช้กดและความยาวเส้นทแยงมุมเส้นยาว (L) รอยกดที่ได้จะลึกประมาณ 1 ใน 30 ของความยาวเส้นทแยงมุม หัวกดนูป สามารถใช้กับชิ้นงานที่มีความเปราะและบางเนื่องจากหัวกดนูปมีรอยกดที่ตื้นกว่าหัวกดวิกเกอร์สจึงเสี่ยงต่อการที่ชิ้นงานจะแตกหักน้อยกว่า[60, 61]



รูปที่ 6 หัวกดนูป (Knoop)[61]

4. การวัดด้วยไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟฟี่ (Micro-computed tomography)

คอมพิวเตดโทโมกราฟฟี่เกิดขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ. 1970 คือ การถ่ายภาพรังสีที่มีการให้รังสีเอ็กซ์จากหลายทิศทาง ทำให้ได้เป็นภาพสามมิติออกมา ซึ่งต่อมาเกิดการพัฒนามาเป็นไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟฟี่ในปีค.ศ. 1980 โดยทำให้มีความละเอียดมากขึ้นกว่าคือมีวอกเซลหรือปริมาตรที่เล็กที่สุดที่รวมตัวกันเป็นภาพเล็กกว่าคอมพิวเตดโทโมกราฟฟี่ทั่วไปถึง 1,000,000 เท่า สามารถนำมาวัดปริมาณความหนาแน่นของแร่ธาตุในฟันได้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ รวมทั้งสามารถแยกความแตกต่างของลักษณะการกระจายตัวของแร่ธาตุที่อยู่ในชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ ข้อดีของวิธีการนี้คือ ขั้นตอนการศึกษาไม่ทำลายชิ้นฟัน ไม่จำเป็นต้องตัดชิ้นตัวอย่าง ดังนั้นหลังการวัดชิ้นฟันนี้ยังสามารถนำไปศึกษาต่อได้ รวมถึงสามารถทำการวัดซ้ำได้ โดยขนาดของชิ้นฟันที่เล็กที่สุดที่จะวัดได้ ขึ้นกับขนาดของลำรังสีเอ็กซ์[62] แต่อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณความหนาแน่นของแร่ธาตุด้วยไมโครคอมพิวเตดโทโมกราฟฟี่ มีข้อเสีย ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงเนื่องจากต้องมีอุปกรณ์และระบบซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์โดยเฉพาะ และใช้เวลาในการถ่ายภาพรังสีและวิเคราะห์ออกมาเป็นภาพสามมิตินาน[63]

5. เครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ Quantitative light-induced fluorescence (QLF)

เป็นเครื่องวัดความเข้มข้นของฟลูออเรสเซนต์ที่เปล่งออกมาจากชิ้นฟันด้วยระบบที่สามารถกรองเฉพาะแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ออกมา โดยใช้หลักการเรืองแสงหรือฟลูออเรสเซนต์ของฟันซึ่งฟลูออเรสเซนต์จะเกิดขึ้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบวัตถุและสะท้อนกลับออกมาเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นต่างออกไปจากเดิม ทำได้โดยใช้ลำแสงเหนือม่วงส่องไปที่ชิ้นฟันผิวฟันปกติจะเกิดการเรืองแสงแต่หากมีการสูญเสียแร่ธาตุของผิวฟันหรือฟันผุระยะเริ่มต้นบริเวณนั้นจะไม่มีการเรืองแสง[64]

ฟลูออเรสเซนต์เป็นผลจากแหล่งกำเนิดฟลูออเรสเซนต์ที่เรียกว่า ฟลูออโรฟอร์ (fluorophore) บริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุจะมีการเสียโมเลกุลเหล่านี้ไปทำให้มีฟลูออเรสเซนต์ที่แตกต่างไปจากผิวเคลือบฟันปกติเนื่องจากเกิดการดูดกลืนแสงและสะท้อนแสงที่เปลี่ยนไปจากเดิม[65] ฟลูออโรฟอร์จะพบมากที่บริเวณรอยต่อของเคลือบฟันและเนื้อฟัน ทำให้สามารถปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ออกมาได้มาก ส่วนบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุจะพบฟลูออโรฟอร์น้อยลงไป ร่วมกับมีพื้นผิวที่ไม่เรียบทำให้แสงที่ตกกระทบ สะท้อนและกระเจิงออกไปมากกว่าผิวเคลือบฟันปกติบริเวณนั้นจึงมีฟลูออเรสเซนต์น้อย ซึ่งการอ่านผลของ QLF ต้องใช้ความต่าง (contrast) ระหว่างฟลูออเรสเซนต์จากบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ และบริเวณผิวเคลือบฟันปกติ จึงจำเป็นต้องเก็บเนื้อฟันด้านใต้ผิวเคลือบฟันไว้ เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดฟลูออเรสเซนต์[66]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ ชนิดดิจิทัล(Quantitative light-induced fluorescence-Digital ; QLF-D) เป็นเครื่องมือที่พัฒนามาจากคิวแอลเอฟเดิมโดยมีการปรับเปลี่ยนตัวกรองแสง ใช้แหล่งกำเนิดแสงสีฟ้าที่มีความยาวคลื่น 405 นาโนเมตรและแสงสีขาว รวมทั้งเพิ่มการใช้กล้องสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (DSLR, digital single-lens reflex camera) ที่มีความละเอียดสูงเข้ามาเพื่อบันทึกภาพของรอยโรค เมื่อกดชัตเตอร์หนึ่งครั้งจะมีการบันทึกภาพ 2 ภาพ ได้แก่ ภาพที่ได้จากแสงปกติ และภาพที่แสดงฟลูออเรสเซนต์นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุที่สูญเสียไปโดยใช้โปรแกรม โดยการวิเคราะห์ ต้องมีการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการศึกษาโดยพื้นที่ที่เลือกนั้น ต้องประกอบไปด้วยส่วนของผิวเคลือบฟันปกติล้อมรอบรอยโรค หรือบริเวณที่สูญเสียแร่ธาตุทั้งหมด[67] โดยจะแสดงผลเป็น

ค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (percentage fluorescence loss, ΔF) ซึ่งแสดงถึงความลึกของรอยโรค ขนาดของรอยโรคหรือบริเวณที่มีการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และยังนำค่า ΔF ไปคำนวณกับพื้นที่ในหน่วย ตารางมิลลิเมตร แล้วแสดงผลเป็นปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ในบริเวณรอยโรคนั้นๆ (ΔQ) ได้โดย ΔF ของผิวฟันปกติจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ -13.8 ส่วนรอยผุในชั้นเคลือบฟันมีค่า ΔF น้อยกว่า -13.8 ถึง -28.3 และในรอยผุชั้นเนื้อฟันมีค่าน้อยกว่า -28.3[68]

จากการศึกษาของ Tranaeus และคณะในเรื่องความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) และความสามารถในการให้ผลซ้ำ (reproducibility) ของการใช้ QLF ในการวัดรอยผุเริ่มต้นบนผิวเรียบของฟัน พบว่า QLF มีความสามารถในการวัดซ้ำและให้ผลซ้ำได้ค่อนข้างสูง[69] ต่อมาในปีค.ศ.2002 Pretty และคณะได้ทดสอบความ น่าเชื่อถือ (reliability) ในการใช้ QLF โดยนำฟันกรามแท้ซี่ที่สามมาสร้างรอยโรคจำลองที่มีขนาดและตำแหน่งที่แตกต่างกันทั้งหมด 16 ซี่ และส่งให้ผู้ตรวจสอบทั้งหมด 10 คน วัดค่าจากเครื่อง QLF ทั้งหมด 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ พบว่า QLF เป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือสูง ไม่ว่าจะเป็นความเชื่อถือได้ในตัว ผู้ตรวจและความเชื่อถือได้ระหว่างผู้ตรวจ โดยแนะนำว่าผู้หัดใช้โปรแกรมใหม่ควรฝึกการใช้เครื่องมือให้มีประสบการณ์ก่อน นอกจากนี้การตรวจซ้ำหลายๆครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้[70]

การใช้ QLF เพื่อวัดการสูญเสียแร่ธาตุในฟันน้ำนมเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ ทั้งการใช้ทางคลินิกและในห้องปฏิบัติการ[71, 72] มีการศึกษาที่เปรียบเทียบใช้ QLF ในการวัดปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของฟันน้ำนมกับฟันแท้ และศึกษาความสัมพันธ์ของการวัดการสูญเสียแร่ธาตุด้วย QLF กับการวัดความลึกของรอยโรคด้วย Transverse microradiography (TMR) ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานในการวัดการสูญเสียแร่ธาตุเชิงปริมาณในปีค.ศ. 2001 ของ Ando และคณะพบว่าฟันน้ำนมที่ผ่านการแช่สารละลายที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุในระยะเวลาต่างๆ มีค่า ΔF ที่ได้จาก QLF สัมพันธ์กับการวัดความลึกของรอยโรคด้วย TMR ในระดับที่ดีมากกว่าการวัดในฟันแท้ นอกจากนี้การใช้ QLF ยังสามารถวัดรอยผุระยะเริ่มต้นในฟันน้ำนมได้ดีกว่าฟันแท้ โดยค่า ΔF เฉลี่ยที่ -14.3 จะเทียบเท่ากับความลึกของรอยโรคเฉลี่ย 56.0 ไมโครเมตร เมื่อวัดด้วย TMR [73] และจากการศึกษาทางคลินิกของ Kim และคณะที่ศึกษาค่า

ΔF ของรอยผุระยะเริ่มต้นในฟันน้ำนมที่สามารถพบการคืนแร่ธาตุจากการทา 1.23% acidulated phosphate fluoride อย่างมีนัยสำคัญ พบว่ารอยผุระยะเริ่มต้นที่อยู่ในระดับ ICDAS 1 และ ICDAS 2 ส่วนใหญ่จะมีค่า ΔF อยู่ระหว่าง -10 ไม่น้อยกว่า -20 โดยค่า ΔF ที่น้อยกว่า -13 จะสามารถพบการคืนแร่ธาตุได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[74] QLF-D เป็นวิธีที่ไม่ทำลายชิ้นฟัน สามารถนำชิ้นฟันไปใช้ศึกษาต่อได้ ใช้งานง่าย และใช้เวลาในการประเมินผลอย่างรวดเร็ว สามารถวัดการสูญเสียแร่ธาตุของรอยโรคเริ่มต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับการวัดด้วยไมโครเรดิโอกราฟฟี (microradiography)[23]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 การศึกษาการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของฟันน้ำนมข้างเคียงที่สัมผัสกับฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยวัสดุที่มีการปลดปล่อยฟลูออไรด์

ผู้แต่ง,ปี	ขนาดประชากร	ชุดฟันซี่ฟัน	ระยะเวลา	การศึกษา	ผลการศึกษา
Qvist และคณะ 2010[75]	1459 คน 2.6-15.3 ปี	-ฟันกรามน้ำนม -ฟันกรามน้อยถาวร	8 ปี	ด้านประชิดของฟันที่อยู่ติดกับฟันที่มีการบูรณะคลาสทู ด้วยวัสดุบูรณะ 4 กลุ่มโดยที่ด้านประชิดนี้มีทั้งจากฟันกรามน้ำนมและฟันกรามน้อย รวมได้ 1341 ด้าน กลุ่ม 1 ด้านประชิดที่ติดกับวัสดุอะมัลกัม (Dispersalloy®) 220 ด้าน กลุ่ม 2 ด้านประชิดที่ติดกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ (Ketac-Fil®, Ketac-Molar®) 226 ด้าน กลุ่ม 3 ด้านประชิดที่ติดกับวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Fuji II LC®, PhotacFil® Vitremer®) 522 ด้าน กลุ่ม 4 ด้านประชิดที่ติดกับวัสดุคอมโพเมอร์ (Dyract®, Dyract AP®, Compoglass®) 373 ด้าน -วัดผลโดยการตรวจประเมินทางคลินิก ร่วมกับภาพถ่ายรังสีในกรณีที่สามารถถ่ายได้ โดยมีระยะเรียกมาติดตาม 4-16 เดือนตามระดับความเสี่ยงของผู้ทดลอง	พบว่าร้อยละ 28 ของด้านประชิดมีการผุลุกลามจนต้องบูรณะ ซึ่งพบว่าเป็นด้านประชิดที่ติดกับวัสดุอะมัลกัมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น จึงสรุปได้ว่าวัสดุในกลุ่มที่มีความสามารถในการปลดปล่อยฟลูออไรด์ (กลุ่ม 2 3 4) ช่วยหยุดยั้งการผุลุกลามของด้านประชิดที่อยู่ติดกันได้
Guglielmi และคณะ 2015[76]	-ชิ้นฟัน 240 ชิ้น -ผู้ทดลอง 10 คน	ฟันเขี้ยวน้ำนม	7 วัน 14 วัน	-ใช้ชิ้นฟันด้านแก้มของฟันเขี้ยวน้ำนม โดยนำชิ้นฟันมาสร้างรอยผุจำลอง -เตรียมชิ้นวัสดุบูรณะเป็นรูปทรงกระบอก โดยแบ่งเป็น 6 กลุ่ม กลุ่ม 1 วัสดุเรซินคอมโพสิต (Z350) กลุ่ม 2 วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ความหนืดสูง (Ketac Molar®) กลุ่ม 3 วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ความหนืดสูงแบบแคปซูล (RivaSelf Cure®)	ผลทดลองในห้องปฏิบัติการและ In Situ ให้ผลคล้ายกัน นั่นคือรอยผุจากชิ้นฟันที่ติดกับวัสดุเรซินคอมโพสิตมีการสูญเสียแร่ธาตุมากที่สุด ส่วนวัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ความหนืดสูงสามารถยับยั้งการสูญเสียแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

				กลุ่ม 4 วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซิน (Vitremer®) กลุ่ม 5 วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ชนิดดัดแปลงด้วยเรซินอนุภาคนาโน (Ketac Nano®) กลุ่ม 6 วัสดุคอมโพเมอร์ (Dyract®) ทดลองในห้องปฏิบัติการ : นำชิ้นฟันมาติดกับวัสดุบูรณะแต่ละกลุ่ม แล้วจึงไปเข้ากระบวนการเลียนแบบสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปาก 7 และ14 วัน ทดลอง In Situ : : นำชิ้นฟันมาติดกับวัสดุบูรณะแต่ละกลุ่มไปติดในช่องปากด้วยเครื่องมือบริเวณเพดานปากเป็นเวลา 7 และ14 วัน -วัดผลด้วยการวัดความแข็งผิวแนวตัดขวางระดับจุลภาคของรอยผุจำลองที่เวลา 7 และ 14 วัน	ธาตุบริเวณรอยผุได้ดีที่สุดทั้งในระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยวัสดุในกลุ่ม 4,5 และ 6 แม้จะสามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุแต่ไม่มากเท่ากลาสไอโอโนเมอร์ความหนืดสูง แต่ก็ไม่น้อยเท่าวัสดุเรซินคอมโพสิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory study) เพื่อเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วย นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต เปรียบเทียบกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ โดยใช้ QLF-D ในการประเมิน และทดสอบปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัส ที่ปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากรเป้าหมาย (Target population) ฟันที่มีรอยผุระยะเริ่มต้น
2. ประชากรที่ศึกษา (Study population) ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2 ของมนุษย์ที่ถูกถอน
3. กลุ่มตัวอย่าง (Sample) ชิ้นฟันตัวอย่างที่เตรียมจากด้านใกล้แก้มของฟันกรามซี่ที่ 1 หรือ 2 ที่ผ่านเกณฑ์คัดเข้าในการเลือกตัวอย่างเข้าศึกษา

<u>เกณฑ์การคัดเลือกตัวอย่างทีใช้ในการศึกษา</u>

เกณฑ์การคัดเข้า

ฟันกรามน้ำนม ซี่ที่ 1 หรือ 2 ของมนุษย์ที่มีเคลือบฟันด้านใกล้แก้มปราศจากรอยผุ รอยร้าว วัสดุบูรณะ หรือความผิดปกติของผิวฟัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สิ่งแทรกแซง

วัสดุที่ใช้ในการบูรณะฟันซี่ข้างเคียง

1. กลุ่มทดลอง
    - 1.1 Predicta™ bioactive bulk (Parkell, Sweden)
2. กลุ่มควบคุม
    - 2.1 Equia Forte® (GC, Japan)
    - 2.2 Filtek™ Z350 (3M ESPE, United states)

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรมจีพาวเวอร์ เวอร์ชั่น 3.1.9.3 โดยเลือกใช้สถิติทดสอบเอฟ (F test: ANOVA: Fixed effects, omnibus, one-way) และเลือกอำนาจการในการทดสอบเป็นการประมาณขนาดตัวอย่างในงานวิจัย (A Priori: Compute required sample size) ได้ขนาดอิทธิพล (Effect size) เท่ากับ 0.427 โดยคำนวณจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการของ Veeramani และคณะ ในปีค.ศ. 2021 ซึ่งได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุแก่ชิ้นฟันน้ำนมและฟันแท้ด้วยแคลเซียมซูโครสฟอสเฟต กับ แคลเซียมซูโครสฟอสเฟตร่วมกับน้ำยาบ้วนปากโซเดียมฟลูออไรด์ และกลุ่มควบคุม [77] ซึ่งการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างนี้ได้กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power, 1-β) เท่ากับ 0.80 และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนชนิดที่ 1 คือ การไม่ยอมรับสมมติฐานทั้งที่สมมติฐานนั้นเป็นจริง (Type I error, α) เท่ากับ 0.05

ผลจากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างพบว่าต้องมีจำนวนชิ้นฟันอย่างน้อย 54 ชิ้น หรือกลุ่มละ 18 ชิ้น เมื่อประมาณการสูญเสียจำนวนตัวอย่างก่อนสิ้นสุดงานวิจัยร้อยละ 10 จะทำให้แต่ละกลุ่มมีชิ้นฟันตัวอย่างกลุ่มละ 20 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 60 ชิ้น

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. การเตรียมชิ้นฟัน

   1.1 ขวดสำหรับบรรจุฟัน

   1.2 สารละลายไทมอลความเข้มข้น 0.1%

   1.3 ผงขัดพิวมิสแบบไม่ผสมฟลูออไรด์

   1.4 กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereomicroscope Olympus, SZ61, Japan)

   1.5 เครื่องขัดผิววัสดุ (polishing machine Minitech 233, Presi, France)

   1.6 เครื่องตัดความเร็วต่ำ (low speed cutting machine Isomet 1000 TM, Buehler, USA)

   1.7 แปรงสีฟันและอุปกรณ์ขัดทำความสะอาดฟัน

   1.8 กระดาษทราย เบอร์ 1200

   1.9 น้ำยาทาเล็บสีใส (Revlon, New York)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. การเตรียมฐานอะคริลิกและโมเดลฟันซี่ข้างเคียง

2.1 อะคริลิกเรซินแบบบ่มตัวเองและแบบหล่อ (mold)

2.2 ซิลิโคนสำหรับทำแม่พิมพ์เพื่อหล่ออะคริลิก

2.3 ด้ามกรอความเร็วสูง (high speed handipiece)

2.4 ด้ามกรอความเร็วต่ำ และข้อต่อสำหรับหัวขัด (low speed handipiece and prophy head)

2.5 หัวกรอเพชรความเร็วสูง เบอร์ 204 (length 4 mm , ISO Ø 1/10 mm : 014)

3. การบูรณะในแบบจำลองฟันซี่ข้างเคียง

3.1 วัสดุบูรณะนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมและฟอสเฟต (Predicta™ Bioactive Bulk, Sweden)

3.2 วัสดุบูรณะซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®, Japan)

3.3 วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350, USA)

3.4 เครื่องฉายแสง (light curing unit: EliparTrilight, 3M, USA)

3.5 Tofflemire matrix

4. กระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก

4.1 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

4.2 สารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ประกอบด้วย calcium 2.0 mmol/L ($Ca(NO_3)_2$•$4H_2O$ 0.47 g/L), phosphate 2.0 mmol/L (KH_2PO_4 0.27 g/L), acetic acid 75.0 mmol/L (CH_3COOH 4.5 g/L) ปรับให้มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.4 [78]

4.3 สารละลายสำหรับทำให้เกิดการคืนแร่ธาตุ ประกอบด้วย calcium 1.5 mmol/L ($Ca(NO_3)_2$•4H2O 0.35 g/L), phosphate 0.9 mmol/L (KH_2PO_4 0.12 g/L), KCL 130 mmol/L (KCL 9.69 g/L), sodium cacodylate 20.0 mmol/L ($NaC_2H_6AsO_2$•3H2O 4.28 g/L) ปรับให้มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 [78]

4.4 น้ำปราศจากไอออน (ฝ่ายวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

4.5 กล่องพลาสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. การวัดปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์
   5.1 เครื่องคิวแอลเอฟ-ดี (Quantitative light-induced fluorescence-digital: QLF-D Biluminator™ 2 model, Inspektor Research systems BV, Amsterdam, Netherlands)
   5.2 คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนส์ (QA2 v1.21, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Netherlands)
6. การวัดปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสเฟตไอออนที่ปล่อยจากวัสดุบูรณะ
   6.1 เครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ (Inductively coupled plasma optical emission spectrometer; ICP-OES, Perkin elmer, USA)
   6.2 เครื่องวัดปริมาณฟลูออไรด์ (Fluoride-ion selective electrode, Orion versa star™, USA)
   6.3 หลอดบรรจุสาร (Polyethylene vial)
   6.4 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (133 mmol/L) ปรับให้มีค่า pH 7 ด้วย 50 mmol/L HEPES
   6.5 วัสดุบูรณะนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต (Predicta™ Bioactive Bulk)
   6.6 วัสดุบูรณะซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®,)
   6.7 วัสดุบูรณะเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350)
   6.8 เครื่องฉายแสง (light curing unit: EliparTrilight, 3M, USA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยยื่นขออนุมัติการทำวิจัยโดยใช้ชิ้นส่วนของมนุษย์ ต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับทันตแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

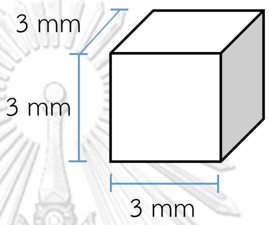
1. การเตรียมชิ้นฟัน

   1.1 นำฟันกรามน้ำนม ซี่ที่ 1 หรือ 2 ที่แช่ในสารละลายไทมอล ความเข้มข้น 0.1% มาทำความสะอาดแล้วมาส่องเคลือบฟันด้านใกล้แก้มด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (Olympus,

SZ61, Japan) กำลังขยาย 20 เท่า เพื่อคัดชิ้นฟันที่ปราศจากรอยผุ รอยร้าว วัสดุบูรณะ หรือความผิดปกติของผิวฟัน

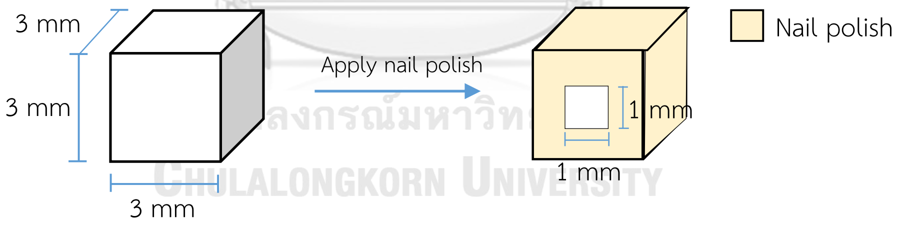
1.2 ขัดผิวเคลือบฟันบริเวณที่ต้องการ ด้วยเครื่องขัดอัตโนมัติ (Minitech 233, Presi, France) ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 25 วินาที ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,200 เพื่อกำจัดชั้นฟลูออไรด์หนาแน่น (Fluoride-rich zone)

1.3 ตัดฟันด้วยเครื่องตัดความเร็วต่ำ (Isomet 1000TM, Buehler, USA) ให้เป็นชิ้นฟันขนาดกว้าง 3 mm ยาว 3 mm ความหนาประมาณ 3 mm



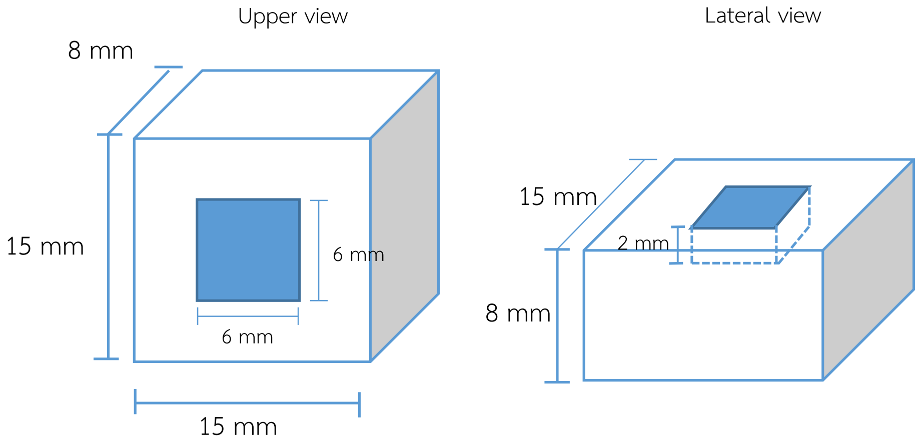
รูปที่ 7 ขนาดของชิ้นฟันกรามน้ำนม

1.4 ทาน้ำยาทาเล็บสีใส (Revlon, New York) โดยรอบ ยกเว้นบริเวณตรงกลางชิ้นฟัน ขนาดกว้าง 1 mm ยาว 1 mm เพื่อเป็นบริเวณของรอยผุจำลอง



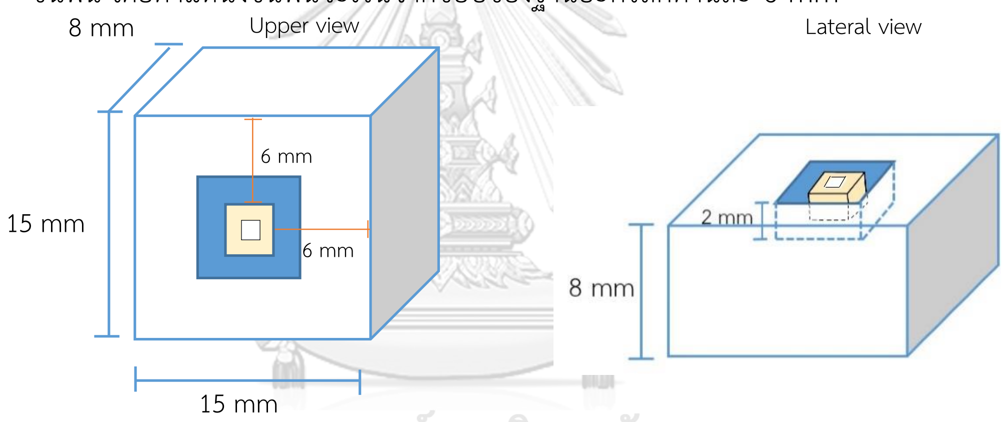
รูปที่ 8 การทาน้ำยาทาเล็บที่ชิ้นฟันน้ำนม

1.5 เตรียมฐานอะคริลิกแบบบ่มตัวเองขนาดกว้าง 15 mm ยาว 15 mm หนา 8 mm โดยให้มีช่องว่างตรง กลางขนาดกว้าง 6 mm ยาว 6 mm ลึก 2 mm



รูปที่ 9 ขนาดและรูปร่างของฐานอะคริลิก

1.6 นำชิ้นฟันที่เตรียมได้ยึดตรงกึ่งกลางกับฐานอะคริลิกด้วยการเติมอะคริลิกในช่องว่างโดยรอบชิ้นฟัน โดยตำแหน่งชิ้นฟันจะเว้นจากขอบของฐานอะคริลิกด้านละ 6 mm



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 10 การยึดชิ้นฟันกับฐานอะคริลิก

1.7 นำชิ้นฟันบนฐานอะคริลิกที่เตรียมไปแช่ในสารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุปริมาณ 10 ml ต่อชิ้น ในภาชนะปิดเป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 37 °C เพื่อสร้างรอยผุจำลอง [79] เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และซับให้แห้ง

2. การวัดปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันก่อนได้รับสิ่งแทรกแซง

วัดปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) ด้วยเครื่อง QLF-D โดยจะวัด 3 ครั้งในแต่ละชิ้นฟัน แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อเก็บเป็นค่า ΔQ_0 และ ΔF_0 โดยมีวิธีการดังนี้

2.1 นำชิ้นฟันบนฐานอะคริลิกมาซับให้แห้งและทิ้งไว้ให้แห้งสนิทอย่างน้อย 15 วินาที

2.2 ถ่ายภาพชิ้นฟันตัวอย่างด้วยเครื่องคิวแอลเอฟ-ดีในห้องมืด โดยให้กล้องทำมุม 90 องศากับชิ้นฟัน และมีระยะห่างระหว่างกล้องกับชิ้นฟัน 10 CM

2.3 ตั้งกล้องให้บันทึกภาพด้วยความเร็วชัตเตอร์ (shutter speed) 1/20 วินาที ขนาดรูเปิดรับแสง (aperture value) 13.0 และค่า ISO 1,600

2.4 กำหนดขอบเขตการวัดปริมาณการสูญเสียฟลูออเรสเซนท์ โดยการตีกรอบพื้นที่ที่ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้น และบริเวณที่เป็นผิวฟันปกติ

2.5 ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงฟลูออเรสเซนต์ของชิ้นฟันจากภาพถ่าย (QA2 v1.21, Inspektor Research Systems BV, Amsterdam, Netherlands) ได้เป็นค่า ΔQ และ ΔF

2.6 วัดซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละชิ้นฟัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็น ΔQ_0 และ ΔF_0 ของชิ้นฟันนั้นๆ คือค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันก่อนได้รับสิ่งแทรกแซง

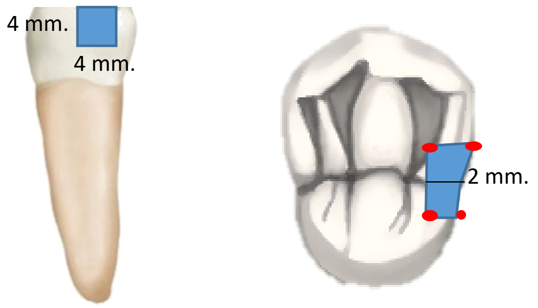
3. การจัดกลุ่มชิ้นฟันที่จะไปสัมผัสกับวัสดุบูรณะแต่ละชนิด

3.1 เรียงลำดับร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์เบื้องต้นของชิ้นฟันตัวอย่างจากน้อยไปหามาก แล้วกำหนดหมายเลขลงที่ฐานอะคริลิก

3.2 แบ่งเป็นกลุ่มย่อยกลุ่มละ 3 ชิ้นตามลำดับ เพื่อทำการจัดเข้ากลุ่มทดลองด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่มย่อยที่มีการเรียงลำดับ (permuted block randomization) โดยการสุ่มบนเว็บไซต์ www.random.org/sequences (กำหนดให้เป็นวัสดุ A แทน Predicta™ Bioactive Bulk วัสดุ B แทน Equia Forte® วัสดุ C แทน Filtek™ Z350)

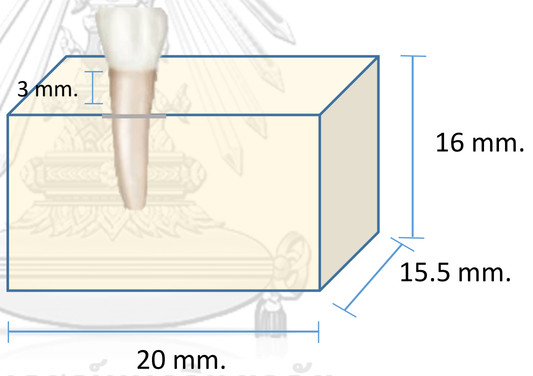
4. การเตรียมแบบจำลองฟันสำหรับวัสดุบูรณะ

4.1 นำฟันกรามน้อยแท้บน ซี่ที่ 2 ที่แช่ในสารละลายไทมอล ความเข้มข้น 0.1% มาทำความสะอาดและขัดด้านบดเคี้ยวให้แบนราบแล้วกรอเพื่อเตรียมแควิตี้ด้านประชิดไกลกลางขนาดกว้าง 2 mm ยาว 4 mm ลึก 4 mm โดยใช้โพรบวัดความลึกปริทันต์วัดความลึกของแควิตี้ที่ 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ขนาดการเตรียมแควิตี้เพื่อนำไปสร้างโมเดล

4.2 นำฟันที่เตรียมได้ มาลงฐานปูนในแม่พิมพ์ขนาดกว้าง 15.5 mm ยาว 20 mm สูง 16 mm โดยกำหนดให้รอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (Cement-enamel junction : CEJ) อยู่เหนือฐานปูนประมาณ 3 mm



รูปที่ 12 การสร้างโมเดลต้นแบบสำหรับการใช้วัสดุบูรณะ

4.3 นำฟันพร้อมฐานปูนที่ได้ไปทำแม่พิมพ์จากซิลิโคนใช้สำหรับเทอะคริลิกเพื่อเป็นบล็อกฟันสำหรับการบูรณะ

4.4 เทบล็อกอะคริลิกจากแม่พิมพ์ซิลิโคนที่ได้ และวัดความกว้าง ยาวและลึกของแควิตี้ด้วยโพรบวัดความลึกปริทันต์ของบล็อกอะคริลิกทุกชิ้นตามตำแหน่งที่ระบุในข้อ 4.1

5. การบูรณะด้วยวัสดุบูรณะแต่ละชนิด

5.1 ใช้ทอฟเฟิลมายรีเทนเนอร์ (Tofflemire retainer) ในการบูรณะคลาสทู

กลุ่ม A : Predicta™ bioactive bulk

1. ปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที
2. ล้างนำเป็นเวลา 10 วินาที เป่าลมให้หมาด ไม่แห้งสนิท
3. ทาสารยึดติด ให้ทั่วนาน 15 วินาทีแล้วจึงเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาทีให้แห้งสนิทแล้วจึงทำการฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที

* เนื่องจากบล็อกฟันที่ใช้ทดลองเป็นเรซินอะคริลิกจึงไม่ทำขั้นตอนที่ 1-3

4. นำวัสดุ Predicta™ Bioactive Bulk มาบูรณะโดยใช้ปลายผสมอัตโนมัติฉีดวัสดุให้เต็มโพรงฟัน แล้วรอ 1-2 นาที จากนั้นฉายแสง 40 วินาที
5. ถอดเมทริกซ์โลหะออกแล้วฉายอีก 40 วินาที

กลุ่ม B : ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์

1. ทาGC คอนดิชั่นเนอร์นาน 10 วินาที
2. ล้างและเป่าลม (เป่าพอหมาด ไม่ให้แห้งสนิท)

* เนื่องจากบล็อกฟันที่ใช้ทดลองเป็นเรซินอะคริลิกจึงไม่ทำขั้นตอนที่ 1-2

3. นำแคปซูลมาเขย่าและกดปุ่มแล้วจึงนำไปใส่ปืนฉีด โดยกดปืน 1 ครั้งเพื่อเร่งปฏิกิริยา
4. นำแคปซูลออกจากปืนฉีดแล้วนำไปปั่นเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วจึงใส่ปืนฉีดเพื่อทำการบูรณะ รอวัสดุแข็งเป็นเวลา 2 นาที 30 วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลุ่ม C : เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

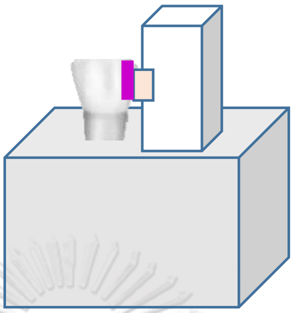
1. ปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เป็นเวลา 15 วินาที
2. ล้างนำเป็นเวลา 10 วินาที เป่าลมให้หมาด ไม่แห้งสนิท
3. ทาสารยึดติด (Adper™ 3M ESPE) ให้ทั่วนาน 15 วินาทีแล้วจึงเป่าลมเป็นเวลา 5 วินาทีให้แห้งสนิทแล้วจึงทำการฉายแสงเป็นเวลา 10 วินาที

* เนื่องจากบล็อกฟันที่ใช้ทดลองเป็นเรซินอะคริลิกจึงไม่ทำขั้นตอนที่ 1-3

4. นำวัสดุคอมโพสิตมาบูรณะโดยอุดแบบเป็นชั้นแต่ละชั้นไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ทำการฉายแสงเป็น เวลา 40 วินาทีในแต่ละชั้น
5. ถอดเมทริกซ์โลหะออกแล้วฉายอีก 40 วินาที

6. กระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก

6.1 นำชิ้นฟันบนฐานอะคริลิกมาติดกับบล็อกฟันอะคริลิกตามกลุ่มที่สุ่มไว้ด้วยกาวแท่งซิลิโคน ให้บริเวณรอยผุจำลองที่เตรียมไว้แนบสัมผัสกับวัสดุบูรณะ



รูปที่ 13 การจำลองสภาวะช่องปากโดยนำชิ้นฟันน้ำนมแนบติดกับวัสดุบูรณะ

6.2 นำมาเข้ากระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปาก (pH cycling) เป็นเวลา 14 วัน ในภาชนะที่มีการแยกช่องสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้น ไม่ให้สารละลายแต่ละช่องปนกันได้ ในแต่ละรอบจะแบ่งเป็นช่วงละลายแร่ธาตุและส่งเสริมการคืนแร่ธาตุสลับกันโดยเริ่มจากช่วงสูญเสียแร่ธาตุ 6 ชั่วโมง แล้วจึงเป็นช่วงส่งเสริมการคืนแร่ธาตุ 18 ชั่วโมง[78]

- สารละลายสำหรับทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ประกอบด้วย calcium 2.0 mmol/L ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 0.47 g/L), phosphate 2.0 mmol/L (KH_2PO_4 0.27 g/L), acetic acid 75.0 mmol/L (CH_3COOH 4.5 g/L) ปรับให้มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4.4
- สารละลายสำหรับทำให้เกิดการคืนแร่ธาตุ ประกอบด้วย calcium 1.5 mmol/L (Ca(NO3)2•4H2O 0.35 g/L), phosphate 0.9 mmol/L (KH2PO4 0.12 g/L), KCL 130 mmol/L (KCL 9.69 g/L), sodium cacodylate 20.0 mmol/L ($NaC_2H_6AsO_2$•3H2O 4.28 g/L)ปรับให้มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 ปริมาณช่องละ 20 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 37 °C

7. การวัดปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันหลังได้รับสิ่งแทรกแซง และผ่านกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัดปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) เมื่อผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปากครบ 14 วัน ด้วยเครื่อง QLF-D โดยจะวัด 3 ครั้งในแต่ละชิ้นฟัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นได้เป็น ΔQ_{14} และ ΔF_{14} ของชิ้นฟันนั้นๆ ด้วยวิธีเดียวกับการวัด ΔQ_0 และ ΔF_0 หากมีการคืนแร่ธาตุ ค่าปริมาตร และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์จะมีค่าลบน้อยลง

8. การวัดปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัส ที่ปล่อยจากวัสดุบูรณะ

8.1 เตรียมชิ้นวัสดุบูรณะขนาด 3x3x5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จากแบบพิมพ์ซิลิโคนกลุ่มละ 10 ชิ้น

8.1.1 Predicta™ Bioactive Bulk ใช้ปลายผสมอัตโนมัติฉีดวัสดุให้เต็มแบบพิมพ์ แล้วรอ 1-2 นาที จากนั้นฉายแสง 40 วินาที เมื่อแกะออกจากแบบพิมพ์แล้วฉายแสงอีก 40 วินาที

8.1.2 Equia Forte® นำแคปซูลมาเขย่าและกดปุ่มแล้วจึงนำไปใส่ปืนฉีด โดยกดปืน 1 ครั้ง เพื่อเร่งปฏิกิริยา แล้วนำแคปซูลไปปั่นเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วจึงใส่ปืนฉีดใส่ให้เต็มแบบพิมพ์ รอวัสดุแข็งเป็นเวลา 2 นาที 30 วินาที

8.1.3 Filtek™ Z350 นำวัสดุคอมโพสิตมาใส่ให้เต็มแบบพิมพ์ แล้วฉายแสงเป็น เวลา 40 วินาที เมื่อแกะออกจากแบบพิมพ์แล้วฉายแสงอีก 40 วินาที

8.2 เตรียมสารละลาย NaCl 133 mmol/L ที่ปรับให้มีค่า pH 7 ด้วย 50 mmol/L HEPES[50]

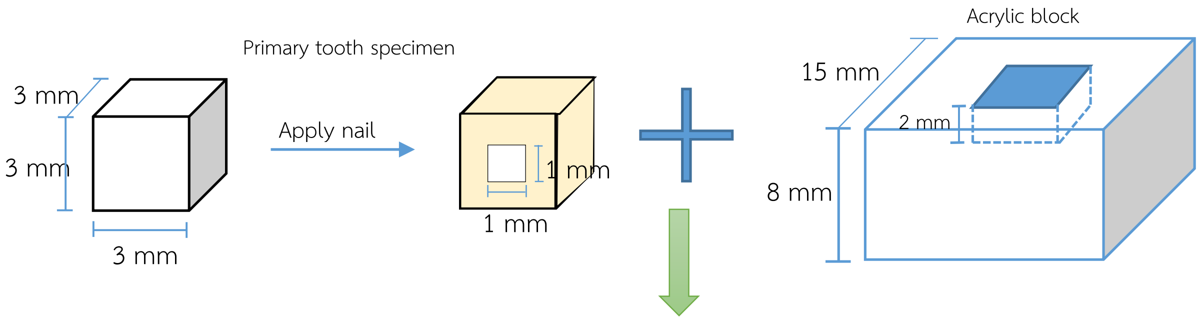
8.3 นำชิ้นของวัสดุบูรณะที่เตรียมไว้แต่ละชนิดไปแช่ในสารละลายปริมาณ 15 มิลลิลิตร ในหลอดบรรจุสารที่มีฝาปิด ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของปริมาตรวัสดุต่อปริมาตรของสารละลายเป็น 3.0 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร[50, 80]

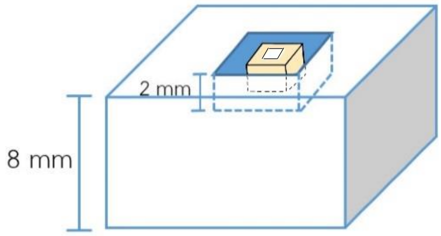
8.4 วัดปริมาณของแร่ธาตุในสารละลายในวันที่ 1, 4, 7, 14[81] โดยแต่ละครั้งที่วัด จะเปลี่ยนสารละลายใหม่ทั้งหมดจนถึงวันที่จะวัดช่วงถัดไป

8.5 ในแต่ละครั้งนำสารละลาย 15 มิลลิลิตร มาแบ่งไปวัดปริมาณฟลูออไรด์ 3 มิลลิลิตรด้วยเครื่องวัดปริมาณฟลูออไรด์ (Fluoride-ion selective electrode) และอีก 12 มิลลิลิตร นำไปวัดปริมาณแคลเซียม และฟอสฟอรัสด้วยเครื่องวิเคราะห์แร่ธาตุ (ICP-OES)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนการดำเนินงานโดยสรุป

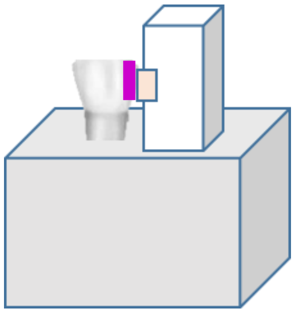




แช่ในสารละลาย Demineralization ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

วัดปริมาตร และร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์บริเวณรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นที่เกิดขึ้นด้วย QLF-D โดยบันทึกค่า ΔQ_0 และ ΔF_0

CHULALONGKORN UNIVERSITY



นำมายึดให้สัมผัสกับวัสดุบูรณะ

เข้ากระบวนการจำลองสภาวะในช่องปากเป็นเวลา 14 วัน

วัดปริมาตรและร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ บริเวณรอยโรคฟันผุระยะเริ่มต้นหลังได้รับสิ่งแทรกแซงด้วยเครื่อง QLF-D โดยบันทึกค่า ΔQ_{14} และ ΔF_{14}

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การคืนแร่ธาตุต่อชิ้นฟันโดยวัสดุบูรณะ
   1.1 หาค่าความแตกต่างของร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ก่อนและหลังการได้รับสิ่งแทรกแซงโดยคำนวณได้จาก ΔF_{14} - ΔF_0 = ร้อยละการคืนแร่ธาตุโดยวัสดุบูรณะแต่ละชนิด ($\Delta\Delta F$)
   1.2 หาค่าความแตกต่างของปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ก่อนและหลังการได้รับสิ่งแทรกแซง โดยคำนวณได้จาก ΔQ_{14} - ΔQ_0 = ปริมาตรการคืนแร่ธาตุโดยวัสดุบูรณะแต่ละชนิด ($\Delta\Delta Q$)
2. บันทึกปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัสที่ปล่อยจากวัสดุบูรณะแต่ละชนิด

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ ($\Delta\Delta Q$) และค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ ($\Delta\Delta F$) ก่อนและหลังการได้รับสิ่งแทรกแซง หรือปริมาณการคืนแร่ธาตุโดยวัสดุบูรณะแต่ละชนิด วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส เวอร์ชั่น 22 โดยทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov-Smirnov เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ปกติ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแปรปรวน (homogeneity of variance) แต่ละกลุ่มด้วย Levene’s test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05
   - หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และมีความแปรปรวนแต่ละกลุ่มเท่ากัน จะใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง และหากพบความแตกต่างกันจึงใช้ Tukey’s test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05
   - หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ แต่มีความแปรปรวนแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จะใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบเวล (Welch ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง และหากพบความแตกต่างกันจึงใช้ Games-Howell test เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

- แต่หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ จะใช้สถิติ Kruskal-Wallis test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลอง และหากพบความแตกต่างกันจึงใช้ Pairwise comparisons (Dunn’s test) เพื่อหาความแตกต่างทางสถิติในแต่ละคู่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

2. วิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุที่ปลดปล่อยจากวัสดุบูรณะด้วย สถิติถิเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) นำเสนอข้อมูลในรูปแบบของแผนภูมิ

การควบคุมอคติจากการวิจัย

1. ก่อนนำชิ้นฟันมาวัดค่าการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ด้วยเครื่อง QLF-D จะปิดเลขที่ของชิ้นฟัน เพื่อที่ผู้วัดจะไม่ทราบว่าเป็นชิ้นฟันในกลุ่มการทดลองใด และจะเปิดเลขที่และกลุ่มของชิ้นฟันเมื่อทำการวัดเสร็จสิ้น

2. วัดค่าการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ด้วยเครื่อง QLF-D ชิ้นฟันละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนค่าของแต่ละชิ้นฟัน โดยกำหนดให้ใน 1 วัน ผู้วิจัยสามารถวัดได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากความอ่อนล้าของผู้วัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทู

งานวิจัยนี้ใช้ชิ้นฟันจำนวน 60 ชิ้น โดยชิ้นฟันตัวอย่างที่ถูกคัดเข้ามาในงานวิจัยจะถูกนำไปสร้างรอยผุจำลอง ซึ่งมีค่าร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์เริ่มต้น อยู่ระหว่างร้อยละ -14.86 ถึงร้อยละ -18.39 หลังจากการสุ่มชิ้นฟันออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 20 ชิ้น ไม่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชิ้นฟันตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ($p = 0.12$) ดังแสดงในตารางที่ 6 ส่วนค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์เริ่มต้น มีค่าอยู่ระหว่าง -6,324.29 ถึง -9,696.59 ซึ่งไม่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชิ้นฟันตัวอย่างแต่ละกลุ่ม ($p = 0.06$) ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ภายหลังผ่านกระบวนการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปากที่ 14 วัน

วัสดุบูรณะ	Percentage of fluorescent loss (ΔF)		Change of percentage of fluorescent loss (ΔΔF)
	ΔF_0^*	$\Delta F_{14\ days}$	$\Delta F_{14days} - \Delta F_0^+$
Predicta™ bioactive bulk	-17.38 ± 2.16^a	-18.11±2.81	-0.73 ± 1.75^a
Equia Forte®	-16.38 ± 2.37^a	-15.71±3.31	0.66 ± 1.82^b
Filtek™ Z350	-15.93 ± 2.27^a	-21.51±3.19	-5.58 ± 1.87^c

หมายเหตุ $^+$ หมายถึง การทดสอบด้วย One-way ANOVA, * หมายถึง การทดสอบด้วย Kruskal-Wallis test, ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันภายในสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p \leq 0.05$)

จากผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔΔF) ของทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์สูงที่สุด ตามด้วยกลุ่มนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต และลำดับสุดท้ายคือกลุ่ม เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ดังแสดงในตารางที่ 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ภายหลังผ่านกระบวนการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปากที่ 14 วัน

วัสดุบูรณะ	Volume of fluorescent loss (ΔQ)		Change of volume of fluorescent loss (ΔΔQ)	Percent change of ΔQ
	ΔQ_0*	$\Delta Q_{14\ days}$	$\Delta Q_{14days} - \Delta Q_0$+	$(\Delta Q_{14days} - \Delta Q_0)\times 100/\Delta Q_0$*
Predicta™ bioactive bulk	-9,018.75±1,448.28[a]	-10,379.73±2,609.48	-1,360.98±2,397.67[a]	-16.07±27.59 [a]
Equia Forte®	-7,554.01±2,627.52[a]	-7,137.21±2,447.30	566.79±1,447.05[b]	6.62±19.98 [b]
Filtek™ Z350	-7,802.20±2,672.41[a]	-12,778.18±4.202.20	-4,975.98±2,302.27[c]	-67.03±32.86 [c]

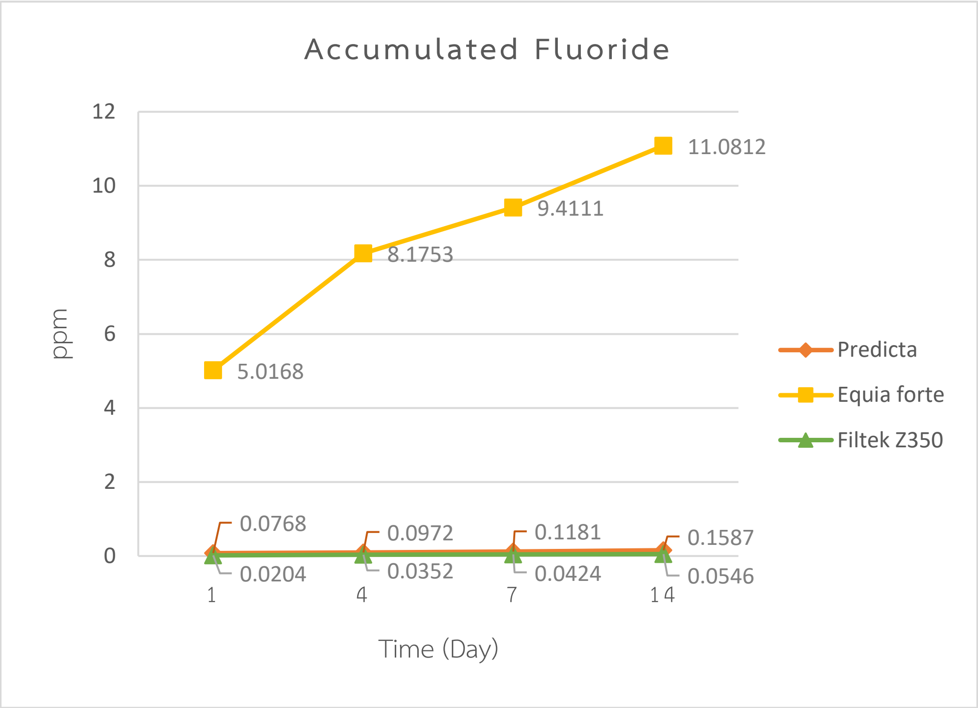
หมายเหตุ + หมายถึง การทดสอบด้วย One-way ANOVA, * หมายถึง การทดสอบด้วย Kruskal-Wallis test, ตัวอักษรยกที่แตกต่างกันภายในสดมภ์ แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p \leq 0.05$)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔΔQ) และร้อยละการเปลี่ยนแปลงของทุกกลุ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์สูงที่สุด ตามด้วยกลุ่มนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต และลำดับสุดท้ายคือกลุ่ม เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ดังแสดงในตารางที่ 7

การทดสอบปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์ แคลเซียมและฟอสฟอรัส

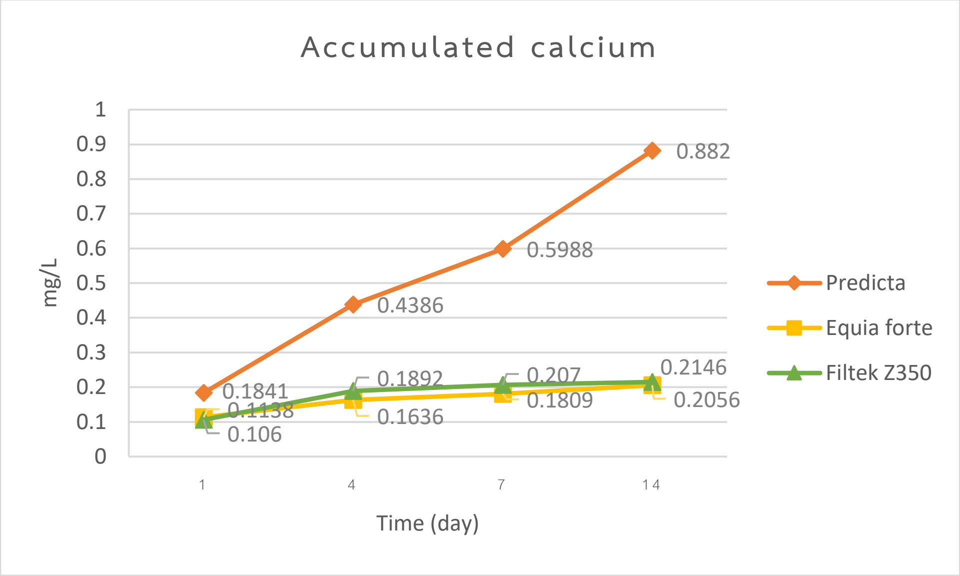
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ได้ใช้ชิ้นวัสดุบูรณะกลุ่มละ 10 ชิ้น ในการหาปริมาณฟลูออไรด์ แคลเซียม และฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 14 วัน โดยทดสอบปริมาณแร่ธาตุสะสม ณ วันที่ 1, 4, 7 และ 14 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 1-3



แผนภูมิที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์สะสมของวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียม-ฟอสเฟต (Predicta™ Bioactive Bulk) ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®) และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350)

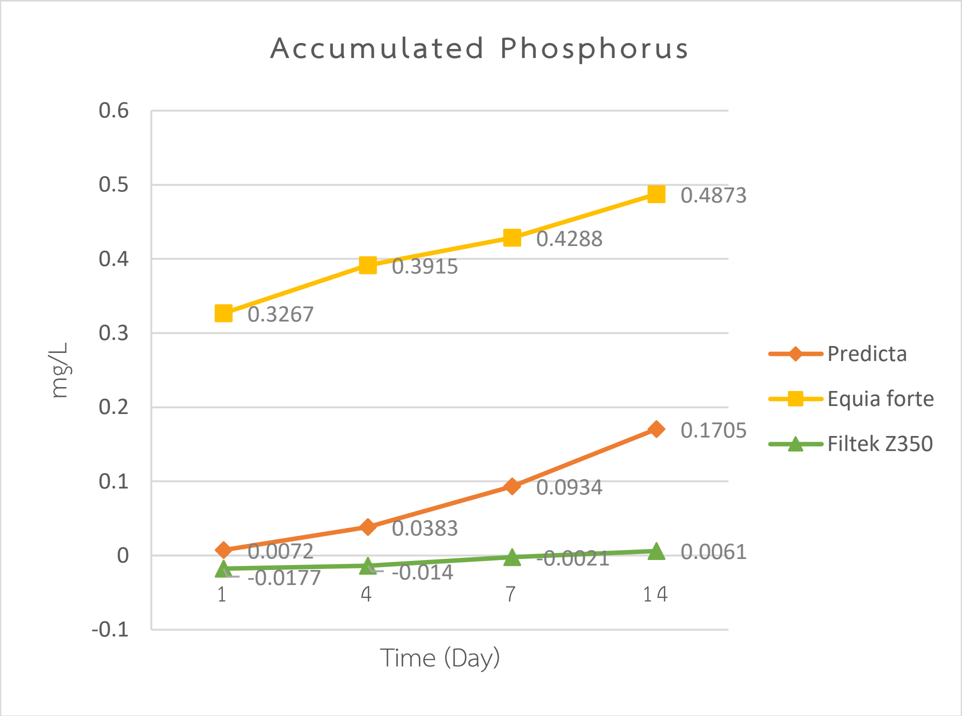
ผลการทดสอบพบว่าซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์มีปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยสะสมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งการทดสอบ ณ วันที่ 1, 4, 7 และ 14 ดังแสดงในแผนภูมิที่ 3 ส่วนนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมามากกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยแคลเซียมสะสมของวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียม-ฟอสเฟต (Predicta™ Bioactive Bulk) ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®) และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350)

ณ วันที่ 1 วัสดุบูรณะทั้ง 3 กลุ่มมีปริมาณแคลเซียมที่ปลดปล่อยออกมาสะสมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณแคลเซียมสะสม ณ วันที่ 4, 7 และ 14 ของนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระหว่างซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในแผนภูมิที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณการปลดปล่อยแคลเซียมสะสมของวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียม-ฟอสเฟต (Predicta™ Bioactive Bulk) ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®) และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ (Filtek™ Z350)

ผลการทดสอบปริมาณฟอสฟอรัสที่ปลดปล่อยสะสม ณ วันที่ 1และ 4 จากซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ มีมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตและเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน ณ วันที่ 7 และ 14 ทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเรียงลำดับปริมาณฟอสฟอรัสสะสมจากมากไปน้อยได้ดังนี้ คือ ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันน้ำนมที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทู เพื่อให้ทราบว่าวัสดุบูรณะสามารถส่งเสริมการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะ แตกต่างกันหรือไม่ โดยเปรียบเทียบวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต กับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซึ่งสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ในการช่วยให้เกิดการคืนแร่ธาตุแก่ฟันข้างเคียง[76, 82] และใช้เรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์เป็นกลุ่มควบคุม ใช้การจำลองรอยผุเริ่มต้นในชั้นเคลือบฟัน และใช้กระบวนการเลียนแบบการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก (pH cycling) ผลการศึกษาที่ได้คือวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ และค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของวัสดุบูรณะที่ช่วยให้เกิดการคืนแร่ธาตุแก่ฟันซี่ข้างเคียง โดยฟันที่สัมผัสกับซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ มีการคืนแร่ธาตุได้สูงที่สุด ส่วนฟันที่สัมผัสกับนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต พบการสูญเสียแร่ธาตุไปเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรอยผุระยะเริ่มต้นก่อนการทดสอบ แต่อย่างไรก็ตาม ฟันที่สัมผัสกับนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตมีการสูญเสียแร่ธาตุไปน้อยกว่าฟันที่สัมผัสกับเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาในห้องปฏิบัติการนี้ ใช้วิธีการจำลองการสัมผัสของวัสดุบูรณะคลาสทูกับฟันซี่ข้างเคียงโดยใช้แบบจำลองโพรงฟันคลาสทูของฟันกรามน้อยที่สร้างขึ้นจากเรซินอะคริลิก และรูปแบบกระบวนการจำลองสภาวะในช่องปากตามการศึกษาของ Theerarath และ Sriarj[83] ที่จำลองลักษณะด้านประชิดให้วัสดุบูรณะคลาสทูมีความโค้งนูนใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ แต่การใช้แบบจำลองเป็นรูปร่างของฟันกรามน้อยก็อาจทำให้พื้นที่สัมผัสแตกต่างไปจากฟันน้ำนม ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ใช้ชิ้นฟันกรามน้ำนมเป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เฉพาะด้านใกล้แก้ม เพื่อควบคุมรูปร่าง ความโค้งนูนของชิ้นฟันตัวอย่างให้ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ได้ปรับรูปแบบการจำลองสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในช่องปากจากช่วงการสูญเสียแร่ธาตุจาก 8 ชั่วโมง เป็น 6 ชั่วโมง และช่วงส่งเสริมการคืนแร่ธาตุ 18 ชั่วโมงตามรูปแบบของ Featherstone[78] เนื่องจากการศึกษานี้ใช้ชิ้นฟันน้ำนมซึ่งมีชั้นเคลือบฟันที่บางกว่าฟันแท้ การที่อยู่ในช่วงการสูญเสียแร่ธาตุระยะเวลานาน อาจทำให้ชั้นเคลือบฟันของฟันน้ำนมมีการสูญเสียแร่ธาตุจากสารละลายที่ทำให้สูญเสียแร่ธาตุมากกว่าที่ควรจะเป็น

การวัดปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุด้วยเครื่องวัดฟลูออเรสเซนต์ที่เกิดจากแสงเชิงปริมาณ (QLF) มีข้อดีในการศึกษานี้เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องขัดชิ้นฟันให้เรียบจนเป็นระนาบเดียวจึงไม่ทำให้สูญเสียชั้นเคลือบฟันน้ำนมไปมากนัก และเป็นวิธีที่ไม่ทำลายชิ้นฟันจึงสามารถวิเคราะห์ผลการสูญเสียแร่ธาตุก่อนและหลังการทดสอบที่ตำแหน่งเดิมได้ นอกจากนี้การใช้ QLF ยังมีความสามารถในการวัดซ้ำได้เที่ยงตรง[69] โดยการวิเคราะห์ซ้ำหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยจะช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้[70] ในการศึกษานี้จึงวิเคราะห์ QLF ตำแหน่งละ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย จากผลการศึกษาดังตารางที่ 6 และ 7 จะเห็นว่าค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงอาจเป็นเพราะรอยผุจำลองมีขนาดเล็กเพียง 1 ตารางมิลลิเมตร จึงควบคุมขนาดของรอยผุจำลองให้มีขนาดเท่ากันอย่างสมบูรณ์ได้ยาก การที่ขนาดของรอยผุในแต่ละชิ้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ส่งผลให้ค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) แตกต่างกันได้ ส่วนค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) เป็นค่าที่เกิดจากการคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ในรอยผุเทียบกับผิวฟันปกติ ค่า ΔF ของรอยผุระยะเริ่มต้นที่สร้างขึ้นที่ได้จึงค่อนข้างสอดคล้อง และมีความใกล้เคียงกันในแต่ละชิ้น โดยจากการศึกษาของ Pretty และคณะ[84] ที่ศึกษาเปรียบเทียบสหสัมพันธ์ของค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) กับค่าการสูญเสียแร่ธาตุที่วัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ (ΔZ) และ ค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) กับค่าการสูญเสียแร่ธาตุที่วัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ (ΔZ) ซึ่งวิธีการวัดด้วยทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟนั้น ถือเป็นมาตรฐานของการวัดค่าการสูญเสียแร่ธาตุของฟัน (gold standard)[54] พบว่าค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) มีสหสัมพันธ์เชิงบวกที่ชัดเจนกับค่าการสูญเสียแร่ธาตุที่วัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ (ΔZ) และมีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่า ค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ) กับค่าการสูญเสียแร่ธาตุที่วัดด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟ (ΔZ)[84] จึงเห็นว่าการเลือกใช้ค่าร้อยละการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔF) ในการเปรียบเทียบผลของการคืนแร่ธาตุ น่าจะมีความแม่นยำกว่าการใช้ค่าปริมาตรการสูญเสียฟลูออเรสเซนต์ (ΔQ)

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Guglielmi และคณะ[76] ที่พบว่าวัสดุซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ความหนืดสูงซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกันกับซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (Equia forte) สามารถยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุบริเวณรอยผุได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ชนิดอื่นๆ และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับของ Melo และคณะ[27] ที่พบว่าเคลือบฟันที่อยู่รอบวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตมีการสูญเสียแร่ธาตุน้อยกว่าเคลือบฟันที่อยู่โดยรอบเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฟลูออไรด์แต่แตกต่างจากการศึกษาของ Weir และคณะ[26] ที่ศึกษาการคืนแร่ธาตุด้วยวิธีทรานเวิร์สไมโครเรดิโอกราฟซึ่งพบว่าชิ้นฟันที่สัมผัสอยู่ภายใต้วัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตมีการคืนแร่ธาตุ (21.8%) มากกว่าชิ้นฟันที่อยู่ภายใต้เรซินคอมโพสิตชนิดปลดปล่อยฟลูออไรด์ (6.9%) และชิ้นฟันที่ไม่ได้สัมผัสวัสดุบูรณะใดๆ (-26.1%) อาจเนื่องมาจากวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตที่ใช้ในการศึกษาของ Weir และคณะ มีวัตถุประสงค์ศึกษาการคืนแร่ธาตุให้แก่ชิ้นฟันที่อยู่ภายใต้วัสดุบูรณะ โดยออกแบบการจำลองให้ชิ้นฟันอยู่ภายใต้วัสดุบูรณะทั้งหมด ไม่สัมผัสกับสารละลายที่จำลองกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดด่างในช่องปาก แต่ในกลุ่มควบคุมกลับให้ชิ้นฟันไม่มีวัสดุบูรณะปกคลุม และสัมผัสกับสารละลายโดยตรง นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่ผลิตเพื่อใช้เฉพาะในงานวิจัยนั้นซึ่งไม่ทราบปริมาณแร่ธาตุที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะ อีกทั้งยังเลือกใช้กระบวนการจำลองสภาวะในช่องปากเป็นช่วงเวลาสูญเสียแร่ธาตุเพียง 1 ชั่วโมง และช่วงเวลาส่งเสริมการคืนแร่ธาตุ 23 ชั่วโมง จึงทำให้อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดในระยะเวลาที่สั้นมาก จึงเกิดการคืนแร่ธาตุได้มากโดยไม่มีสิ่งแวดล้อมที่เป็นกรดไปขัดขวางการคืนแร่ธาตุ ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับสภาวะในช่องปากของผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง

ผลการคืนแร่ธาตุ และช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุในการศึกษา เกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณแร่ธาตุที่วัสดุบูรณะแต่ละชนิดปลดปล่อยออกมามีปริมาณแตกต่างกัน จากผลการทดสอบปริมาณแร่ธาตุที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะพบว่า นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยแร่ธาตุมีปริมาณเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ แคลเซียม ฟลูออไรด์ และฟอสฟอรัส ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตที่ได้ปริมาณการปลดปล่อยแร่ธาตุเรียงตามลำดับคือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และฟลูออไรด์ นอกจากนี้ผลการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตยังมีปริมาณของแร่ธาตุแต่ละชนิดที่ปลดปล่อยออกมาความเข้มข้นสูงกว่าการศึกษานี้ อาจเนื่องมาจากชนิดของสารละลายที่แช่วัสดุบูรณะแตกต่างกัน รวมถึงสัดส่วนของปริมาตรวัสดุต่อปริมาตรของสารละลายในการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตเป็น 15.7 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร ส่วนการศึกษานี้ใช้สัดส่วนของปริมาตรวัสดุต่อปริมาตรของสารละลายเป็น 3 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อสารละลาย 1 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาของบริษัทผู้ผลิตประมาณ 5 เท่า ทำให้ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะในการศึกษานี้จึงมีความเข้มข้นต่ำกว่าการศึกษาของบริษัทผู้ผลิต โดยเมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบตามสัดส่วนแล้วพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมและฟลูออไรด์มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับการศึกษาของผู้ผลิต ยกเว้นความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่พบว่าการศึกษานี้มีความเข้มข้นฟอสฟอรัสต่ำกว่าการศึกษาของบริษัทผู้ผลิต อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัส

ที่ปลดปล่อยสะสมออกมาในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Xu และคณะ[50] ซึ่งใช้สัดส่วนของปริมาตรวัสดุต่อปริมาตรของสารละลาย และชนิดของสารละลายเดียวกันกับการศึกษานี้ โดยเมื่อเทียบกับวัสดุอีก 2 ชนิดพบว่า นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต มีปริมาณแคลเซียมสะสมสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามด้วยเรซินคอมโพสิตและซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสทั้ง 3 กลุ่มเรียงลำดับได้ดังนี้ ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต และเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ จากการศึกษาของ Huang และคณะ[85] ที่ศึกษาปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตที่ปลดปล่อยจากเรซินคอมโพสิตที่มีการเติมวัสดุอัดแทรกเป็นไตรแคลเซียมฟอสเฟต และอีกชนิดหนึ่งเติมวัสดุอัดแทรกเป็นเตตตระแคลเซียมฟอสเฟต เปรียบเทียบกับซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ โดยวัดปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตด้วยเครื่อง microplate reader พบว่าเรซินคอมโพสิตที่เติมวัสดุอัดแทรกทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมามากกว่าซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตรวจพบแคลเซียมและฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมาจากซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ในระดับต่ำๆในช่วง 3 วันแรก แต่หลังจากนั้นตรวจไม่พบแคลเซียมและฟอสเฟต แต่จากการศึกษาของ Ruengrungsom และคณะ[81] ระบุว่าปริมาณแคลเซียมที่ปลดปล่อยจากเรซินคอมโพสิต และซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์มีปริมาณต่ำกว่าขอบเขตการตรวจวัดของเครื่อง atomic absorption spectrometry ซึ่งทั้ง 2 การศึกษาใช้เครื่องมือแตกต่างจากการศึกษานี้ที่ใช้เครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) ที่มีความไวในการตรวจวัดแตกต่างกัน จึงอาจทำให้การตรวจพบปริมาณแคลเซียมจากเรซินคอมโพสิต และซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาเรื่องการปลดปล่อยแคลเซียมจากเรซินคอมโพสิต และซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ด้วยเครื่องมือ ICP-OES ในทางกลับกันการศึกษานี้พบว่าการปลดปล่อยฟลูออไรด์ของซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์มีค่าสูงที่สุด ในขณะที่นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต กับเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ มีปริมาณฟลูออไรด์ที่ปลดปล่อยออกมาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ruengrungsom และคณะ[81] ที่พบว่าซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia Forte®) มีปริมาณการปลดปล่อยฟลูออไรด์สูงกว่าวัสดุ Activa bioactive ที่เป็นเรซินคอมโพสิตชนิด dual-cure และสามารถปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตได้เช่นเดียวกับนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตในการศึกษานี้ (Predicta™ Bioactive Bulk) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากกลไกการเกิดกระบวนการคืนแร่ธาตุของฟันจะใช้คุณสมบัติของแคลเซียมและฟอสเฟต ซึ่งพบได้ในน้ำลายเป็นแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักของผิวฟันคือไฮดรอกซีอพาไทด์ ($Ca_{10}(PO_4)_6OH_2$) แต่ในบริเวณด้านประชิดฟันโดยเฉพาะส่วนที่เป็นจุดสัมผัสของฟันสองซี่เป็นบริเวณที่น้ำลายเข้าถึงได้ยาก การที่วัสดุบูรณะสามารถปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตได้จึงเป็นประโยชน์ในการเพิ่มแคลเซียมและฟอสเฟตให้ฟันซี่ข้างเคียง รวมถึงในผู้ป่วยกลุ่มที่มีน้ำลายน้อย ซึ่งแคลเซียมและฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบุรณะจะสามารถจับตัวกัน เกิดเป็นอะมอร์ฟัสแคลเซียมฟอสเฟต (amorphous calcium phosphate; ACP) แล้วจึงก่อตัวเป็นกลุ่มของไฮดรอกซีอพาไทด์จนเกิดเป็นผลึกของเคลือบฟัน (enamel prism) ในที่สุด[86] นอกจากนี้แคลเซียมและฟอสเฟตยังสามารถไปจับกับฟลูออไรด์ เกิดเป็นฟลูออโรอพาไทด์ ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) เกิดการคืนแร่ธาตุให้ผิวฟันและทำให้โครงสร้างของผิวฟันมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น[13] แสดงให้เห็นว่าการที่จะใช้วัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟตจะสามารถเกิดผลการคืนแร่ธาตุได้สูงสุด อาจต้องมีแหล่งฟลูออไรด์จากภายนอกร่วมด้วย ซึ่งสารละลายที่ใช้จำลองความเป็นกรดด่างในช่องปากของงานวิจัยนี้ ไม่มีส่วนประกอบของฟลูออไรด์ เพื่อป้องกันการเกิดผลการคืนแร่ธาตุที่เกิดจากฟลูออไรด์ที่เติมเข้าไปในสารละลายซึ่งอาจทำให้เกิดผลแทรกซ้อนกับผลของวัสดุบูรณะในการช่วยคืนแร่ธาตุให้แก่ชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะ ซึ่งการที่ไม่มีฟลูออไรด์ในสิ่งแวดล้อมขณะทำการทดสอบ จึงส่งผลให้ชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะกลุ่มนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต เกิดการคืนแร่ธาตุได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควรจะเป็นจริงขณะอยู่ในช่องปาก เนื่องจากในช่องปากจะมีแหล่งฟลูออไรด์ ทั้งจากในน้ำลาย และจากภายนอกเช่น ยาสีฟันและฟลูออไรด์เฉพาะที่ที่ได้รับจากทันตแพทย์ ซึ่งฟลูออไรด์เหล่านี้จะเป็นตัวที่ไปจับกับแคลเซียมและฟอสเฟตที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุบูรณะ และทำให้เกิดการคืนแร่ธาตุที่ฟันซี่ข้างเคียงได้มากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ก็ช่วยไม่ให้ชิ้นฟันเกิดการสูญเสียแร่ธาตุไปมากเท่ากับชิ้นฟันที่สัมผัสกับเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เนื่องมาจากมีแคลเซียมที่ปลดปล่อยออกมาจากวัสดุปริมาณมาก รวมถึงคุณสมบัติที่ช่วยทำให้เกิดสภาวะเป็นกลางในขณะที่สภาวะแวดล้อมเป็นกรดของวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต[25] อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต (Predicta™ bioactive bulk) ยังมีเพียงการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุบูรณะจากบริษัทผู้ผลิตเท่านั้น การเปรียบเทียบผลการศึกษาจึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบจากวัสดุบูรณะที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง เช่น วัสดุชนิดนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตที่ผู้วิจัยผลิตขึ้นเอง หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง (Activa bioactive) เป็นต้น

แม้ว่าผลการศึกษานี้จะพบว่าซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์สามารถช่วยคืนแร่ธาตุให้แก่ชิ้นฟันซี่ข้างเคียงได้สูงที่สุด อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Baby และคณะที่เปรียบเทียบความแข็งแรงทางแรงกด (compressive strength) ระหว่างซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ 2 ชนิด (Equia forte และ Amalgomer CR) กับเรซินคอมโพสิต (Tetric N ceram) พบว่าเรซินคอมโพสิตมีความแข็งแรงทางแรงกดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[87] อีกทั้งยังมีการศึกษาของ Sujith และคณะที่เปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุบูรณะชนิดอัลคาไซต์ (Cention-N) ซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (GC gold label) และเรซินคอมโพสิต (Filtek Z250XT) ซึ่งพบว่าเรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอัลคาไซต์และซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์โดยมีทั้งความแข็งแรงทางแรงกด (compressive strength) และความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอ (flexural strength) สูงกว่าวัสดุอีก 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[88] ส่วนการศึกษาทางคลินิกของ Kupietzky และคณะที่ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพทางคลินิกและภาพถ่ายรังสีของวัสดุบูรณะคลาสทูระหว่างเรซินคอมโพสิต (Filtek P60) กับซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ (Equia) หลังจากบูรณะไปในช่วง 33-39 เดือน โดยใช้เกณฑ์ของ dichotomy scale พบว่าการบูรณะคลาสทูด้วยซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์เกิดความล้มเหลว (17.1%) มากกว่ากว่าเรซินคอมโพสิต (4.9%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงระยะเวลา 3 ปี โดยเป็นความล้มเหลวในด้านการคงอยู่ของวัสดุ พื้นผิวของวัสดุในด้านบดเคี้ยว และเกิดความโค้งเว้าที่ผิววัสดุในด้านประชิดจากภาพถ่ายรังสี[89] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Balkaya และคณะที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลทางคลินิกของการบูรณะฟันแท้คลาสทูด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดดั้งเดิม (Charisma smart composite) เรซินคอมโพสิตชนิดบัลค์ฟิลล์ (Filtek bulk fill posterior restorative) และซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (Equia) หลังจากบูรณะไปเป็นเวลา 1 ปี โดยใช้เกณฑ์การประเมินของระบบบริการสุขภาพของประเทศสหรัฐอเมริกาแบบดัดแปลง (modified United states public health service (USPHS) criteria) พบว่าการบูรณะคลาสทูด้วยซีเมนต์กลาสส์ไอโอโนเมอร์มีความด้อยกว่าเรซินคอมโพสิตทั้งสองชนิด ในด้านรูปร่าง จุดสัมผัส ความแนบสนิท สี การคงอยู่ และพื้นผิวของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสิถิติเมื่อผ่านไป 1 ปี แสดงให้เห็นว่าการบูรณะฟันคลาสทูด้วยเรซินคอมโพสิตมีความสำเร็จทางคลินิกมากกว่าซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[90] ดังนั้นการบูรณะฟันคลาสทูด้วยเรซินคอมโพสิตจึงมีข้อได้เปรียบและจำเป็นต้องใช้ในกรณีที่โพรงฟันคลาสทูมีขนาดใหญ่หรือฟันซี่ที่ต้องบูรณะยังมีระยะเวลาการคงอยู่ในช่องปาก 3 ปีขึ้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อจำกัดของการศึกษานี้คือเป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันในห้องปฏิบัติการ และทำในระยะเวลาอันสั้น ใช้ชิ้นฟันจากด้านใกล้แก้มโดยเลือกบริเวณที่ค่อนข้างแบนราบเพื่อให้ใกล้เคียงกับผิวฟันด้านประชิด เนื่องจากฟันน้ำนมที่ถูกถอนส่วนใหญ่จะมีฟันผุในด้านประชิดอยู่ก่อนแล้วจึงไม่สามารถคัดเข้ามาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาได้ นอกจากนี้ได้ใช้สารละลายในการจำลองสภาวะช่องปากที่ไม่มีฟลูออไรด์ทำให้ผลของวัสดุนาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟต ในการช่วยให้เกิดการคืนแร่ธาตุแก่ชิ้นฟันซี่ข้างเคียงเป็นไปได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากหากมีฟลูออไรด์ในสิ่งแวดล้อม จะสามารถเกิดกลไกการคืนแร่ธาตุจากการจับตัวกันของแคลเซียมและฟอสเฟตที่วัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยกับฟลูออไรด์ เกิดเป็นฟลูออโรอะพาไทท์ ซึ่งมีความแข็งกว่าเคลือบฟันปกติ อีกทั้งการใช้แบบจำลองโพรงฟันคลาสทูของฟันกรามน้อยโดยเป็นแบบจำลองที่มีอยู่เดิม ซึ่งมีรูปร่างและความโค้งนูน รวมทั้งขนาดของพื้นที่สัมผัสกับฟันข้างเคียงแตกต่างจากฟันน้ำนม ในอนาคตจึงควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษาเพื่อดูผลในระยะยาว ควรปรับรูปแบบกระบวนการจำลองสภาวะในช่องปากให้มีการเติมฟลูออไรด์เข้าไปในระบบเพื่อจำลองการแปรงฟันด้วยยาสีฟันผสมฟลูออไรด์ และใช้แบบจำลองโพรงฟันคลาสทูของฟันกรามน้ำนมเพื่อจำลองพื้นที่สัมผัสตามธรรมชาติของฟันน้ำนม นอกจากนี้ควรเปรียบเทียบความสามารถในการช่วยคืนแร่ธาตุกับวัสดุบูรณะชนิดอื่นๆ รวมถึงการวิเคราะห์ผลการสูญเสียและคืนแร่ธาตุด้วยวิธีอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องและแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์ผลการสูญเสียและคืนแร่ธาตุแต่ละวิธี และควรนำไปศึกษาทางคลินิกต่อไป

โดยสรุปจากผลจากการศึกษานี้พบว่าการบูรณะด้วยวัสดุซีเมนต์กลาสไอโอโนเมอร์ สามารถคืนแร่ธาตุให้ฟันซี่ข้างเคียงได้ดีที่สุด แต่ในกรณีที่โพรงฟันคลาสทูมีขนาดใหญ่หรือฟันซี่ที่ต้องบูรณะยังมีระยะเวลาการคงอยู่ในช่องปาก 3 ปีขึ้นไป การใช้กลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์อาจทำให้เกิดความล้มเหลวได้มาก นาโนคอมโพสิตแคลเซียมฟอสเฟตจึงถือเป็นวัสดุหนึ่งที่เป็นทางเลือกในการใช้ทดแทนเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์ เนื่องจากใช้งานง่าย มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงทางแรงกด (Compressive Strength) ความแข็งแกร่งต่อการโค้งงอ (Flexural strength) และความสวยงามเทียบเท่ากับเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการลุกลามของรอยผุระยะเริ่มต้นในฟันซี่ข้างเคียงได้ดีกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดไม่ปลดปล่อยฟลูออไรด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJ, Marcenes W. Global burden of untreated caries: a systematic review and metaregression. J Dent Res. 2015;94(5):650-8.

2. Philip N, Suneja B, Walsh L. Ecological approaches to dental caries prevention: paradigm shift or shibboleth? Caries Res. 2018;52:153-65.

3. Kapoor A, Indushekar KR, Saraf BG, Sheoran N, Sardana D. Comparative evaluation of remineralizing potential of three pediatric dentifrices. Int J Clin Pediatr Dent. 2016;9(3):186-91.

4. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease Study 2017. Lancet. 2018;392(10159):1789-858.

5. กรมอนามัยสำนักทันตสาธารณสุข. รายงานผลการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติ ครั้งที่ 8 ประเทศไทย พ.ศ. 2560. 2561.

6. Cagetti MG, Campus G, Sale S, Cocco F, Strohmenger L, Lingström P. Association between interdental plaque acidogenicity and caries risk at surface level: a cross sectional study in primary dentition. Int J Paediatr Dent. 2011;21(2):119-25.

7. Mount GJ, Ngo H. Minimal intervention: early lesions. Quintessence Int. 2000;31(8):535-46.

8. Pitts NB, Rimmer PA. An in vivo comparison of radiographic and directly assessed clinical caries status of posterior approximal surfaces in primary and permanent teeth. Caries Res. 1992;26(2):146-52.

9. Tickotsky N, Petel R, Araki R, Moskovitz M. Caries progression rate in primary teeth: a retrospective study. J Clin Pediatr Dent. 2017;41(5):358-61.

10. Innes NPT, Chu CH, Fontana M, Lo ECM, Thomson WM, Uribe S, et al. A Century of change towards prevention and minimal intervention in cariology. J Dent Res. 2019;98(6):611-7.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

11. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. J Dent Res. 2010;89(10):1063-7.

12. Bernardo M, Luis H, Martin MD, Leroux BG, Rue T, Leitão J, et al. Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. J Am Dent Assoc. 2007;138(6):775-83.

13. Lawson N. Bioactive restorative materials in dentistry. Comp Cont Educ in Dent. 2019.

14. Donly KJ, Segura A, Kanellis M, Erickson RL. Clinical performance and caries inhibition of resin-modified glass ionomer cement and amalgam restorations. J Am Dent Assoc. 1999;130(10):1459-66.

15. Baig MS, Fleming GJ. Conventional glass-ionomer materials: a review of the developments in glass powder, polyacid liquid and the strategies of reinforcement. J Dent. 2015;43(8):897-912.

16. Dionysopoulos D, Koliniotou-Koumpia E, Helvatzoglou-Antoniades M, Kotsanos N. Fluoride release and recharge abilities of contemporary fluoride-containing restorative materials and dental adhesives. Dent Mater J. 2013;32(2):296-304.

17. Burke FM, Ray NJ, McConnell RJ. Fluoride-containing restorative materials. Int Dent J. 2006;56(1):33-43.

18. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. Dent Mater J. 2018;37(2):293-300.

19. Zimmerman BF, Rawls HR, Querens AE. Prevention of in vitro secondary caries with an experimental fluoride-exchanging restorative resin. J Dent Res. 1984;63(5):689-92.

20. Donly K, Gomez C. In vitro demineralization-remineralization of enamel caries at restoration margins utilizing fluoride-releasing composite resin. Quintessence Int. 1994;25(5):355-8.

21. Marinelli CB, Donly KJ, Wefel JS, Jakobsen JR, Denehy GE. An in vitro comparison of three fluoride regimens on enamel remineralization. Caries Res. 1997;31(6):418-22.

22. Donly KJ, Segura A, Wefel JS, Hogan MM. Evaluating the effects of fluoride-releasing dental materials on adjacent interproximal caries. J Am Dent Assoc. 1999;130(6):817-25.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

23. Gmür R, Giertsen E, van der Veen MH, de Josselin de Jong E, ten Cate JM, Guggenheim B. In vitro quantitative light-induced fluorescence to measure changes in enamel mineralization. Clin Oral Investig. 2006;10(3):187-95.

24. Liang K, Wang S, Tao S, Xiao S, Zhou H, Wang P, et al. Dental remineralization via poly(amido amine) and restorative materials containing calcium phosphate nanoparticles. Int J Oral Sci. 2019;11(2):1-12.

25. Moreau JL, Sun L, Chow LC, Xu HH. Mechanical and acid neutralizing properties and bacteria inhibition of amorphous calcium phosphate dental nanocomposite. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2011;98(1):80-8.

26. Weir MD, Chow LC, Xu HH. Remineralization of demineralized enamel via calcium phosphate nanocomposite. J Dent Res. 2012;91(10):979-84.

27. Melo MA, Weir MD, Rodrigues LK, Xu HH. Novel calcium phosphate nanocomposite with caries-inhibition in a human in situ model. Dent Mater. 2013;29(2):231-40.

28. Pathak S, Roopa K, Parameswarappa P, E N. White spot lesions: a literature review. J Pediatr Dent. 2015;3.

29. Fejerskov O, Nyvad B, Kidd E, editors. Dental caries: the disease and its clinical management: John Wiley & Sons; 2015 May 26.

30. Lin TH, Lin CH, Pan TM. The implication of probiotics in the prevention of dental caries. Appl Microbiol Biotechnol. 2018;102(2):577-86.

31. Young DA, Nový BB, Zeller GG, Hale R, Hart TC, Truelove EL. The american dental association caries classification system for clinical practice: a report of the american dental association council on scientific affairs. J Am Dent Assoc. 2015;146(2):79-86.

32. Pitts NB, Ismail AI, Martignon S, Ekstrand K, Douglas G, Longbottom C. ICCMS™ guide for practitioners and educators. London: King’s College London. 2014.

33. ทันตแพทย์สมาคมแห่งประเทศไทย. การวินิจฉัยโรคฟันผุและการจัดการ 2561 [Available from: https://www.thaidental.or.th/main/download/upload/upload-20190213213456.pdf.

34. American Academy of Pediatric Dentistry. Pediatric restorative dentistry. The reference manual of pediatric dentistry Chicago, Ill: American Academy of Pediatric Dentistry. 2020:371-83.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

35. Antony K, Genser D, Hiebinger C, Windisch F. Longevity of dental amalgam in comparison to composite materials. GMS Health Technol Assess. 2008;4:Doc12.

36. Alves dos Santos MP, Luiz RR, Maia LC. Randomised trial of resin-based restorations in Class I and Class II beveled preparations in primary molars: 48-month results. J Dent. 2010;38(6):451-9.

37. Wilson AD, Kent BE. A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. Br Dent J. 1972;132(4):133-5.

38. Mitra SB, Kedrowski BL. Long-term mechanical properties of glass ionomers. Dent Mater. 1994;10(2):78-82.

39. Nicholson JW. Chemistry of glass-ionomer cements: a review. Biomaterials. 1998;19(6):485-94.

40. Swartz ML, Phillips RW, Clark HE. Long-term F release from glass ionomer cements. J Dent Res. 1984;63(2):158-60.

41. Toh SL, Messer LB. Evidence-based assessment of tooth-colored restorations in proximal lesions of primary molars. Pediatr Dent. 2007;29(1):8-15.

42. Diem VT, Tyas MJ, Ngo HC, Phuong LH, Khanh ND. The effect of a nano-filled resin coating on the 3-year clinical performance of a conventional high-viscosity glass-ionomer cement. Clin Oral Investig. 2014;18(3):753-9.

43. Francois P, Fouquet V, Attal J-P, Dursun E. Commercially available fluoride-releasing restorative materials: a review and a proposal for classification. Materials 2020;13(10):2313.

44. Moberg M, Brewster J, Nicholson J, Roberts H. Physical property investigation of contemporary glass ionomer and resin-modified glass ionomer restorative materials. Clin Oral Investig. 2018;23:1295-308.

45. Kumari PD, Khijmatgar S, Chowdhury A, Lynch E, Chowdhury CR. Factors influencing fluoride release in atraumatic restorative treatment (ART) materials: A review. J Oral Biol Craniofac Res. 2019;9(4):315-20.

46. G Nigam A, Jaiswal J, Murthy R, Pandey R. Estimation of fluoride release from various dental materials in different media-an in vitro study. Int J Clin Pediatr. 2009;2(1):1-8.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

47. Yengopal V, Mickenautsch S. Caries-preventive effect of resin-modified glass-ionomer cement (RM-GIC) versus composite resin: a quantitative systematic review. Eur Arch Paediatr Dent. 2011;12(1):5-14.

48. Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials--fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. Dent Mater. 2007;23(3):343-62.

49. Skrtic D, Antonucci JM, Eanes ED, Eichmiller FC, Schumacher GE. Physicochemical evaluation of bioactive polymeric composites based on hybrid amorphous calcium phosphates. J Biomed Mater Res. 2000;53(4):381-91.

50. Xu HH, Moreau JL, Sun L, Chow LC. Nanocomposite containing amorphous calcium phosphate nanoparticles for caries inhibition. Dent Mater. 2011;27(8):762-9.

51. Kasraei S, Haghi S, Valizadeh S, Panahandeh N, Nejadkarimi S. Phosphate ion release and alkalizing potential of three bioactive dental materials in comparison with composite resin. Int J Dent. 2021:5572569.

52. Mosallam S, Abdel-Gawad R, Shehaby F, Elchaghaby M. Evaluation of remineralization potential of ACTIVA bioactive restorative material versus resin modified glass ionomer in restoration of premolars: in vitro study. Acta sci dent sci. 2021;5:159-66.

53. Huysmans MC, Longbottom C. The challenges of validating diagnostic methods and selecting appropriate gold standards. J Dent Res. 2004;83 Spec No C:C48-52.

54. Ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B. A review of quantitative methods for studies of mineral content of intra-oral caries lesions. J Dent Res. 1991;70(1):2-14.

55. Lo EC, Zhi QH, Itthagarun A. Comparing two quantitative methods for studying remineralization of artificial caries. J Dent. 2010;38(4):352-9.

56. ธารินทร์ เพียงสุข, กษาปณ์ พิเชฐโชติ, ชุติกุล เขื่อนแก้ว, ณีรนุช กิตติวินิชนันท, ปานไพลิน แสงอุทัย, ทวีศักดิ์ ประสานสุทธิพร, et al. เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวและรูปร่างของวัสดุสำหรับงานวิจัยทางทันตกรรม. เชียงใหม่ทันตแพทยสาร. 2560;38(1):13-28.

57. Arends J, ten Bosch JJ. Demineralization and remineralization evaluation techniques. J Dent Res. 1992;71 Spec No:924-8.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

58. Featherstone JD, ten Cate JM, Shariati M, Arends J. Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. Caries Res. 1983;17(5):385-91.

59. Arends J, ten Bosch JJ. Demineralization and Remineralization Evaluation Techniques. Journal of Dental Research. 1992;71(3_suppl):924-8.

60. Lippert F, Lynch RJ. Comparison of Knoop and Vickers surface microhardness and transverse microradiography for the study of early caries lesion formation in human and bovine enamel. Arch Oral Biol. 2014;59(7):704-10.

61. Darvell BW. Chapter 1 - Mechanical Testing. In: Darvell BW, editor. Materials Science for Dentistry (Tenth Edition): Woodhead Publishing; 2018. p. 1-39.

62. Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. Int J Oral Sci. 2009;1(4):177-88.

63. Domark JD, Hatton JF, Benison RP, Hildebolt CF. An ex vivo comparison of digital radiography and cone-beam and micro computed tomography in the detection of the number of canals in the mesiobuccal roots of maxillary molars. J Endod. 2013;39(7):901-5.

64. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. Detection of in vitro demineralization of primary teeth using quantitative light-induced fluorescence (QLF). Int J Paediatr Dent. 2002;12(3):158-67.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

65. Stookey GK. Quantitative light fluorescence: a technology for early monitoring of the caries process. Dent Clin North Am. 2005;49(4):753-70, vi.

66. van der Veen MH, de Josselin de Jong E. Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. Monogr Oral Sci. 2000;17:144-62.

67. Pretty IA. Caries detection and diagnosis: novel technologies. J Dent. 2006;34(10):727-39.

68. Ko HY, Kang SM, Kim HE, Kwon HK, Kim BI. Validation of quantitative light-induced fluorescence-digital (QLF-D) for the detection of approximal caries in vitro. J Dent. 2015;43(5):568-75.

69. Tranaeus S, Shi X-Q, Trollsas K, Lindgren L-E, Angmar-Mansson B. In-vivo quantification of natural incipient caries lesions using the quantitative light-induced fluoroscence method: a reproducibility study: SPIE; 2000.

70. Pretty IA, Hall AF, Smith PW, Edgar WM, Higham SM. The intra- and inter-examiner reliability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) analyses. Br Dent J. 2002;193(2):105-9.

71. Meller C, Heyduck C, Tranaeus S, Splieth C. A new in vivo method for measuring caries activity using quantitative light-induced fluorescence. Caries Res. 2006;40(2):90-6.

72. Krishnan G, George S, Anandaraj S, John SA, Mathew V, Shanavas NM. Efficacy of four remineralizing agents on primary teeth: in vitro evaluation using microhardness testing and quantitative light-induced fluorescence. Pediatr Dent. 2017;39(3):233-7.

73. Ando M, van Der Veen MH, Schemehorn BR, Stookey GK. Comparative study to quantify demineralized enamel in deciduous and permanent teeth using laser- and light-induced fluorescence techniques. Caries Res. 2001;35(6):464-70.

74. Kim HE, Cho YK, Kim BR, Jung EH, Kim BI. Cutoff fluorescence loss for the recovery of incipient carious lesions after fluoride application in primary teeth: A clinical study. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2018;23:367-72.

75. Qvist V, Poulsen A, Teglers PT, Mjor IA. Fluorides leaching from restorative materials and the effect on adjacent teeth. Int Dent J. 2010;60(3):156-60.

76. Guglielmi C, Calvo A, Tedesco T, Mendes F, Raggio D. Contact with fluoride-releasing restorative materials can arrest simulated approximal caries lesion. J Nanomater. 2015:1.

77. Veeramani R, Shanbhog R, Talwade P, Nandlal B. Remineralizing effect of calcium-sucrose-phosphate with and without fluoride on primary and permanent enamel: microhardness and quantitative-light-induced-fluorescence™ based in vitro study. Pediatr Dent J. 2021;31.

78. Stookey GK, Featherstone JD, Rapozo-Hilo M, Schemehorn BR, Williams RA, Baker RA, et al. The Featherstone laboratory pH cycling model: a prospective, multi-site validation exercise. Am J Dent. 2011;24(5):322-8.

79. Jang KT, Garcia-Godoy F, Donly KJ, Segura A. Remineralizing effects of glass ionomer restorations on adjacent interproximal caries. ASDC J Dent Child. 2001;68(2):125-8, 42.

80. Skrtic D, Antonucci JM, Eanes ED. Improved properties of amorphous calcium phosphate fillers in remineralizing resin composites. Dent Mater. 1996;12(5):295-301.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

81. Ruengrungsom C, Burrow MF, Parashos P, Palamara JEA. 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. J Dent. 2020;102:103474-85.

82. Baliga MS, Bhat SS. Effect of fluorides from various restorative materials on remineralization of adjacent tooth: an in vitro study. J Indian Soc Pedod Prev Dent. 2010;28(2):84-90.

83. Theerarath T, Sriarj W. An alkasite restorative material effectively remineralized artificial interproximal enamel caries in vitro. Clin Oral Investig. 2022.

84. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM. The validation of quantitative light-induced fluorescence to quantify acid erosion of human enamel. Arch Oral Biol. 2004;49(4):285-94.

85. Huang Q, Liang Z, Li J, Bai Y, He J, Lin Z. Size Dependence of Particulate Calcium Phosphate Fillers in Dental Resin Composites. ACS Omega. 2021;6(50):35057-66.

86. Beniash E, Metzler RA, Lam RS, Gilbert PU. Transient amorphous calcium phosphate in forming enamel. J Struct Biol. 2009;166(2):133-43.

87. Baby S, Ummar A, Paul S. Comparative study on the compressive strength of a new ceramic reinforced glass ionomer (amalgomer cr) and resin-coated high strength glass ionomer cement (equia forte) with a nanohybrid composite material (tetric n ceram) in a simulated oral environment: An in vitro study. Conserv Dent Endod J. 2018;3(2):40-4.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

88. Sujith R, Yadav TG, Pitalia D, Babaji P, Apoorva K, Sharma A. Comparative Evaluation of Mechanical and Microleakage Properties of Cention-N, Composite, and Glass Ionomer Cement Restorative Materials. J Contemp Dent Pract. 2020;21(6):691-5.

89. Kupietzky A, Atia Joachim D, Tal E, Moskovitz M. Long-term clinical performance of heat-cured high-viscosity glass ionomer class II restorations versus resin-based composites in primary molars: a randomized comparison trial. Eur Arch Paediatr Dent. 2019;20(5):451-6.

90. Balkaya H, Arslan S, Pala K. A randomized, prospective clinical study evaluating effectiveness of a bulk-fill composite resin, a conventional composite resin and a

reinforced glass ionomer in Class II cavities: one-year results. J Appl Oral Sci. 2019;27:e20180678.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
เอกสารผลการพิจารณาจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

No. 062/2021

Study Protocol and Consent Form Approval
Certificate of Exemption

The Human Research Ethics Committee of the Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand has approved the following study to be carried out according to the protocol and patient/participant information sheet dated and/or amended as follows in compliance with the **ICH/GCP**

Study Title	:	*In vitro* effect of an ion-releasing material on remineralizing adjacent initial interproximal caries in primary molars
Study Code	:	HREC-DCU **2021-068**
Study Center	:	Chulalongkorn University
Principle Investigator	:	Ms. Danuthida Saket
Protocol Date	:	August 16, 2021
Date of Approval	:	September 3, 2021
Date of Expiration	:	September 2, 2023

....
(Assistant Professor Dr. Kanokporn Bhalang)
Chairman of Ethics Committee

....
(Professor Dr. Thanaphum Osathanon)
Associate Dean for Research

*A list of the Ethics Committee members (names and positions) present at the Ethics Committee meeting on the date of approval of this study has been attached (upon requested). This Study Protocol Approval Form will be forwarded to the Principal Investigator.

Approval is granted subject to the following conditions: (see back of the approval)

ภาคผนวก ข

เอกสารผลการประเมินความปลอดภัยทางชีวภาพ

99-FM-34-07 ฉบับที่ 01 วันที่บังคับใช้ 15 พ.ย. 2564 หน้าที่ 1/1
CU-IBC09

Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Institutional Biosafety Committee

Certificate of Notification

Notification No.	: DENT CU-IBC 004/2022
Project title	: IN VITRO EFFECT OF AN ION-RELEASING MATERIAL ON REMINERALIZING ADJACENT INITIAL INTERPROXIMAL CARIES IN PRIMARY MOLARS
Subproject title	: -
Principal investigator of the project	: Associate Professor Prim Auychai, DDS, M.Sc.
Principal investigator of the subproject	: -
Affiliation	: Department of Pediatric Dentistry
Risk group	:

Pathogen ☐ Risk group 1 ☐ Risk group 2 ☐ Risk group 3 ☐ Risk group 4

Animal toxin ☐ Risk group 1 ☐ Risk group 2 ☐ Risk group 3

Other.. Risk group/LD_{50}..

Biocontainment level :

☑ Biosafety level 1 ☐ Biosafety level 2 ☐ Biosafety level 2 enhanced ☐ Biosafety level 3 ☐ Biosafety level 4

This project has been reviewed and notified by CU-IBC in accordance with the levels of risk in pathogens and animal toxins list in the Risk Group of Pathogen (2018) and Animal Toxin (2019) published by Department of Medical Sciences (Ministry of Public Health), the Pathogen and Animal Toxin Act (2015) and Biosafety Guidelines for Modern Biotechnology BIOTEC (2016).

The official signing to certify that the information provided on this form is correct. The institution assumes that investigators will take responsibility, and follow the levels of risk in pathogens and animal toxins list in the Risk Group of Pathogen (2018) and Animal Toxin (2019) published by Department of Medical Sciences (Ministry of Public Health), the Pathogen and Animal Toxin Act (2015) and Biosafety Guidelines for Modern Biotechnology BIOTEC (2016).

The notification is subjected to assurance given in the levels of risk in pathogens and animal toxins list in the Risk Group of Pathogen (2018) and Animal Toxin (2019) published by Department of Medical Sciences (Ministry of Public Health), the Pathogen and Animal Toxin Act (2015) and Biosafety Guidelines for Modern Biotechnology BIOTEC (2016) and may be required for future investigations and reviews.

If there are any changes in information, please notify CU-IBC.

Effective date: February 04, 2022 **Expiration date:** December 31, 2022

Signature ....
(Assistant Professor Lertrit Sarinnaphakorn, DDS, M.Sc. Dent, Ph.D.)
DENT CU-IBC Chair

ภาคผนวก ค
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับขอฟัน/ เนื้อเยื่อ/ ภาพรังสี/ ข้อมูลหรือสิ่งอื่นๆเพื่อใช้ในงานวิจัย

79-FM-32-09 วันที่บังคับใช้ 6 ก.ค. 2564 หน้าที่ 1/1

เอกสารสำหรับขอ ฟัน/เนื้อเยื่อ/ภาพรังสี/ข้อมูล/อื่นๆ เพื่อใช้ในการทำวิจัย

เรียน หัวหน้าภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้าพเจ้านางสาวดนุธิดา สาเขตร์ จะทำการวิจัยเรื่องการศึกษาผลของวัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแร่ธาตุต่อการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของฟันกรามน้ำนมซี่ข้างเคียงในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของชิ้นฟันที่สัมผัสกับวัสดุบูรณะคลาสทูด้วยวัสดุ Bulk-fill dual-cure composite ชนิดปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟต เปรียบเทียบกับกลาสไอโอโนเมอร์ และเรซินคอมโพสิต โดยใช้เครื่อง QLF-D ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนต์ ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้คือทราบถึงความสามารถของวัสดุบูรณะคลาสทู ในการคืนแร่ธาตุให้รอยผุระยะเริ่มต้นของฟันข้างเคียง หากวัสดุ Bulk-fill dual-cure composite ชนิดปลดปล่อยแคลเซียมและฟอสเฟต สามารถช่วยคืนแร่ธาตุให้ฟันซี่ข้างเคียงได้ จะเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีของ Resin composite อีกทั้งยังเป็น Bioactive material เพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงในการเกิดฟันผุสูง ทั้งนี้ การวิจัยนี้จะต้องใช้ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2 ของมนุษย์ซึ่งถูกถอนด้วยเหตุผลทางทันตกรรม จำนวน 60 ซี่ โดยผู้วิจัยจะไม่เก็บข้อมูลโดยตรงจากอาสาสมัคร และไม่ต้องการเชื่อมโยงถึงข้อมูลต่างๆ ของอาสาสมัคร

จึงเรียนมาเพื่อขอใช้ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2 ของมนุษย์ ซึ่งอยู่ในการดูแล/ครอบครองของท่าน และข้าพเจ้าจะจัดการกับสิ่งที่ขอใช้ดังกล่าวเมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยโดยการกำจัดเป็นขยะติดเชื้อ

ขอแสดงความนับถือ

ลงนาม..	ลงนาม..
(ทันตแพทย์หญิง ดนุธิดา สาเขตร์)	(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ปริม อวยชัย)
ผู้วิจัยหลัก	อาจารย์ที่ปรึกษา
หมายเลขโทรศัพท์มือถือ 086-0787026	วันที่....7.....เดือน.........สิงหาคม.........พ.ศ......2564......

เริ่มใช้ กรกฎาคม 2564

เอกสารถูกจัดทำครั้งที่ 1 วันที่จัดทำ 6 / สิงหาคม / 2564

ภาคผนวก ง
เอกสารยินยอมมอบฟัน/ เนื้อเยื่อ/ ภาพรังสี/ ข้อมูลหรือสิ่งอื่นๆเพื่อใช้ในงานวิจัย

79-FM-32-10 วันที่บังคับใช้ 6 ก.ค. 2564 หน้าที่ 1/1

เอกสารยินยอมมอบ ฟัน/เนื้อเยื่อ/ภาพรังสี/ข้อมูล/หรือสิ่งอื่นๆ เพื่อใช้ในการทำวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของวัสดุบูรณะที่ปลดปล่อยแร่ธาตุต่อการคืนแร่ธาตุในรอยผุระยะเริ่มต้นของฟันกรามน้ำนมซี่ข้างเคียงในห้องปฏิบัติการ

ผู้วิจัยหลัก ทันตแพทย์หญิง ดนุธิดา สาเขตร์

ก่อนที่จะลงนามในเอกสารยินยอมนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย รวมถึงประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความเข้าใจดีแล้ว ข้าพเจ้าขอมอบ

- ☑ ฟันที่ได้รับความยินยอมจากผู้ป่วยให้ถอนออกเนื่องจากเหตุผลทางการแพทย์
- ☐ เนื้อเยื่อที่ได้รับความยินยอมจากผู้ป่วยให้ตัดออกเนื่องจากเหตุผลทางการแพทย์
- ☐ ภาพรังสี
- ☐ ข้อมูล (โปรดระบุ) ....
- ☐ สิ่งอื่นๆ (โปรดระบุ) ....

จำนวนเท่าที่ผู้วิจัยขอมา ที่อยู่ในความดูแล/ครอบครองของข้าพเจ้า เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยดังกล่าว

ลงนาม...ผู้ยินยอม

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ทิพวรรณ ธราภิวัฒนานนท์)

ตำแหน่ง หัวหน้าภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็ก

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่....6.....เดือน......สค...............พ.ศ.....2564..............

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
34 ถ.อังรีดูนังต์ วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

เริ่มใช้ กรกฎาคม 2564 เอกสารถูกจัดทำครั้งที่ 1 วันที่จัดทำ 6 / สิงหาคม / 2564

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Danuthida Saket
วัน เดือน ปี เกิด	13 Nov 1990
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	Doctor of Dental Surgery from Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, 2009 - 2014 Master degree program in Pediatric Dentistry, Graduate school, Chulalongorn University, started in 2019
ที่อยู่ปัจจุบัน	90/554 Munthana Phraya Suren Rd. Bangchan Khlong Sam Wa, Bangkok 10510

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY