

คุณภาพของเนื้อฟันที่มีผลต่อการยึดติดของสารยึดติด ที่รอยต่อระหว่างเนื้อฟันและสารยึดติด The Effect of Dentine Quality to Adhesion at Dentine Bonding Interface

ศิริจันทร์ เจียรพุดมี¹, ขวัญชนก อยู่เจริญ²

¹ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²ภาควิชาทันตกรรมสำหรับเด็กและทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Sirichan Chiaraputti¹, Kwanchanok Youcharoen²

¹Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

²Department of Pedodontics and Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

ชม.ทันตสาร 2556; 34(1) : 23-33

CM Dent J 2013; 34(1) : 23-33

บทคัดย่อ

การใช้สารยึดติดได้กลายมาเป็นหนึ่งในการรักษาทั่วไปในหลายสาขาทางทันตกรรม แม้ว่าสารยึดติดจะถูกใช้งานอย่างแพร่หลายแต่การใช้งานก็ยังไม่ประสบความสำเร็จอย่างที่เราควรจะเป็น เนื่องจากทันตแพทย์ขาดความรู้ความเข้าใจและใช้งานอย่างไม่เหมาะสม ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้การใช้สารยึดติดประสบความสำเร็จคือคุณภาพของเนื้อฟันที่นำมายึดติด ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับคุณภาพของเนื้อฟันและผลที่มีต่อการยึดติดของสารยึดติดจึงเป็นประโยชน์ต่อทันตแพทย์อย่างมาก

Abstract

The use of dentine bonding system becomes a routine treatment in many specialties of dental treatment. Although, it has been widely used, dentine bonding system is still failed to achieve the desirable performance due to the misunderstanding and improper technique. One of the factors that will lead to the achievement of dentine bonding is the quality of dentine. An understanding in dentine quality and its effect on bonding performance will be very useful to clinicians.

Corresponding Author:

ศิริจันทร์ เจียรพุดมี

อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Sirichan Chiaraputti

Dr., Department of Conservative Dentistry

and Prosthodontics, Faculty of Dentistry,

Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand.

Tel. 66-2-664-1000 Ext.5112 E-mail: sirichanswu@gmail.com

บทความนี้ได้ทบทวนผลของเนื้อฟันในสภาพต่างๆ ที่มีต่อการยึดติดของสารยึดติด ได้แก่ เนื้อฟันปกติ เนื้อฟันที่แห้ง เนื้อฟันที่ไม่ติดเชื้อ และ เนื้อฟันน้ำนม นอกจากนี้บทความยังได้ทบทวนความแตกต่างของสารยึดติดชนิดโทเทิลเอทซ์ และเซลฟ์เอทซ์ ที่มีต่อเนื้อฟันชนิดต่างๆ ด้วย

คำสำคัญ: เนื้อฟัน สารยึดติด เนื้อฟันที่ไม่ติดเชื้อ เนื้อฟันน้ำนม

This article reviews the effect of dentine quality in many clinical situations such as normal dentine, dry dentine, caries affected dentine and primary dentine. The article also discussed the different performance of total etching and self etching on each type of dentine.

Keywords: dentine, dentine bonding agent, caries affected dentine, primary dentine

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การใช้สารยึดติดเข้ามามีบทบาทในงานทันตกรรมอย่างมากและเกี่ยวข้องกับการทำงานในหลายสาขาวิชา ทันตแพทย์จึงควรจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่จะใช้ และพื้นผิวที่จะมายึดติด เพื่อจะทำให้ได้การยึดติดที่มีคุณภาพและเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุบูรณะในช่องปากได้

การทำงานด้วยสารยึดติดเนื้อฟัน จะประกอบด้วยพื้นผิว 2 ชนิดที่จะมายึดกัน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการยึดระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะ ดังนั้นเนื้อฟันจึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการยึดติดที่มีคุณภาพ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเนื้อฟันต่อการยึดติดของสารยึดติด เพื่อเป็นข้อมูลให้ทันตแพทย์พิจารณาเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาพเนื้อฟันที่จะบูรณะ และเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาในอนาคตต่อไป

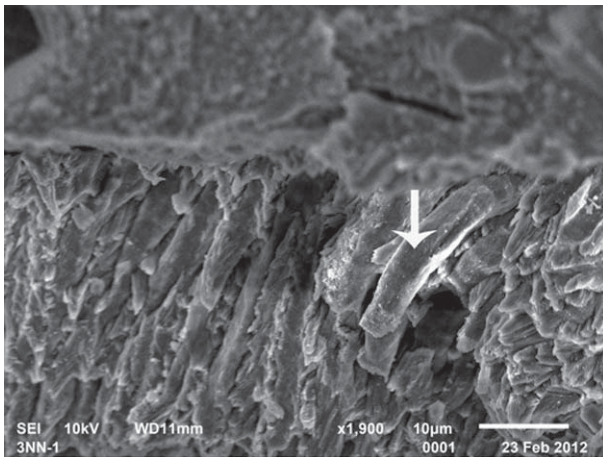
องค์ประกอบและโครงสร้างของเนื้อฟัน

เนื้อฟันเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างเคลือบฟันและเนื้อเยื่อในฟัน เนื้อฟันจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารซึ่งมีความหลากหลายในแต่ละบริเวณบนตัวฟันและส่งผลกระทบต่อลักษณะเชิงกลของเนื้อฟันด้วย⁽¹⁾ ซึ่งอินทรีย์สาร จะมีประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ที่เป็นส่วนประกอบหลักได้แก่ ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (hydroxyapatite) ส่วนที่เป็นอินทรีย์สาร ประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร ซึ่งมีเส้นใยคอลลาเจนชนิดที่ 1 เป็นส่วนใหญ่ และร้อยละ 20 จะเป็นของของเหลวที่มีลักษณะ

คล้ายพลาสมา⁽²⁾ ชั้นเนื้อฟันประกอบไปด้วยทั้งหมด 4 ส่วนคือ (1) ท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) มีลักษณะเป็นท่อเรียงตัวชิดกันตามความหนาของชั้นเนื้อฟัน (รูปที่ 1) ซึ่งเริ่มต้นจากรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเคลือบฟัน ไปยังเนื้อเยื่อในฟัน (dental pulp) ในส่วนของตัวฟัน และเริ่มต้นจากรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและเนื้อฟันไปยังส่วนของคลองรากฟัน (2) เนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentine หรือ intratubular dentine) ซึ่งล้อมรอบท่อเนื้อฟัน เป็นส่วนที่มีการสะสมแร่ธาตุอยู่มาก (3) เนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentine) ในชั้นนี้จะเป็นบริเวณที่มีแร่ธาตุสะสมน้อย ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเส้นใยคอลลาเจนชนิดที่ 1 ที่ภายในจะมีผลึกอะพาไทท์ (apatite crystals) ผั่งตัวอยู่ และ (4) ของเหลวในเนื้อฟัน (dentinal fluid)⁽³⁾

พัฒนาการของการใช้สารยึดติดบนเนื้อฟัน

การยึดติดของเรซินต่อเคลือบฟันได้ถูกคิดค้นในปี ค.ศ. 1955 โดย Buonocore โดยพบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกเตรียมสภาพผิวเคลือบฟันจะให้ค่าการยึดติดที่แข็งแรงมากกว่ากรดชนิดอื่นและสามารถใช้งานได้ในทางคลินิกเพราะเป็นการทดลองในช่องปากผู้ป่วย⁽⁴⁾ อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาในการยึดติดของเรซินต่อชั้นเนื้อฟันเนื่องจากเนื้อฟันเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างฟันที่เชื่อมโยงกับเนื้อเยื่อในฟัน จึงทำให้เกิดความกังวลว่าการใช้กรดความเข้มข้นสูงกัดบนเนื้อฟันอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อในฟันได้^(5,6) จึงได้มีความพยายามในการทดลองใช้กรดชนิดต่างๆ เพื่อทำการกัดเนื้อฟัน แต่ผลที่



รูปที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะของเนื้อฟันในสภาวะที่มีความชื้นปกติ ลูกศรสีขาวแสดงลักษณะท่อเนื้อฟัน

Figure 1 SEM image shows normal dentin under moist condition. The white arrow illustrates the dentinal tubule.

ได้ในระยะแรกก็ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ Pashley และคณะพบว่า การใช้กรดซิตริก (citric acid) ความเข้มข้นร้อยละ 6 กัดผิวเนื้อฟันเพียง 5 วินาทีจะทำให้ความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ของหลอดท่อในเนื้อฟันเพิ่มขึ้นอย่างมากและจะเพิ่มจนถึงขั้นที่อาจเป็นอันตรายหากใช้เกิน 15 วินาที⁽⁷⁾ การศึกษาในระยะต่อมาจึงเป็นการพยายามจัดการกับชั้นสเมียร์ (smear layer) เพื่อให้ได้การยึดติดที่มีค่าสูง⁽⁸⁾ Fusayama เป็นคนแรกที่ประสบความสำเร็จในการใช้กรดกัดเนื้อฟันเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ และได้ค่าการยึดติดที่สูง อีกทั้งยังสามารถวัดคั้นวิธีการทดสอบค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ได้เป็นผลสำเร็จด้วย การค้นพบของ Fusayama นับได้ว่าเป็นต้นแบบของระบบโทเทิลเอทซ์ (total etch) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน^(9,10) ซึ่งเกิดจากการทดลองใช้กรดกัดลงบนผิวเนื้อฟัน แล้วจึงทาสารยึดติดทับ จากนั้นนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และพบการเกิดลักษณะของเรซิน แทก (resin tag) ลงไปในท่อเนื้อฟันด้วย⁽¹¹⁾

แม้ว่าสารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันบ้าง แต่โดยทั่วไปแล้วสารยึดติดจะประกอบด้วยสามส่วนหลักๆ คือ สาร

กัดชนิดกรด (etchant) สารที่ใช้ในการปรับสภาพผิวเนื้อฟัน (primer) เพื่อส่งเสริมการยึดติด และสารยึดติดกับเนื้อฟัน (bonding agent) การใช้กรดกัดผิวเนื้อฟันนั้นจะทำให้หน้าที่ในการกำจัดชั้นสเมียร์ ซึ่งทำให้เกิดการเปิดออกของท่อเนื้อฟัน ทำให้เกิดการผ่านเข้าออกของของเหลวผ่านทางท่อเนื้อฟัน รวมถึงการทำให้เกิดสูญเสียแร่ธาตุของเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟันและเนื้อฟันที่อยู่รอบๆ ท่อเนื้อฟัน⁽¹²⁾

ต่อมาหลังจากที่ทำการล้างกรดออกแล้วนั้น จะใช้สารปรับสภาพผิวเนื้อฟัน ซึ่งประกอบไปด้วยโมโนเมอร์ (monomer) ที่มี 2 ขั้ว ซึ่งมีลักษณะชอบน้ำ (hydrophilic) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เช่น ไฮดรอกซีเอทิลเมตาครีเลต (hydroxyethylmethacrylate : HEMA), ไบฟีนิลไดเมตาครีเลต (biphenyl di methacrylate : BPDm) และไฟเมตาครีลออกซิลเอทิลไตรเมทิลเอตแอนไฮไดรด์ (4-metacryloxyethyltrimellitate anhydride : 4-META) ด้านมีขั้วที่มีลักษณะชอบน้ำนั้นจะมีการยึดเหนี่ยวกับผิวหน้าของเนื้อฟันและด้านขั้วที่ไม่ชอบน้ำ ได้แก่ ด้านที่มีกลุ่มเมตาครีเลต (methacrylate group) จะยึดติดกับเรซิน สารปรับสภาพผิวเนื้อฟันจะทำให้ผิวหน้าของเนื้อฟันเปียกชื้นและจะซึมผ่านเข้าไประหว่างเส้นใยคอลลาเจน ทำให้เส้นใยเหล่านี้ฟูตัวกลับขึ้นไปในระดับที่เกือบเท่าเดิม นอกจากนี้แล้วสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันยังช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวและเพิ่มการไหลแผ่ของของเหลวที่ผิวหน้าของเนื้อฟันได้อีกด้วย⁽¹³⁾ จากนั้นเรซินที่ปราศจากฟิลเลอร์ (unfilled resin) จะถูกทา และเกิดการซึมผ่านลงไปเกิดการผสมผสานกับปรับสภาพผิวเนื้อฟันเกิดเป็นชั้นผสมผสานของสารปรับสภาพผิวเนื้อฟันและเรซินที่เรียกว่า ชั้นที่มีการแทรกซึมของเรซิน (resin infiltrated layer) หรือชั้นไฮบริด (hybrid layer) (รูปที่ 2) การเกิดชั้นไฮบริดของชั้นเนื้อฟันและเรซินได้รับการกล่าวถึงเป็นครั้งแรกในปี 1982 โดย Nakabayashi และคณะว่าเป็นกลไกหลักในการยึดติดของระบบสารยึดติดในปัจจุบัน⁽¹⁴⁾ โดยค่าการยึดติดนั้นมักจะมีค่าลดลงหากไม่เกิดชั้นไฮบริดขึ้น⁽¹⁵⁾

แม้ว่าระบบโทเทิลเอทซ์ จะให้ค่าการยึดติดที่ในระยะแรก แต่จากงานวิจัยพบว่า ค่าการยึดติดของระบบนี้จะลดลงในระยะเวลา 6 เดือน ไม่ว่าจะใช้ระบบโทเทิล-

เซทท์ ที่มีตัวทำละลายเป็นแอลกอฮอล์ หรือน้ำ⁽¹⁶⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นไฮบริดของระบบโทเทิลเซทท์ ซึ่งเกิดบอนด์ (Single Bond) จะมีลักษณะเป็นรูพรุนมากขึ้น ในขณะที่ ชั้นไฮบริดที่เกิดจากสารยึดติดชนิดเซลฟ์เซทท์ ยูนิฟิล บอนด์ (Unifil Bond) มีความคงที่มากกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบในระยะเวลา 1 ปี 17 นอกจากนี้ผลการศึกษาระยะยาว 4 ปี ยังบ่งชี้ว่าการยึดติดโดยระบบโทเทิลเซทท์จะเกิดการเสื่อมสภาพได้ โดยสารยึดติดโทเทิลเซทท์แบบ 3 ชั้นตอน จะเสื่อมสภาพน้อยกว่า สารยึดติด โทเทิลเซทท์ ชนิด 2 ชั้นตอน นอกจากนี้ การมี เคลือบฟันล้อมรอบจะช่วยลดอัตราการเสื่อมสภาพของการยึดติดได้ด้วย⁽¹⁸⁾

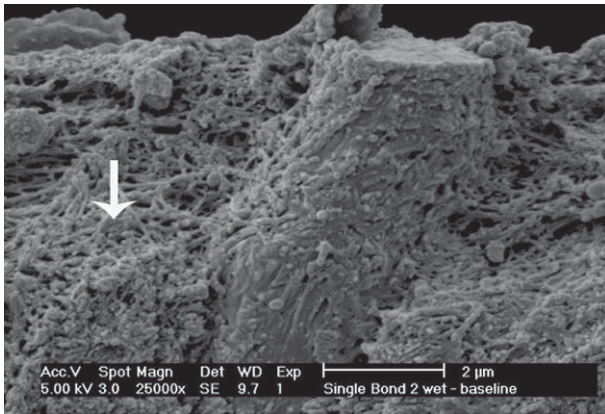
วิวัฒนาการต่อมาของสารยึดติดต่อเนื่องกันเป็นการปรับเปลี่ยนและลดขั้นตอนในการทำงานเพื่อให้การใช้งานในทางคลินิกมีความคล่องตัวและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งยังคงต้องการการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดเหมือนเดิม แต่ได้มีการพัฒนาโดยปรับเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดติด เพื่อให้มีความเป็นกรดในตัวเอง และสามารถใช้กัดเนื้อฟันได้โดยไม่ต้องใช้กรดฟอสฟอริก การค้นพบโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดนี้ (acidic monomer) จึงเป็นต้นกำเนิดของระบบเซลฟ์เซทท์ (self etch)⁽¹⁹⁾ ที่เริ่มใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ประสิทธิภาพการยึดติดของสารยึดระบบเซลฟ์เซทท์ นั้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โดยกลไกการยึดติดของสารยึดติดในระบบเซลฟ์เซทท์นั้นแตกต่างจากระบบโทเทิลเซทท์อย่างสิ้นเชิง สารยึดติดในระบบเซลฟ์เซทท์นั้นจะใช้โมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดในการละลายแร่ธาตุของชั้นเนื้อฟัน แต่เนื่องจากโมโนเมอร์ที่ใช้ในระบบนี้ มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนทำให้การละลายแร่ธาตุของชั้นเนื้อฟัน จะเกิดขึ้นน้อยกว่าในระบบโทเทิลเซทท์อย่างมาก โดยชั้นไฮบริดที่เกิดระบบเซลฟ์เซทท์จะมีความหนาเพียง 1-2 ไมครอน⁽²⁰⁾ ในขณะที่ชั้นไฮบริดที่เกิดจากระบบโทเทิลเซทท์ จะมีความหนาถึง 5-10 ไมครอน^(20,21) นอกจากนี้ การเสื่อมสลาย (degradation) บริเวณรอยต่อของเรซินและเนื้อฟัน ของระบบเซลฟ์เซทท์กับเนื้อฟันก็ยังคงแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดติด จากงานวิจัยของผู้เขียนพบว่า สารยึดติดที่มีองค์ประกอบเป็น เทน-เมตาคริลอกซีเดซิล ไดไฮ-

โดรเจนฟอสเฟต (10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate: 10-MDP) สามารถให้ค่าการยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้จากการศึกษาเปรียบเทียบกับโมโนเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ เทน-เมตาคริลอกซีเดซิล ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, โฟ-เมตาคริลอกซีลเอทิลไตรเมทิลเอต แอนไฮไดรด์ และ ฟีนนิลพี (phynyl-P) พบว่า เทน-เมตาคริลอกซีเดซิล ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตสามารถทำให้เกิด การยึดติดแบบเคมีกับแคลเซียมในผลึกไฮดรอกซีลอปาทิต (hydroxy-lapatite) ที่มีความคงตัวกว่า ฟังก์ชันนอลโมโนเมอร์ (functional monomer) ตัวอื่น และพบว่าเมื่อผ่านการเปลี่ยนอุณหภูมิร้อนเย็นแบบเป็นจังหวะ (thermo-cycling) จำนวน 100,000 รอบ แล้วบริเวณรอยต่อที่ได้จากเทน-เมตาคริลอกซีเดซิล ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตจะมีสภาพคงที่ ในขณะที่ รอยต่อที่เกิดจากโฟ-เมตาคริลอกซีลเอทิลไตรเมทิลเอต แอนไฮไดรด์ และ ฟีนนิลพี จะมีลักษณะการเสื่อมสภาพของคอลลาเจน และรูพรุนมากขึ้น จึงสรุปได้ว่า ฟังก์ชันนอลโมโนเมอร์ เทน-เมตาคริลอกซีเดซิล ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดของสารยึดติดเซลฟ์เซทท์⁽²²⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าสารยึดติดในระบบเซลฟ์เซทท์ ชนิด เคลียร์ฟิล เอสอี บอนด์ (Clearfil SE bond) ซึ่งเป็นระบบเซลฟ์เซทท์ 2 ชั้นตอน สามารถให้ค่าการยึดติดที่สูงเกือบจะเทียบเท่ากับซิงเกิลบอนด์ ซึ่งเป็นระบบโทเทิลเซทท์ชั้นตอนเดียว แต่พบว่าในกลุ่มเซลฟ์เซทท์ชั้นตอนเดียว (all-in-one self etching adhesives) เช่น เคลียร์ฟิล เอสเอส-บอนด์ (Clearfil S3 Bond) ค่าการยึดติดจะต่ำกว่าระบบโทเทิลเซทท์อย่างมีนัยสำคัญ และ นอกจากนี้ยังเกิดการเสื่อมสลายบริเวณรอยต่อเรซินและเนื้อฟันมากกว่าด้วย⁽²³⁾ ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาว่าการแทรกซึมของเรซินที่เกิดจากเรซินชนิดที่ชอบน้ำ (hydrophilic resin) จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเรซินชนิดที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic resin) ดังนั้นในกลุ่มเซลฟ์เซทท์ชั้นตอนเดียว ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมากและมีเรซินชนิดที่ชอบน้ำ อยู่ด้วยจึงมีโอกาสเกิดการเสื่อมสลายบริเวณรอยต่อเรซินและเนื้อฟันมากกว่าได้⁽²⁴⁾

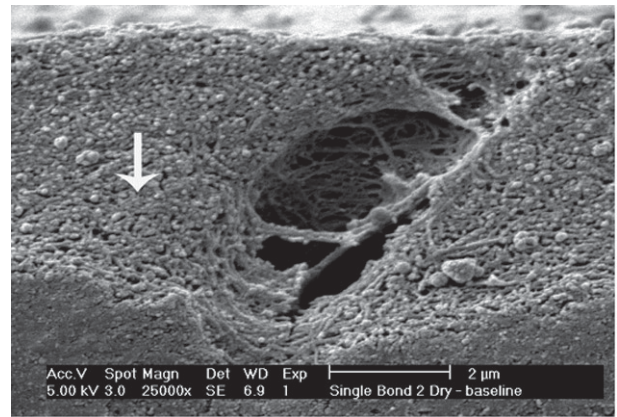
อย่างไรก็ตาม สารยึดติดระบบเซลฟ์เซทท์ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าบนเนื้อฟันที่แห้ง

ทั้งนี้เนื่องจากสารยึดติดในระบบเซลฟ์เอทซ์ มีแนวโน้มที่จะดูดซึมน้ำได้มากและอ่อนตัวลงทำให้ความแข็งแรงลดลงได้ โดยพบว่าค่ายืดหยุ่นโมดูลัส (elastic modulus) ของสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ขั้นตอนเดียวจะลดลงมากในสถานะที่มีความชื้น โดยเกิดขึ้น กับทั้ง ซีโนไฟร์ (Xeno IV), จีบอนด์ (G Bond), เคลียร์ฟิลล์ไตรเอสบอนด์ (Clearfil S3 Bond), บอนด์ฟอร์ซ (Bond Force) และ วันอัปบอนด์เอฟพลัส (One-Up Bond F Plus) ที่นำมาใช้ในการทดลอง⁽²⁵⁾ ดังนั้นจึงน่าจะเป็นแนวทางในการทำงานทางคลินิกว่า การใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์นั้น ควรใช้บนเนื้อฟันที่แห้งมากกว่าเนื้อฟันที่เปียกชื้น



รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงภาพรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและสารยึดติด ของซิงเกิลบอนด์บนเนื้อฟันปกติ โดยใช้การเตรียมแบบเวทบอนดิง (wet bonding) ลูกศรสีขาวแสดงให้เห็นเส้นใยคอลลาเจนที่ประสานกันอยู่ในเนื้อฟัน

Figure 2 SEM image shows the resin dentin interface of Single bond on normal dentin which was prepared by wet bonding technique. The white arrow illustrates the collagen fibrils in the dentin.



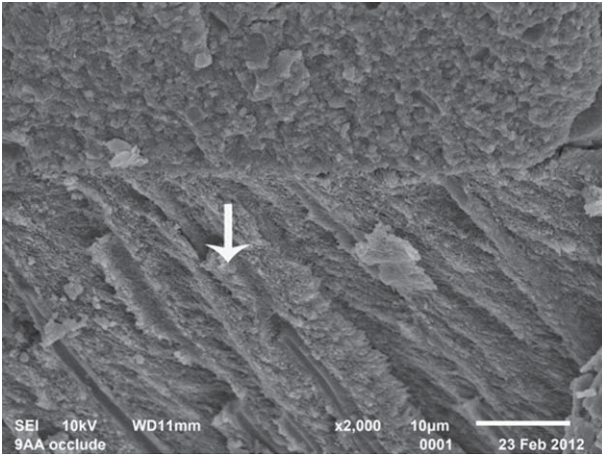
รูปที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงภาพเนื้อฟันหลังการใช้กรดฟอสฟอริกกัด 15 วินาทีและเป่าลมจนแห้งมาก จะพบเส้นใยคอลลาเจนพับตัวลง ลูกศรสีขาวแสดงลักษณะคอลลาเจนที่พับตัวลง

Figure 3 SEM image shows dry phosphoric etched dentin with collapsed collagen. The white arrow illustrates the collapsed collagen.

การยึดติดบนเนื้อฟันที่แห้ง

เนื่องจาก เนื้อฟันมีคอลลาเจนเป็นส่วนประกอบและการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในเนื้อฟันจะส่งผลต่อลักษณะของคอลลาเจนในเนื้อฟันด้วย 26 โดยเมื่อปริมาณน้ำในเนื้อฟันน้อยคอลลาเจนจะพับตัวลงและอัดกันแน่น (รูปที่ 3) ลักษณะเช่นนี้จะส่งผลต่อการยึดติดในระบบโทเทิลเอทซ์อย่างมาก โดยพบว่าค่าแรงยึดติดของสารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์ บนเนื้อฟันที่แห้งจะต่ำกว่าค่าที่ได้จากเนื้อฟันที่มีความชื้นปกติอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสารยึดติดกลุ่มที่มีอะซีโตน (acetone) เป็นตัวทำละลาย⁽²⁷⁾ ดังนั้นในการใช้สารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์จึงมีการแนะนำให้เป่าลมเบาๆ เพื่อให้เนื้อฟันยังคงมีความชุ่มชื้น หรือที่เรียกว่า เวท บอนดิง⁽²⁸⁾ ในทางตรงข้ามนักวิจัยบางกลุ่มพบว่า การเตรียมเนื้อฟันให้แห้งสนิทก่อนการทาสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ชนิดขั้นตอนเดียวลงไปจะช่วยทำให้ได้การยึดติดที่แข็งแรงขึ้น⁽²⁹⁾

การยึดติดบนเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อ (affected dentine)



รูปที่ 4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงลักษณะ ท่อเนื้อฟันในเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อ ลูกศรสีขาวแสดงลักษณะท่อเนื้อฟันที่มีการอุดตันจากการตกตะกอนของแร่ธาตุ

Figure 4 SEM image shows the feature of dentinal tubule in caries affected dentin. The white arrow illustrates the occluded dentinal tubule

ในการทำงานทางคลินิกนั้นหลายครั้งที่ทันตแพทย์ไม่สามารถจะกำจัดรอยผุออกได้ทั้งหมด ยังคงเหลือส่วนของเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อไว้ ในการทำสารยึดติดบนเนื้อฟันส่วนนี้ มีข้อที่ควรจะต้องคำนึงอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเนื้อฟันผุที่ไม่ติดเชื้อมีความแตกต่างจากโครงสร้างของเนื้อฟันปกติ เนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อเป็นส่วนของเนื้อฟันที่ถูกทำลายโดยสารพิษของเชื้อแบคทีเรียแล้วแต่ไม่ได้มีส่วนของเชื้ออยู่และสามารถเกิดการสะสมแร่ธาตุกลับได้⁽³⁰⁾ (รูปที่4) ทำให้หลายครั้งในทางคลินิกจะอาจพิจารณาการรักษาเนื้อฟันส่วนนี้ไว้ ไม่ได้ทำการกำจัดออก⁽³¹⁾ จากการศึกษาของ Wang และคณะพบว่าเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื่อนี้มีการสะสมแร่ธาตุชนิดฟอสเฟต (phosphate) และคาร์บอเนต (carbonate) ที่น้อยกว่าเนื้อฟันปกติ มีความหนาของชั้นโปร่งใส (transparent zone) มากกว่าเนื้อฟันปกติ และมีลักษณะที่นิ่มกว่า⁽³²⁾ ซึ่งลักษณะทางคลินิกของเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติด

เชื่อนั้นจะมีลักษณะแข็งสีน้ำตาลเข้ม มันวาว เนื่อง จากท่อเนื้อฟันนั้นจะถูกอุดตันด้วยก้อนผลึกแร่ธาตุ ร่วมกับมีการสูญเสียแร่ธาตุระหว่างท่อเนื้อฟัน ซึ่งส่งผลให้มีรูพรุนระหว่างท่อเนื้อฟันที่มากกว่าเนื้อฟันที่ปกติ⁽³³⁾ นอกจากนี้ ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น และ ค่าความแข็งระดับนาโน (nanohardness) ของเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อมีค่าต่ำกว่าเนื้อฟันปกติอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย⁽³⁴⁾ นอกจากนี้การศึกษาของ Wang⁽³²⁾ ยังพบว่า การยึดติดของเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื่อนั้นทำได้ยากเนื่องจากมีปัญหาในหลายๆ ส่วนประกอบกัน อย่างแรกคือการที่เนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื่อนั้นมีการสะสมแร่ธาตุอยู่น้อย ทำให้ตอบสนองต่อการกัดผิวด้วยกรดมากกว่าเนื้อฟันปกติ หากเราใช้สารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์ ที่จำเป็นต้องล้างกรดออก ในขั้นตอนนี้อาจมีน้ำส่วนเกินหลงเหลืออยู่เนื่องจากการกีดด้วยกรดในเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อทำให้เกิดร่องรูที่ลึกกว่าปกติ ซึ่งน้ำบริเวณนี้ยากต่อการกำจัดออก แม้ส่วนของไฮดรอกซีเอทิลเมตาครีเลต (HEMA) ซึ่งมีทั้งคุณสมบัติชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในตัวเองจะสามารถแทรกซึมลงไปได้ดีสุด แต่ตัวของ โมโนเมอร์เอง เช่น บิสจีเอ็มเอ (BisGMA) ซึ่งเป็นส่วนไม่ชอบน้ำ จะไม่สามารถแทรกซึมลงไปได้ส่งผลให้การยึดติดแยกลง และส่วนที่สองคือการที่มี เบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (β -TCP) อุดตันท่อเนื้อฟันอยู่ ซึ่งเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟตนี้มีคุณสมบัติต้านการกัดผิวด้วยกรดและการแทรกซึมของโมโนเมอร์ ดังนั้นในส่วนนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้กรดที่มีความรุนแรง หรือเพิ่มเวลาในการปรับสภาพผิวที่นานขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จากสองปัญหาข้างต้นทำให้การยึดติดกับเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อจึงต้องการความจำเพาะทั้งเทคนิคและชนิดของสารยึดติดเป็นอย่างมาก⁽³²⁾ Yoshiyama และคณะพบว่าค่าการยึดติดของเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อจะต่ำกว่า ค่าการยึดติดที่ได้จากเนื้อฟันปกติอย่างมีนัยสำคัญทั้งในระบบโทเทิลเอทซ์ และ เซลฟ์เอทซ์⁽³⁵⁾

แนวทางการแก้ไขปัญหาคือการยึดติดโดยสารยึดติดบนเนื้อฟันผุส่วนไม่ติดเชื้อ ได้แก่การเพิ่มระยะเวลาการใช้กรดกัดเนื้อฟันในสารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์ จากผลการทดลองพบว่าการใช้กรดกัดเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 30 วินาที สามารถทำให้ค่ากำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค

(microtensile bond strength) ของซิงเกิลบอนด์บนเนื้อฟันส่วนที่ไม่ติดเชื่อมกลับมาเท่ากับเนื้อฟันปกติ ในขณะที่สารยึดติดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ แม้ว่าจะใช้กรดฟอสฟอริก กัดผิวเนื้อฟัน 30 วินาที ยังไม่สามารถให้ค่าการยึดติดสูงเท่ากับเนื้อฟันปกติได้⁽³⁶⁾ ดังนั้นแนวทางในการปฏิบัติงานในคลินิกสำหรับฟันส่วนที่ไม่ติดเชื่อจึงน่าจะใช้สารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์ และเพิ่มเวลาในการใช้กรดกัดเนื้อฟันด้วย

การยึดติดบนเนื้อฟันน้ำนม

การศึกษาการยึดติดของสารยึดติดกับฟันน้ำนมยังมีไม่มากนักเมื่อเทียบกับการศึกษาในฟันแท้ และจากการศึกษาส่วนใหญ่ พบว่าค่ากำลังแรงยึด (bond strength) ระหว่างสารยึดติดกับเนื้อฟันน้ำนมน้อยกว่าเนื้อฟันแท้⁽³⁷⁻⁴⁰⁾ ปัจจัยที่น่าจะเป็นสาเหตุ ได้แก่ องค์ประกอบและโครงสร้างของเนื้อฟันในฟันน้ำนม ซึ่งมีความแตกต่างจากโครงสร้างของฟันแท้ โดยเนื้อฟันน้ำนมจะบางกว่าเนื้อฟันแท้ มีจำนวนท่อเนื้อฟัน และ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันที่น้อยกว่าฟันแท้ในบริเวณเดียวกัน⁽⁴¹⁾ จำนวนท่อเนื้อฟันและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันจะมากขึ้นเมื่อเข้าใกล้โพรงฟันมากขึ้น⁽⁴²⁾ นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟันน้ำนม จะมีความหนามากกว่าเนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟันแท้ 2-5 เท่า⁽⁴³⁾ นอกจากนี้โครงสร้างที่ต่างกันแล้ว ฟันน้ำนมยังมีปริมาณแร่ธาตุน้อยกว่าเนื้อฟันแท้ และความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสเฟตในเนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟัน และเนื้อฟันระหว่างท่อเนื้อฟัน ก็น้อยกว่าในฟันแท้⁽⁴⁴⁾ ทำให้เนื้อฟันน้ำนมมีความแข็งน้อยกว่าเนื้อฟันแท้ ซึ่งทำให้เนื้อฟันน้ำนมมีความไวต่อกรดมากกว่า ประกอบกับการที่เนื้อฟันน้ำนมมีรูปแบบการตอบสนองต่อกรดที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้คุณภาพการยึดติดในฟันน้ำนมให้ผลที่ไม่ดีเท่าในเนื้อฟันแท้⁽⁴⁵⁾ อย่างไรก็ตาม Burrow และคณะ ได้ศึกษาความแตกต่างของค่ากำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคของเนื้อฟันน้ำนมและเนื้อฟันแท้ และได้วิเคราะห์ว่าน่าจะมีสาเหตุจากเนื้อฟันน้ำนมมีปริมาณน้ำมากกว่าเนื้อฟันแท้ เนื่องจากอยู่ใกล้เนื้อเยื่อในฟันมากกว่า ทำให้ค่ากำลังแรงยึดของฟันน้ำนมต่ำกว่าฟันแท้⁽³⁷⁾

นอกจากนี้มีการศึกษาที่ศึกษาความหนา และคุณภาพของชั้นไฮบริด โดย Nör และคณะ⁽⁴⁶⁾ พบว่าความหนาของชั้นไฮบริดที่เกิดในฟันน้ำนมมากกว่าฟันแท้ประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 เมื่อใช้สารกัดผิวชนิดเดียวกันที่เวลาเท่ากัน และหากใช้เวลากัดผิวนานขึ้น ชั้นไฮบริดก็จะหนาขึ้น การที่ชั้นไฮบริดหนาขึ้นจะทำให้การแทรกซึมของเรซินไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้ลดเวลาการกัดผิวด้วยกรดลง เพื่อให้ได้ชั้นไฮบริดที่ตื้นขึ้นเพื่อให้การแทรกซึมของเรซินเกิดได้อย่างสมบูรณ์^(47,48) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Osorio และคณะ ที่ลดเวลาการใช้กรดฟอสฟอริกในการกัดผิวเนื้อฟันลงครึ่งหนึ่งจากที่ผู้ผลิตกำหนดจะให้ค่าการยึดติดที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ⁽⁴⁹⁾

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าค่าการยึดติดที่ได้จากการยึดกับเนื้อฟันน้ำนมจากสารยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์มีค่าสูงกว่า ค่าการยึดติดจากสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ชั้นตอนเดียวอย่างมีนัยสำคัญ^(38,50,51) สำหรับการยึดติดของระบบเซลฟ์เอทซ์ 2 ชั้นตอน ชนิดเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ ในเนื้อฟันน้ำนมมีประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกับระบบโทเทิลเอทซ์⁽⁴⁹⁾ ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการยึดติดทางเคมีระหว่างเทน-เมตาคริลอกรีเดอิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเคลียร์ฟิลเอสอีบอนด์ กับแคลเซียมในผลึกไฮดรอกซีอะพาไทท์ การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าการยึดติดในเนื้อฟันน้ำนมระหว่างสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์สองชั้นตอน และชั้นตอนเดียว ผลการศึกษาพบว่า ค่าแรงยึดติดในกลุ่มเซลฟ์เอทซ์สองชั้นตอนจะมีค่าใกล้เคียงกับระบบเซลฟ์เอทซ์ชั้นตอนเดียว^(38,39,51) แต่บางการศึกษาให้ผลตรงกันข้ามโดยพบว่าค่าแรงยึดติดในกลุ่มเซลฟ์เอทซ์สองชั้นตอนจะสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ⁽⁴⁹⁾ อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาที่พบความล้มเหลวในการยึดติด (adhesive failure) ในกลุ่มที่ใช้สารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ชั้นตอนเดียวมากกว่ากลุ่มเซลฟ์เอทซ์สองชั้นตอน^(49,51)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Mithiborwala และคณะรายงานการพบลักษณะเรซินแทรกที่ดีกว่าในการยึดติดฟันน้ำนมด้วยสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ โดยการทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบ ลักษณะของรอยต่อระหว่างเรซินและเนื้อฟันน้ำนม และเรซินแทรกระหว่างสารยึดติด

ชนิดโทเทิลเอทซ์ ไพรม์แอนด์บอนด์เอ็นที (Prime and Bond NT) และ สารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ ซีโนทีรี (Xeno III) ซึ่งเป็นสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ระบบชั้นตอนเดียว พบว่าลักษณะเรซินแทรกที่ได้จาก กลุ่มที่ยึดด้วยซีโนทีรีมีทั้งปริมาณ และคุณภาพ กว่ากลุ่มที่ยึดด้วยไพรม์แอนด์บอนด์เอ็นที ซึ่งผู้วิจัยให้เหตุผลว่าน่าจะเกิดจากการที่ระบบเซลฟ์เอทซ์มีความเป็นกรดอ่อน ทำให้เนื้อฟันไม่ถูกกรัดกันมากเกินไปจนความจำเป็น และทำให้เรซินแทรกซึมได้สมบูรณ์กว่า⁽⁴⁸⁾ จะเห็นได้ว่าการพิจารณาเลือกใช้สารยึดติดระบบใดเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ต้องทราบองค์ประกอบของสารยึดติดแต่ละชนิดด้วย

จากการที่เนื้อฟันน้ำนมมีการยึดติดที่ต่ำกว่าเนื้อฟันแท้ จึงมีความพยายามที่จะช่วยเพิ่มค่ากำลังยึดติดในเนื้อฟันน้ำนม โดยการป้องกันการเสื่อมสลายบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันน้ำนมและสารยึดติดด้วยการใช้คลอเฮกซิดีน (chlorhexidine) ผลการศึกษาพบว่า การใช้คลอเฮกซิดีน ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ 0.2 ภายหลังการกัดผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก สามารถทำให้ค่ากำลังแรงยึดติด (tensile bond strength) คงที่ ในระยะเวลา 12 เดือน ในขณะที่กลุ่มควบคุมซึ่งใช้น้ำแทนคลอเฮกซิดีน จะมีค่ากำลังแรงยึดติดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ 52 นอกจากนี้ได้มีการวิจัยพบว่า การเพิ่มจำนวนชั้นของการทาสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทซ์ระบบชั้นตอนเดียวในฟันน้ำนม โดยการทาสารยึดติดสามชั้นก่อนการฉายแสง สามารถเพิ่มค่าการยึดติดได้อย่างมีนัยสำคัญ^(53,54) เป็นที่น่าสนใจว่าหากทันตแพทย์สามารถลดขั้นตอนการใช้สารยึดติดและเพียงแต่เพิ่มจำนวนชั้นที่ทาลงบนเนื้อฟัน อาจช่วยให้การทำงานในผู้ป่วยเด็กมีความสะดวกคล่องตัว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทสรุป

โครงสร้างเนื้อฟันประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ท่อเนื้อฟัน เนื้อฟันส่วนรอบท่อเนื้อฟัน เนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟัน และ ของเหลวในเนื้อฟัน องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนินทรีย์สาร และส่วนประกอบรองคืออินทรีย์สาร โดยมีเส้นใยคอลลาเจน ชนิดที่ I เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีบทบาทอย่างมากต่อการยึดติดระหว่างเนื้อฟันและสารยึดติดทั้งในระบบโทเทิลเอทซ์ และระบบ

เซลฟ์เอทซ์ กลไกหลักในการยึดติดของสารยึดติดปัจจุบันให้ความสำคัญกับการเกิดขึ้นไฮบริดที่สมบูรณ์ โดยหากสามารถทำให้เรซินแทรกแทรกซึมลงไปได้ดีที่สุดถึงตำแหน่งที่เนื้อฟันถูกกรัดกัด ก็จะทำให้ค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้นไป ในกรณีเนื้อฟันที่จะบูรณะเป็นเนื้อฟันที่แท้ ปริมาณน้ำจะน้อยและคอลลาเจนจะพับตัวและอัดแน่น ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการยึดติดระบบโทเทิลเอทซ์อย่างมาก ดังนั้นจึงแนะนำให้เป่าลมเพียงเบาๆ หลังใช้กรัดกัด เพื่อให้เนื้อฟันยังคงชุ่มชื้นอยู่ ในทางตรงข้ามสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ ควรจะทาลงบนพื้นผิวที่แห้ง เพราะเรซินในระบบเซลฟ์เอทซ์จะอ่อนตัวลงจากการดูดซึมน้ำได้ ส่วนในกรณีที่ต้องใช้สารยึดติดกับเนื้อฟันที่ไม่ติดเชื้อ ซึ่งเนื้อฟันชนิดนี้จะปริมาณแร่ธาตุที่น้อยกว่าเนื้อฟันปกติ ทำให้การตอบสนองต่อกรดสูงกว่าปกติ ส่งผลให้การยึดติดแยกลง การศึกษาพบว่าค่าการยึดติดของเนื้อฟันผุส่วนที่ไม่ติดเชื้อจะต่ำกว่าค่าการยึดติดที่ได้จากเนื้อฟันปกติอย่างมีนัยสำคัญทั้งในระบบโทเทิลเอทซ์และเซลฟ์เอทซ์ ซึ่งแนวทางการแก้ไขได้แก่การเพิ่มเวลาในการใช้กรัดกัดเนื้อฟันซึ่งได้ผลดีในระบบโทเทิลเอทซ์เท่านั้น สำหรับการยึดติดในเนื้อฟันน้ำนมซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างจากในฟันแท้ทั้งโครงสร้างและองค์ประกอบ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าค่ากำลังการยึดติดของทั้งระบบโทเทิลเอทซ์ และ เซลฟ์เอทซ์ในเนื้อฟันน้ำนมน้อยกว่าเนื้อฟันแท้ และเนื่องจากการที่เนื้อฟันน้ำนมมีการตอบสนองต่อกรดที่มากกว่า การศึกษาส่วนใหญ่จึงแนะนำให้ลดระยะเวลาการกัดผิวฟันด้วยกรดลงเพื่อให้เกิดชั้นไฮบริดที่ตื้นลง และจะทำให้การแทรกซึมของเรซินสมบูรณ์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของสารยึดติดทั้งสองระบบในเนื้อฟันน้ำนมยังมีไม่มากนัก และส่วนใหญ่เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงควรมีการศึกษาผลในทางคลินิกเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่แน่นอนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Tesch W, Eidelman N, Roschger P, Goldenberg F, Klaushofer K, Fratzl P. Graded microstructure and mechanical properties of human crown dentin. *Calcif Tissue Int* 2001; 69(3): 147-57.

2. Zavgorodniy AV, Rohanizadeh R, Swain MV. Ultrastructure of dentine carious lesions. *Arch Oral Biol* 2008; 53(2): 124-132.
3. Marshall GW, Jr., Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 1997; 25 (6): 441-458.
4. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955; 34(6): 849-853.
5. Eriksen HM. Protection against harmful effects of a restorative procedure using an acidic cavity cleanser. *J Dent Res* 1976; 55(2): 281-284.
6. Gwinnett AJ. The morphologic relationship between dental resins and etched dentin. *J Dent Res* 1977; 56(10): 1155-1160.
7. Pashley DH, Michelich V, Kehl T. Dentin permeability: effects of smear layer removal. *J Prosthet Dent* 1981; 46(5): 531-537.
8. Asmussen E, Bowen RL. Effect of acidic pretreatment on adhesion to dentin mediated by Gluma. *J Dent Res* 1987; 66(8): 1386-1388.
9. Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M. Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. *J Dent Res* 1979; 58(4): 1364-1370.
10. Inokoshi S, Iwaku M, Fusayama T. Pulpal response to a new adhesive restorative resin. *J Dent Res* 1982; 61(8): 1014-1019.
11. Kurosaki N, Kubota M, Yamamoto Y, Fusayama T. The effect of etching on the dentin of the clinical cavity floor. *Quintessence Int* 1990; 21(2): 87-92.
12. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials* 2007; 28(26): 3757-3785.
13. Nakabayashi N. Adhesive bonding with 4-META. *Oper Dent* 1992; Suppl 5: 125-130.
14. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res* 1982; 16(3): 265-273.
15. Gwinnett AJ, Kanca JA, 3rd. Micro-morphology of the bonded dentin interface and its relationship to bond strength. *Am J Dent* 1992; 5(2): 73-77.
16. Reis A, Loguercio AD, Carvalho RM, Grande RH. Durability of resin dentin interfaces: effects of surface moisture and adhesive solvent component. *Dent Mater* 2004; 20 (7): 669-676.
17. Koshiro K, Inoue S, Tanaka T, Koase K, Fujita M, Hashimoto M, et al. In vivo degradation of resin-dentin bonds produced by a self-etch vs. a total-etch adhesive system. *Eur J Oral Sci* 2004; 112(4): 368-75.
18. De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Suzuki K, et al. Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2003; 82(2): 136-140.
19. Watanabe I, Nakabayashi N. Bonding durability of photocured phenyl-P in TEGDMA to smear layer-retained bovine dentin. *Quintessence Int* 1993; 24(5): 335-342.
20. Kenshima S, Francci C, Reis A, Loguercio AD, Filho LE. Conditioning effect on dentin, resin tags and hybrid layer of different acidity self-etch adhesives applied to thick and thin smear layer. *J Dent* 2006; 34(10): 775-83.
21. Uno S, Finger WJ. Effects of acidic conditioners on dentine demineralization and

- dimension of hybrid layers. *J Dent* 1996; 24(3): 211-216.
22. Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, De Munck J, Nagakane K, Suzuki K, et al. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2005; 84(12): 1160-1164.
 23. Chiaraputt S, Roongrujimek P, Sattabanasuk V, Panich N, Harnirattisai C, Senawongse P. Biodegradation of all-in-one self-etch adhesive systems at the resin-dentin interface. *Dent Mater J* 2011; 30(6): 814-826.
 24. Chiaraputt S, Mai S, Huffman BP, Kapur R, Agee KA, Yiu CK, et al. Changes in resin-infiltrated dentin stiffness after water storage. *J Dent Res* 2008; 87(7): 655-660.
 25. Hosaka K, Nakajima M, Takahashi M, Itoh S, Ikeda M, Tagami J, et al. Relationship between mechanical properties of one-step self-etch adhesives and water sorption. *Dent Mater* 2010; 26(4): 360-367.
 26. Perdigão J, Van Meerbeek B, Lopes MM, Ambrose WW. The effect of a re-wetting agent on dentin bonding. *Dent Mater* 1999; 15(4): 282-295.
 27. Manso AP, Marquezini L, Jr., Silva SM, Pashley DH, Tay FR, Carvalho RM. Stability of wet versus dry bonding with different solvent-based adhesives. *Dent Mater* 2008; 24(4): 476-482.
 28. Kanca J, 3rd. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc* 1992; 123(9): 35-43.
 29. Chiba Y, Rikuta A, Yasuda G, Yamamoto A, Takamizawa T, Kurokawa H, et al. Influence of moisture conditions on dentin bond strength of single-step self-etch adhesive systems. *J Oral Sci* 2006; 48(3): 131-137.
 30. Fusayama T. Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. *Oper Dent* 1979; 4(2): 63-70.
 31. Taniguchi G, Nakajima M, Hosaka K, Iwamoto N, Ikeda M, Foxton RM, et al. Improving the effect of NaOCl pretreatment on bonding to caries-affected dentin using self-etch adhesives. *J Dent* 2009; 37(10): 769-775.
 32. Wang Y, Spencer P, Walker MP. Chemical profile of adhesive/caries-affected dentin interfaces using Raman microspectroscopy. *J Biomed Mater Res A* 2007; 81(2): 279-286.
 33. Marshall GW, Jr., Chang YJ, Gansky SA, Marshall SJ. Demineralization of caries-affected transparent dentin by citric acid: an atomic force microscopy study. *Dent Mater* 2001; 17(1): 45-52.
 34. Perdigão J. Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 2010; 26(2): e24-37.
 35. Yoshiyama M, Tay FR, Doi J, Nishitani Y, Yamada T, Ito K, et al. Bonding of self-etch and total-etch adhesives to carious dentin. *J Dent Res* 2002; 81(8): 556-560.
 36. Zanchia CH, D'Avila OP, Rodrigues-Junior SA, Burnett LH, Jr., Demarco FF, Pinto MB. Effect of additional acid etching on bond strength and structural reliability of adhesive systems applied to caries-affected dentin. *J Adhes Dent* 2010; 12(2): 109-115.
 37. Burrow MF, Nopnakeepong U, Phrukkanon S. A comparison of microtensile bond strengths of several dentin bonding systems to primary and permanent dentin. *Dent Mater* 2002; 18(3): 239-45.
 38. Courson F, Bouter D, Ruse ND, Degrange M. Bond strengths of nine current dentine adhesive systems to primary and permanent

- teeth. *J Oral Rehabil* 2005; 32(4): 296-303.
39. Yaseen SM, Subba Reddy VV. Comparative evaluation of shear bond strength of two self-etching adhesives (sixth and seventh generation) on dentin of primary and permanent teeth: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2009; 27(1): 33-38.
 40. Jumlongras D, White GE. Bond strengths of composite resin and compomers in primary and permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent* 1997; 21(3): 223-229.
 41. Koutsi V, Noonan RG, Horner JA, Simpson MD, Matthews WG, Pashley DH. The effect of dentin depth on the permeability and ultrastructure of primary molars. *Pediatr Dent* 1994; 16(1): 29-35.
 42. Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ. Microstructure of primary tooth dentin. *Pediatr Dent* 1999; 21(7): 439-444.
 43. Hirayama A, Yamada M, Miake K. [An electron microscopy study on dentinal tubules of human deciduous teeth]. *Shikwa Gakuho* 1986; 86(6): 1021-1031.
 44. Hirayama A. [Experimental analytical electron microscopic studies on the quantitative analysis of elemental concentrations in biological thin specimens and its application to dental science]. *Shikwa Gakuho* 1990; 90(8): 1019-1036.
 45. Johnsen D. Comparison of primary and permanent teeth. In: JA A, editor. *Oral development and histology*. Third ed. New York: Thieme Medical Publisher; 2002. p. 213-224.
 46. Nör JE, Feigal RJ, Dennison JB, Edwards CA. Dentin bonding: SEM comparison of the resin-dentin interface in primary and permanent teeth. *J Dent Res* 1996; 75(6): 1396-1403.
 47. de Araujo FB, Garcia-Godoy F, Issao M. A comparison of three resin bonding agents to primary tooth dentin. *Pediatr Dent* 1997; 19(4): 253-257.
 48. Mithiborwala S, Chaugule V, Munshi AK, Patil V. A comparison of the resin tag penetration of the total-etch and the self-etch dentin bonding systems in the primary teeth: An in vitro study. *Contemp Clin Dent* 2012; 3(2): 158-163.
 49. Osorio R, Aguilera FS, Otero PR, Romero M, Osorio E, Garcia-Godoy F, et al. Primary dentin etching time, bond strength and ultrastructure characterization of dentin surfaces. *J Dent* 2010; 38(3): 222-231.
 50. Torres CP, Corona SA, Ramos RP, Palma-Dibb RG, Borsatto MC. Bond strength of self-etching primer and total-etch adhesive systems to primary dentin. *J Dent Child (Chic)* 2004; 71(2): 131-134.
 51. Agostini FG, Kaaden C, Powers JM. Bond strength of self-etching primers to enamel and dentin of primary teeth. *Pediatr Dent* 2001; 23(6): 481-486.
 52. Manfro AR, Reis A, Loguercio AD, Imparato JC, Raggio DP. Effect of different concentrations of chlorhexidine on bond strength of primary dentin. *Pediatr Dent* 2012; 34(2): 11-15.
 53. Ma L, Zhou JF, Tan JG, Jing Q, Zhao JZ, Wan K. Effect of multiple coatings of one-step self-etching adhesive on microtensile bond strength to primary dentin. *Chin Med Sci J* 2011; 26(3): 146-151.
 54. Ma L, Zhou JF, Jing Q, Zhao JZ, Wan K. Multiple coatings can improve the bond durability of one-step self-etching adhesive to primary dentin. *Chin Med Sci J* 2012; 27(2):106-111.