

การเตรียมพื้นผิวสำหรับการยึดติดแบร็กเกตจัดฟัน

Surface Preparation for Bonding Orthodontic Brackets

สุภัทสรดา ศิริบรรจงกราน
ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Supassara Sirabanchongkran
Department of Orthodontis and Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai University

ชม.ทันตสาร 2556; 34(1) : 35-50
CM Dent J 2013; 34(1) : 35-50

บทคัดย่อ

การเตรียมพื้นผิวเพื่อยึดติดแบร็กเกตเป็นขั้นตอนสำคัญในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน การเตรียมการที่ดีจะช่วยให้แบร็กเกตติดอยู่ในช่องปากตลอดระยะเวลาการรักษา พื้นผิวหลักที่ใช้ยึดแบร็กเกตคือเคลือบฟันรวมถึงพื้นผิววัสดุบูรณะอื่นๆ ได้แก่ ผิวอะมัลกัม ผิวครอบฟันโลหะ ผิวพอร์ซเลน ผิวเรซินคอมโพสิต รวมถึงผิวฟันปลอมเรซินอะคริลิก ทันตแพทย์ต้องเตรียมสภาพพื้นผิวเหล่านี้ให้เหมาะสมก่อนการติดแบร็กเกต บทความนี้กล่าวถึง 1) ความแตกต่างของเคลือบฟันในภาวะต่างๆ 2) วิธีการต่างๆ ในการเตรียมเคลือบฟันก่อนการยึดแบร็กเกต และ 3) วิธีการเตรียมพื้นผิวอื่นๆ ที่ไม่ใช่เคลือบฟันที่ได้มีการนำเสนอไว้ เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุและวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมพื้นผิวเพื่อยึดติดแบร็กเกตจัดฟันต่อไป

คำสำคัญ: การยึดติดแบร็กเกตทางทันตกรรมจัดฟัน
การเตรียมพื้นผิว

Abstract

Surface preparation for bonding orthodontic brackets is an important step in orthodontic treatment. Proper surface preparation is needed in order to maintain orthodontic brackets for the whole treatment period. The main surface for orthodontic bonding is the enamel surface. Moreover, many more dental restorative surfaces that need to be bonded with the brackets are amalgam surfaces, casting alloy surfaces, porcelain surfaces, that resin composite surfaces and acrylic resin surfaces. This review is about 1) the characteristics of enamel surfaces, 2) preparations of the enamel surface for bonding orthodontic brackets and 3) preparations of other restorative surfaces for bonding orthodontic brackets. The review should be beneficial in the proper selection of materials and methods during the step of surface preparation for bonding orthodontic brackets.

Keywords: Orthodontic bonding, Surface preparation

Corresponding Author:

สุภัทสรดา ศิริบรรจงกราน
อาจารย์ ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันและทันตกรรมสำหรับเด็ก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Supassara Sirabanchongkran
Instructor, Department of Orthodontis and Pediatric
Dentistry, Faculty of Dentistry, Chiang Mai 50200, Thailand.
Tel. 66-5394-4465 E-mail: supassara.siraban@cmu.ac.th

บทนำ

การรักษาทางทันตกรรมจัดฟันให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญคือการยึดติดเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันโดยเฉพาะแบร็กเกต เพื่อให้สามารถให้แรงเคลื่อนฟันไปในทิศทางที่ต้องการได้ตลอดช่วงระยะเวลาการรักษา ในบางครั้งอาจต้องยึดแบร็กเกตกับฟันอื่นที่ไม่ใช่เคลือบฟัน การเตรียมพื้นผิวที่เหมาะสมเพื่อให้แบร็กเกตติดอยู่ตลอดช่วงเวลาจนถึงสิ้นสุดการรักษาเป็นขั้นตอนสำคัญ บทความนี้นำเสนอถึงส่วนเคลือบฟัน การเตรียมพื้นผิวเคลือบฟัน และการเตรียมพื้นผิววัสดุบูรณะประเภทต่างๆ ให้มีความเหมาะสมก่อนการยึดติดแบร็กเกตจัดฟัน รวมถึงข้อดีหรือข้อด้อยของวิธีเหล่านั้น

1. เคลือบฟัน (enamel)

เคลือบฟันเป็นเนื้อเยื่อที่แข็งที่สุดในร่างกายมนุษย์ มีผิวเรียบเมื่อมองด้วยตาเปล่า เมื่อใช้กล้องกำลังขยายสูงส่องดูพบลักษณะเหมือนรูกุญแจจำนวนมากเรียงตัวกัน (keyhole pattern) เคลือบฟันประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ (inorganic phase) และส่วนประกอบอินทรีย์ (organic phase) ซึ่งร้อยละ 95-96 โดยน้ำหนักเป็นส่วนของแร่ธาตุได้แก่เกลือแคลเซียมฟอสเฟตในรูปผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite crystal) มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และส่วนของสารอินทรีย์อีกประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก⁽¹⁾ ลักษณะของแท่งเคลือบฟัน (prism) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-6 ไมครอนเรียงเป็นแนวขนานกันเริ่มจากส่วนต่อระหว่างเนื้อฟันกับเคลือบฟัน (dentoenamel junction) ออกไปเป็นแนวรัศมี แต่ละแท่งเคลือบฟันแยกกันด้วยแผ่นบาง (organic prism sheath) และสารระหว่างแท่งเคลือบฟัน (inter-prismatic enamel)

เคลือบฟันในภาวะต่างกันจะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน ได้แก่ ฟันน้ำนมกับฟันแท้ ฟันตกกระ (fluorosis) และการฟอกสีฟันเป็นต้น เคลือบฟันน้ำนมมีโครงสร้างต่างจากเคลือบฟันแท้ โดยเคลือบฟันน้ำนมจะพบลักษณะแท่งเคลือบฟันที่ผิวด้านนอกน้อยกว่าฟันแท้⁽²⁾ โดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางฟันซึ่งแตกต่างจากเคลือบฟันแท้ที่มักพบบริเวณคอฟัน⁽³⁾ และเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเคลือบฟันของฟันน้ำนมมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าของฟันแท้⁽⁴⁾

ฟันตกกระ เป็นภาวะผิดปกติในขบวนการสร้างฟัน จากการบริโภคฟลูออไรด์เกินขนาด มีปริมาณ ฟลูออไรด์และปริมาณโปรตีนในเคลือบฟันสูงกว่าเคลือบ ฟันปกติ⁽⁵⁾ ชั้นนอกสุดของเคลือบฟันพบการสะสมแร่ธาตุมากกว่าปกติ (hypermineralization) ซึ่งต้านทานต่อการกัดด้วยกรด แต่ชั้นเคลือบฟันที่สึกลงไปเป็นลักษณะที่มีความพรุน (porous) มากขึ้นและมีแร่ธาตุสะสมน้อยกว่าปกติ (hypomineralization) พบได้หลายรูปแบบตั้งแต่เป็นแนวเส้นหรือจุดสีขาวในเคลือบฟันจนเป็นลักษณะขุ่นหรือรุนแรงจนเคลือบฟันเป็นหลุมร่องและสีเปลี่ยนไปมากและอาจสึกลงไปจนถึงชั้นเนื้อฟัน (dentin) ระบบจำแนกระดับความรุนแรงของฟันตกกระที่นิยมใช้คือดัชนีทีเอฟ (TF index)⁽⁶⁾ ซึ่งแบ่งเป็น 10 ระดับจาก 0 ถึง 9 ค่าตัวเลขที่สูงขึ้นพบความเสียหายของผิวฟันมากขึ้น

เคลือบฟันของฟันที่เคยถูกฟอกสีฟัน (bleaching) จะมีปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตลดลงโดยเฉพาะหลังจากการฟอกสีฟันไปไม่นาน⁽⁷⁾ จากผลของการใช้สารฟอกสีฟันได้แก่ คาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์ (carbamide peroxide) หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) มีการตกค้างของออกซิเจนจากสารฟอกสีฟันบริเวณแท่งเคลือบฟัน^(8,9)

ปัจจัยที่ทำให้ฟันแท้เหมือนกันมีคุณสมบัติของเคลือบฟันต่างกัน ได้แก่ ตำแหน่งของฟัน อายุของฟันแท้และตำแหน่งของเคลือบฟัน จากการส่องด้วยกล้องอเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่าในภาวะปกติผิวฟันด้านแก้ม (buccal surface) มีความขรุขระ (roughness) มากกว่าผิวฟันด้านลิ้น (lingual surface)⁽¹⁰⁾ และพบลักษณะร่องคล้ายคลื่นในแนวขวาง (transverse-wavy like grooves) และแนวเพอริโคมาตา (perikymata) ตลอดผิวฟันด้านแก้มนี้ ระยะเวลาที่ฟันแท้ขึ้นมาในช่องปากมีผลต่อลักษณะของผิวเคลือบฟัน ฟันแท้ที่เพิ่งขึ้นมีปริมาณแท่งเคลือบฟันน้อยกว่าฟันแท้ที่ขึ้นมานาน⁽¹¹⁾ และมีผิวฟันคลุมด้วยแนวเพอริโคมาตาที่เด่นชัด เคลือบฟันที่อายุมากจะมีความแข็งแรงมากขึ้นมีความต้านทานต่อการผุมากขึ้นสารละลายซึมผ่านได้น้อยลง จากการสะสมของแร่ธาตุมากขึ้นในสภาพแวดล้อมช่องปาก และเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ของเคลือบฟันบริเวณใกล้ผิวฟัน^(11,12) ลักษณะเคลือบฟันของฟันหน้า ฟันกราม

น้อยและฟันกรามมีความแตกต่างกัน เมื่อส่องดูด้วยกล้องอิลেকตรอนชนิดส่องกราดพบว่าฟันที่อยู่ด้านหลัง (posterior teeth) มีแท่งเคลือบฟันน้อยกว่าฟันที่อยู่ด้านหน้า (anterior teeth)⁽¹³⁾

2. การเตรียมผิวเคลือบฟันสำหรับติดแบร็กเกตจัดฟัน

การเตรียมผิวเคลือบฟันก่อนการติดแบร็กเกตขั้นตอนแรกคือการทำทำความสะอาดผิวเคลือบฟันโดยขัดด้วยผงฟิมิซผสมน้ำหรือฟลูออไรด์แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาดและเป่าแห้ง⁽¹⁴⁻¹⁶⁾

การเตรียมผิวเคลือบฟันสำหรับการยึดติดแบร็กเกตจัดฟันทำได้ 2 วิธีคือการเตรียมผิวเคลือบฟันโดยใช้สารเคมี (chemical preparation) และการเตรียมผิวเคลือบฟันโดยใช้วิธีทางเชิงกล (mechanical preparation)

2.1 การเตรียมผิวเคลือบฟันโดยใช้สารเคมี

สารเคมีที่นำมาใช้คือกรด (etchant) ชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) กรดมาลลิก (maleic acid) กรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid) รวมถึงเซลฟ์เอทช์ไพรเมอร์ (self-etch primer) กรดทำหน้าที่ละลายส่วนแร่ธาตุของเคลือบฟันบางส่วนทำให้ผิวเคลือบฟันมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนเล็กๆ เมื่อมองด้วยตาเปล่าเหมือนผิวกระจกที่ถูกกรัดหรือผิวขาวขุ่น (etched or frosty glass) กรดฟอสฟอริกถูกนำมาใช้เพื่อการเตรียมผิวเคลือบฟันมากที่สุด การศึกษาถึงรูปแบบของการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกบนผิวเคลือบฟันแบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่^(17,18)

- แบบที่ 1 (Type I) พบการละลายเฉพาะส่วนของแกน (cores) ของแท่งเคลือบฟัน ส่วนที่อยู่รอบแกนของแท่งเคลือบฟัน (prism peripheries) ยังมีสภาพปกติ หากขยายด้วยกล้องอิลেকตรอนชนิดส่องกราดจะพบลักษณะเหมือนรังผึ้ง (honey comb appearance) พบในกรณีที่ใช้เวลาที่เหมาะสมในการกัดด้วยกรด ส่วนของท่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นบริเวณที่สารยึดติดแทรกเข้ามาทำให้เกิดการยึดอยู่กับผิวฟันได้ดี

- แบบที่ 2 (Type II) มีลักษณะตรงกันข้ามกับแบบที่ 1 คือพบการละลายเฉพาะส่วนที่อยู่รอบแกนของแท่งเคลือบฟัน ส่วนของแกนปกติ เมื่อขยายด้วยกล้องอิล

ตรอนชนิดส่องกราดจะพบลักษณะเหมือนหินกรวด (cobble stone pattern) พบในกรณีที่ใช้เวลาน้อยในการกัดด้วยกรด

- แบบที่ 3 (Type III) พบลักษณะร่วมกันของแบบที่ 1 และ 2 รวมกัน ไม่เด่นชัด

กรดสามารถกำจัดส่วนผิวเคลือบฟันได้ถึง 10-20 ไมครอน และสร้างชั้นผิวที่ขรุขระได้ระหว่าง 5-50 ไมครอน⁽¹⁷⁾ แต่การใช้กรดกัดจะทำให้ผิวเคลือบฟันมีความเสียหาย⁽¹⁹⁾ และอาจกลับคืนสู่ภาวะปกติและมีการสะสมแร่ธาตุใหม่ได้⁽²⁰⁾ ผลของกระบวนการกัดด้วยกรดจะทำให้เกิดแคลเซียมโมโนฟอสเฟต (calcium monophosphate) และแคลเซียมซัลเฟต (calcium sulphate) เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (by-products) ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงต่อการยึดติด จึงต้องล้างออกให้หมดด้วยน้ำปริมาณมากในขั้นตอนการเตรียมผิวฟัน⁽²¹⁾

หลังจากล้างกรดออกและเป่าให้แห้งแล้ว ทาไพรเมอร์ (adhesive primer) ที่เป็นของเหลว ไพรเมอร์จะซึมเข้าไปบริเวณผิวเคลือบฟันและเพิ่มความเปียก (wettability) ที่ผิวเคลือบฟัน แบร็กเกตที่มีสารยึดติด (adhesive resin) จะถูกนำมาวางยึดกับผิวเคลือบฟันบริเวณนี้และแทรกเข้าไปตามผิวเคลือบฟันที่เตรียมไว้ เมื่อสารยึดติดแข็งตัวจะเกิดการยึดติด (bonding) แท่งสารยึดติดที่แทรกเข้าไปในท่อนเคลือบฟันที่ถูกกัดด้วยกรดเรียกว่าเรซินแท็ก (resin tag) เกิดการยึดติดแบบเชิงกล (micro-mechanical bond) ระหว่างสารยึดติดกับเคลือบฟัน⁽²¹⁾ และทำให้แบร็กเกตติดอยู่กับผิวฟันได้

ในฟันแต่ละแบบพบว่ามีความแตกต่างกันของรูปแบบของการถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 30 วินาทีโดยเมื่อดูด้วยกล้องอิลেকตรอนชนิดส่องกราด^(13,22) โดยพบลักษณะรูปแบบของการกัดด้วยกรดที่ชัดเจนแบบที่ 1 ในบริเวณฟันหน้าและฟันบนมากกว่า ส่วนฟันกรامل่างแท่งที่หนึ่งจะพบรูปแบบของการกัดด้วยกรดที่ชัดเจนน้อยที่สุด

2.1.1 การใช้กรดฟอสฟอริกและกรดมาลลิก

การใช้กรดฟอสฟอริกทาผิวเคลือบฟันเพื่อยึดแบร็กเกตทางทันตกรรมจัดฟันเป็นวิธีที่นิยมกันมานานและแพร่หลายที่สุด ปัจจัยที่อาจมีผลต่อการติดแบร็กเกตได้แก่ ชนิดของกรด ความเข้มข้นของกรด ระยะเวลาที่ใช้

และผลเสียที่เกิดจากการใช้กรดเหล่านี้ ตำแหน่งของฟันหรือชนิดของฟันมีผลต่อค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับเคลือบฟัน^(23,24) การติดเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันไม่ต้องการการยึดติดแบบถาวร แต่ต้องการความแข็งแรงของการยึดติดที่มากพอในช่วงเวลาที่จัดฟันและควรไม่สูงมากในขณะที่ถอดเครื่องมือเพื่อให้สามารถทำความสะอาดผิวฟันได้ง่ายและไม่เกิดความเสียหาย การใช้กรดฟอสฟอริกโดยทั่วไปจะเกิดลักษณะของแท่งผิวเคลือบฟันแบบรังผึ้งมากที่สุดและลึกได้ถึง 50 ไมครอน มีเฉพาะส่วนของแกนแท่งผิวเคลือบฟันที่ถูกละลาย ภาพขยายพบลักษณะรอยขีดข่วนหรือถลอกเล็กน้อยบนผิวเคลือบฟันปกติ⁽²⁵⁾

กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 10 หรือร้อยละ 37 ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันสูงกว่ากรดมาลิก (maleic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการไม่ใช้กรดใดๆ ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ต่ำมาก⁽²⁶⁻²⁸⁾ และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกร้อยละ 5 กับร้อยละ 37⁽²⁸⁾ การศึกษาในห้องทดลองถึงผลของระดับความเข้มข้นของกรดที่ต่างกันบนผิวเคลือบฟันพบว่าเกิดลักษณะคล้ายรังผึ้งเหมือนกัน แต่ต่างกันในส่วนของความยาวของเรซินแทรก และไม่พบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของการยึดติดของเคลือบฟันกับเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความยาวของเรซินแทรกที่ต่างกันนั้น⁽²⁹⁾ แต่พบลักษณะของรูพรุน (small voids) มากขึ้นถ้าใช้กรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นลดลง และแนะนำว่าควรใช้กรดที่มีความเข้มข้นต่ำหากใช้ร่วมกับโมโนเมอร์ที่มีความสามารถในการแทรกซึมสูงเพื่อลดการทำลายผิวเคลือบฟัน

ผลของระยะเวลาที่ใช้กรดในการกัดผิวเคลือบฟันพบผลการศึกษามีความแตกต่างกันไป^(11,30-34) การใช้ระยะเวลาที่สั้นกว่าย่อมทำความเสียหายต่อผิวเคลือบฟันน้อยกว่า การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 เปรียบเทียบระหว่างเวลา 15 กับ 30 วินาทีให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้กรดกัดด้วยเวลาไม่เกิน 5 วินาทีให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ต่ำ รูปแบบของการกัดด้วย

กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ที่ดีและเหมาะสมแบบที่ 1 เกิดจากการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเป็นเวลา 30 วินาทีมากกว่า 15 วินาที แม้ว่าเมื่อแนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35-40 เป็นเวลา 15-60 วินาทีในการเตรียมผิวเคลือบฟัน⁽²⁶⁾ แต่ในทางทันตกรรมจัดฟันมักใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 15 วินาทีบนผิวเคลือบฟันปกติ เนื่องจากการพัฒนาคุณสมบัติของสารยึดติดที่ดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้นทำให้สามารถลดเวลาในการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันลงเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดกับเคลือบฟัน

การใช้กรดกับผิวเคลือบฟันอาจทำให้เกิดผลเสียคือ

- 1) การแตกหรือร้าวของผิวเคลือบฟันขณะถอดแบร็กเกต
- 2) ความขรุขระของผิวเคลือบฟันซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดสีที่ผิวเคลือบฟัน
- 3) การสูญเสียผิวเคลือบฟันจากการกัดด้วยกรดอย่างถาวรและมีผิวเคลือบฟันที่ขรุขระหากใช้ระยะเวลากัดด้วยกรดนานเกินไป และ
- 4) การคงอยู่ของเรซินแทรกหลักถอดแบร็กเกตแล้วทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนสีฟัน

ความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันตกกระท่ำกว่าของฟันปกติ^(7,8,35-39) มีคำแนะนำให้เพิ่มเวลาการกัดด้วยกรดบนผิวเคลือบฟัน^(40,41) การศึกษาพบว่าความลึกของผิวเคลือบฟันที่ละลายเมื่อถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 30 วินาทีที่ไม่แตกต่างกันระหว่างผิวฟันปกติกับผิวฟันตกกระท่ำที่มีดัชนีที่เอฟเท่ากับ 4⁽⁴²⁾

การฟอกสีฟันเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดกับแบร็กเกต ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตมีค่าลดลงในพื้นที่ฟอกสีฟัน จากการลดลงของปริมาณแคลเซียมและฟอสเฟตบนผิวเคลือบฟัน^(7,44) และการตกค้างของออกซิเจนจากสารฟอกสีฟันบริเวณแท่งเคลือบฟันทำให้ปฏิกิริยาการก่อตัวของสารยึดติดลดลง^(8,9) ไม่พบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพื้นที่ผ่านการฟอกสีฟันไป 24 ชั่วโมงกับ 14 วัน⁽⁴³⁾ McGuckin และคณะ⁽⁹⁾ และ Miles และคณะ⁽⁴⁵⁾ พบว่าควรหยุดการฟอกสีฟันอย่างน้อย 1-2 สัปดาห์ก่อนติดเครื่องมือจัดฟันเพื่อให้น้ำลายช่วยปรับสภาพผิวฟันและลดส่วนของออกซิเจนที่ตกค้าง การศึกษาของ Bulut

และคณะ⁽⁴⁴⁾ และ Lai และคณะ⁽⁴⁶⁾ พบว่าการใช้สารพวกแอนติออกซิไดซ์ (antioxidizing agent) ได้แก่สารละลายโซเดียมแอสคอเบต (sodium ascorbate) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) ทาที่ผิวฟันนาน 10 นาที พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันได้

การศึกษาถึงผลของตำแหน่งของฟันกรามน้อยต่อความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตพบว่าผิวฟันด้านแก้ม (buccal surface) ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงกว่าผิวฟันด้านลิ้น (lingual surface) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁽¹⁰⁾ แม้ว่าบางการศึกษาจะไม่พบความแตกต่างของค่าการยึดติดระหว่างทั้งสองด้าน⁽¹²⁾

มีการศึกษาพบว่าฟันแท้ที่ขึ้นมาในช่องปากนานกว่ามีแนวโน้มจะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดสูงกว่าฟันแท้ที่เพิ่งขึ้นในช่องปากไม่นานเล็กน้อยเมื่อกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 15 หรือ 60 วินาทีจากความคงตัวของแท่งเคลือบฟันที่มีการสะสมของแร่ธาตุมากขึ้นและเพิ่มการยึดเชิงกลกับสารยึดติดได้ดี^(11,12)

2.1.2 การใช้กรดโพลีอะคริลิก

สารละลายกรดโพลีอะคริลิกมีซัลเฟตไฮดรอนในสารละลายเป็นตัวที่ทำให้เกิดร่างผลึก (crystal growing) ของแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต (calcium sulfate dihydrate) บนผิวเคลือบฟัน ค่าความเป็นกรดต่างที่สามารถแตกตัวให้โปรตอนไปครั้งหนึ่ง (pKa) เท่ากับ 4.75 และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วบนผิวเคลือบฟัน^(47,48) การใช้กรดโพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 10 บนผิวเคลือบฟันจากกลไกของขยายธรรมชาติพบความหลากหลายของผิวเคลือบฟันตั้งแต่ไม่เกิดผลใดจนถึงเป็นลักษณะรูขนาดเล็กหรือมีรอยแตก ลักษณะการถูกเปิดของแท่งเคลือบฟันไม่ชัดเจนเท่ากับของการกัดผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริก จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราดพบลักษณะเหมือนเข็มยาวๆ จำนวนมากบนผิวเคลือบฟัน ซึ่งเชื่อว่าเป็นที่ยึดเกาะของสารยึดติดทางทันตกรรมจัดฟัน การศึกษาพบว่าจะให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ต่ำกว่าเทียบกับการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกประมาณร้อยละ 60-80 และไม่เหมาะสมที่จะใช้

เตรียมผิวเคลือบฟันก่อนการติดแบร็กเกตทางคลินิก⁽⁴⁷⁻⁵⁰⁾ ข้อดีของวิธีนี้คือการถอดเครื่องมือทำได้ง่ายมีปริมาณของสารยึดติดตกค้างบนเคลือบฟันน้อยกว่า⁽⁵¹⁾

2.1.3 การใช้เซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์

การเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยเซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์ส่วนประกอบคือสารละลายฟีนิลพี (phenyl-P) ความเข้มข้นร้อยละ 20 ในสารฮีมา (HEMA) ความเข้มข้นร้อยละ 30^(52,53) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) มีค่าอยู่ประมาณ 2⁽²⁵⁾ ซึ่งสามารถนำมาเตรียมผิวเคลือบฟันโดยไม่ต้องล้างน้ำออกก่อนการยึดติด มีการพัฒนาคุณสมบัติแตกต่างกันตามค่าความเป็นกรดต่างและรูปแบบที่เกิดบนผิวเคลือบฟัน ในทางทันตกรรมจัดฟันกลไกการทำงาน ของเซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾ คือสารประกอบเมทาครีเลตฟอสฟอริกเอสเทอร์ (methacrylated phosphoric ester) ที่เป็นกรดทำหน้าที่กัดและปรับสภาพผิวเคลือบฟันในเวลาพร้อมกัน โดยกลุ่มฟอสเฟตจะละลายแคลเซียมจากไฮดรอกซีอะปาไทต์ ตัวแคลเซียมที่ละลายออกมาจะไปรวมกับส่วนกรดฟอสฟอริกเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งจะย่นไปหยุดขบวนการกัดผิวเคลือบฟันของส่วนกรดเกิดสภาวะเป็นกลาง (neutralized) ในขณะที่เดียวกันโมเลกุลของไพโรเมอร์จะแทรกซึมเข้าไปในแท่งผิวเคลือบฟันด้วย การเป่าลมก่อนการติดแบร็กเกตจะกำจัดตัวทำละลาย (solvent) ที่ตกค้างออกไปทำให้ไพโรเมอร์มีความเหนียวมากขึ้นและลดความเร็วในการกัดผิวฟันของกรดลง จากนั้นนำแบร็กเกตที่มีสารยึดติดมาวางแล้วฉายแสงทำให้ไพโรเมอร์และสารยึดติดแข็งตัวและหยุดการทำงานของกรด สารยึดติดที่ฐานแบร็กเกตควรเป็นชนิดที่แข็งตัวด้วยแสง (light-cured adhesive) แต่มีการศึกษาเพื่อปรับความเข้ากันได้ของสารยึดติดชนิดแข็งด้วยตัวเองกับเซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์โดยการเติมเรซินที่มีประจุลบ (anion exchange resin) ลงในส่วนเอมีน (amine component) ของสารยึดติดชนิดแข็งด้วยตัวเองพบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงของการยึดติดแบร็กเกตกับผิวฟันซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไป⁽⁵⁷⁾

การใช้เซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์บนผิวเคลือบฟันเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะพบลักษณะของผิวเคลือบฟันปกติแต่อาจพบลักษณะของการถูกกัดด้วยกรดเมื่อดูด้วยกล้องขยายกำลังสูงโดยมีลักษณะเหมือนการถูกกรัดแบบตื้น

ลักษณะเรซินแตกไม่ชัดเจน มีการละลายของส่วนที่อยู่รอบแกนของแท่งเคลือบฟัน เซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์ที่มีความเป็นกรดสูงย่อมสามารถกัดผิวเคลือบฟันมากขึ้นแต่ไม่พบสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร์ริกเกต^(53,54) แม้ว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร์ริกเกตกับผิวเคลือบฟันโดยใช้เซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์มักต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอริก อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ยังเป็นที่ยอมรับทางคลินิก⁽⁵⁸⁻⁶⁰⁾ การใช้เซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์มีข้อดีคือ ลดเวลาในการทำงานและลดโอกาสการทำความเสียหายต่อผิวเคลือบฟันเนื่องจากทำลายผิวเคลือบฟันได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรดฟอสฟอริก⁽⁵⁸⁾ มีข้อจำกัดคือ 1) ต้องมีการผสมเซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์ก่อนการใช้ทุกครั้งโดยเซลฟ์เอทซ์ไพโรเมอร์ที่ใช้ทางทันตกรรมจัดฟันจะเป็นแบบสามกระเปาะต้องบีบให้ส่วนผสมเข้ากันก่อนและมีอายุการใช้งานหลังผสมสั้น 2) มีชั้นสเมียร์ (smear layer) บนผิวเคลือบฟันขณะยึดติดเครื่องมือ 3) รูปแบบฟันผิวที่ได้ไม่ชัดเจนสม่ำเสมอเทียบกับการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก และ 4) ราคาแพง

การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างแบร์ริกเกตกับเคลือบฟันน้ำนมและเคลือบฟันแท้ในการใช้สารยึดติดชนิดแบบกัดด้วยกรด (acid-etching adhesive system) กับแบบเซลฟ์เอทซ์ (self-etching adhesive system) พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฟันประเภทเดียวกัน แต่ในสารยึดติดชนิดเดียวกันพบว่าฟันน้ำนมมีค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร์ริกเกตต่ำกว่าของฟันแท้⁽⁶¹⁾ เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางพื้นที่ติดแบร์ริกเกตในเคลือบฟันน้ำนมพบลักษณะแท่งเคลือบฟันที่ผิวด้านนอกน้อยกว่าฟันแท้⁽²⁾ ทำให้ลดประสิทธิภาพของการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริก⁽³⁾ นอกจากนี้รูปร่างของผิวฟันที่ไม่พอดีกับรูปร่างของฐานแบร์ริกเกตจะส่งผลกระทบต่อความหนาของสารยึดติดที่อยู่ข้างและลดค่าความแข็งแรงของการยึดติดลงด้วย

2.2 การเตรียมผิวเคลือบฟันโดยใช้วิธีทางเชิงกล

2.2.1 การเตรียมผิวเคลือบฟันโดยการเป่าทราย (sandblasting)

การเป่าทรายเป็นวิธีทางเชิงกลที่ทำให้เกิดลักษณะรูพรุนขนาดเล็กคล้ายกับการกัดด้วยกรด (micro-etching หรือ grit blasting) ผงทรายที่ใช้คือผงอะลูมิเนียมออกไซด์

(aluminum oxide) ขนาด 50 ไมครอนเป่าบนพื้นผิวภายใต้แรงดันอากาศสูง 70-80 psi ระยะห่างไม่เกิน 5 มม. นาน 5 วินาที เกิดลักษณะการขัดสีของพื้นผิว (surface abrasion) มีการสูญเสียผิวเคลือบฟันอย่างถาวร รูปแบบพื้นผิวที่ได้มีลักษณะไม่ชัดเจนและไม่สม่ำเสมอ ต้องมีขั้นตอนการควบคุมระดับแรงดันอากาศและมีความยุ่งยากในการใช้ในคลินิก ค่าความแข็งแรงของการยึดติดแบร์ริกเกตกับผิวเคลือบฟันที่เตรียมโดยการเป่าทรายค่อนข้างต่ำกว่าการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยกรดฟอสฟอริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^(20,62-68) มีการศึกษาเสนอให้ใช้เป็นกรณีทดแทนผงขัดพิมพ์มิซก่อนการติดแบร์ริกเกต⁽⁶⁵⁾ หรือหากจะใช้ในการเตรียมผิวเคลือบฟันเพื่อยึดแบร์ริกเกตมีการแนะนำว่าควรใช้การเป่าทรายภายหลังจากการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 15 วินาทีซึ่งให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่สูงกว่าการเตรียมสภาพผิวเคลือบฟันด้วยการเป่าทรายเพียงอย่างเดียว⁽⁶⁸⁾

การเป่าทรายบนผิวเคลือบฟันตกกระทอาจเป็นอีกวิธีที่เพิ่มประสิทธิภาพในการติดแบร์ริกเกต⁽⁴⁰⁾ แต่ทำให้ขั้นตอนในคลินิกยุ่งยากและต้องระมัดระวังในการใช้อย่างมาก มีการพัฒนาสารเพิ่มการยึดติด (adhesion promoter) กับผิวฟันตกกระซึ่งเป็นไพโรเมอร์ที่มีส่วนผสมของฮีมากับกรดโพลีอัลคีนอิก (polyalkenoic acid) ในการควบคุมความชื้นและเพิ่มการแทรกของสารยึดติดที่มีบิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) ฮีมาและการเติมสารประกอบเอมีนที่ช่วยให้สารยึดติดแข็งตัวด้วยการฉายแสงโดยไม่ต้องเป่าทราย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าใช้ได้ทางคลินิก^(69,70)

2.2.2 การเตรียมผิวเคลือบฟันโดยใช้เลเซอร์ (Laser application)

ผลของการใช้เลเซอร์ปรับสภาพผิวเคลือบฟันทำให้เกิดการละลายผิวเคลือบฟันเฉพาะส่วน กลไกคือโมเลกุลของน้ำภายในผิวเคลือบฟันมีการแตกตัว (micro-explosion) มีการละลายของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์และการเกิดเป็นผลึกใหม่อีกครั้ง (re-crystallization) เกิดลักษณะของหลุมร่องที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (bubble inclusions) อยู่ภายในเป็นกลุ่มซึ่งเทียบได้กับลักษณะของการถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกแบบที่ 3 ข้อดีของการใช้เลเซอร์ในการเตรียมผิวเคลือบฟันคือ 1) ใช้เวลานาน

2) ความรู้สึกไม่สบายของผู้ป่วยและความร้อนของเลเซอร์ อาจทำอันตรายต่อโพรงประสาทฟัน และ 3) ได้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตไม่แน่นอน เลเซอร์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อเตรียมผิวเคลือบฟันก่อนการติดแบร็กเกต ได้แก่ Nd:YAG laser^(71,72) และ CO₂ laser⁽⁷³⁾ เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันและผลการศึกษายังสรุปได้ไม่แน่ชัด^(66,74) ความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตบนผิวเคลือบฟันที่เตรียมโดยใช้เลเซอร์มีค่าต่ำกว่าการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก⁽⁷³⁾ การศึกษาของ Kwon และคณะ⁽⁷⁵⁾ และ Özer และคณะ⁽⁷⁶⁾ พบว่าเมื่อมีการปรับความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้เลเซอร์เตรียมผิวฟันก่อนการติดแบร็กเกตสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตได้

2.3 การเตรียมผิวเคลือบฟันสำหรับการยึดติดทางทันตกรรมจัดฟันโดยไม่ใช้วิธีการใดๆ (no preparation)

วิธีการที่กล่าวมาก่อนหน้านี้เป็นการสร้างพื้นผิวเคลือบฟันให้มีร่องหรือรูเพื่อเป็นที่อยู่ของสารยึดติดซึ่งเป็นการยึดติดเชิงกล การใช้สารยึดติดพวกกลาสไอโอโนเมอร์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในปัจจุบัน เนื่องจากเกิดการยึดติดทางเคมีกับผิวเคลือบฟัน (chemical retention) ข้อดีของสารยึดติดนี้คือ 1) ไม่ต้องใช้กรดในการเตรียมผิวเคลือบฟัน 2) ปลอดภัยต่อฟลูออไรด์ และ 3) เกิดการยึดติดทางเคมีกับแคลเซียมบริดจ์ด้วยพันธะไฮโดรเจน มีข้อด้อยคือ 1) ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดต่ำ 2) เสื่อมคุณสมบัติง่ายหากสัมผัสกับน้ำ และ 3) มีระยะเวลาในการแข็งตัวนานและเกิดค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่สมบูรณ์ช้า⁽²¹⁾ ต่อมา มีการเติมเรซินเข้าไปเพื่อพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลและเชิงกายภาพเรียกว่า เรซินโมดิฟายด์กลาสไอโอโนเมอร์ (resin modified glass ionomers: RMGI) เป็นวัสดุผสม (hybrid material) ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันดีขึ้น สามารถเร่งการแข็งตัวด้วยการฉายแสงและยึดกับโลหะได้ดีกว่าผิวเคลือบฟัน^(56,77,78) มีการแนะนำให้ใช้คอนดิชันเนอร์ (conditioners) ซึ่งมักเป็นกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 10 เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนก่อนและช่วยสร้างพื้นผิวเปียก (wetting surfaces) ก่อนการใช้ RMGI ในการสนับสนุนการยึดติดของวัสดุ⁽⁷⁹⁻⁸¹⁾ อย่างไรก็ตามการใช้ RMGI ยังไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

เทียบกับการใช้สารยึดติดพวกเรซินคอมโพสิตจากค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันที่ยังต่ำเมื่อเทียบกับการใช้กรดฟอสฟอริก จึงนิยมใช้เป็นวัสดุยึดแผ่นรัดฟัน (bands) มากกว่า

3. การเตรียมพื้นผิวอื่นที่ไม่ใช่ผิวเคลือบฟันสำหรับติดแบร็กเกตจัดฟัน

3.1 การยึดติดกับผิวอะมัลกัม (amalgam surface)

อะมัลกัมเป็นสารประกอบโลหะชนิดหนึ่ง ปัจจุบันยังพบการอุดด้วยวัสดุชนิดนี้อยู่บ้างโดยเฉพาะบริเวณฟันหลังที่ต้องการความแข็งแรงของวัสดุอุดและลดค่าใช้จ่าย อะมัลกัมที่ใช้มีลักษณะองค์ประกอบเป็นรูปเลทซ์ (lathe-cut) ทรงกลม (spherical) หรือในรูปที่ผสมกันทั้งสองแบบ (admixture หรือ hybrid) โดยทั่วไปการยึดแบร็กเกตกับเคลือบฟันที่อุดด้วยอะมัลกัมต้องคำนึงถึงพื้นที่ของเคลือบฟันปกติที่อยู่รอบวัสดุอะมัลกัม ถ้าอะมัลกัมมีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวเคลือบฟันใต้บริเวณแบร็กเกตมากสามารถใช้วิธีการยึดแบร็กเกตตามปกติได้ ถ้าอะมัลกัมมีขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีวิธีช่วยเสริมความแข็งแรงของการยึดติดแบร็กเกต การศึกษาพบว่าอะมัลกัมในรูปทรงกลมให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดแบร็กเกตสูงกว่ารูปเลทซ์หรือแบบผสม⁽⁸²⁾ วิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการเพิ่มการยึดติดกับอะมัลกัมได้แก่ การเป่าทราย การกรอผิวด้วยหัวกรอหิน (stone bur) หรือหัวกรอากเพชร (diamond bur) ซึ่งวิธีเหล่านี้เป็นการทำให้เกิดความขรุขระบนพื้นผิวอะมัลกัมเกิดเป็นส่วนเสริมการยึดติดเชิงกลขนาดเล็กกับสารยึดติด นอกจากนี้ยังมีการใช้เรซินทาที่ผิวอะมัลกัมเพื่อช่วยเพิ่มการยึดติด⁽⁸³⁾ ซึ่งเป็นที่นิยมมากขึ้นได้แก่ ออลบอนด์ 2 (All-Bond 2 primers), เอนฮานซ์ (Enhance) การศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงของการยึดติดกับแบร็กเกตได้แต่น้อยกว่าการยึดแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันปกติ รวมถึงการพัฒนาเมทัลแอดฮีซีฟไพรเมอร์ (metal adhesive primer) ที่สามารถยึดกับทั้งส่วนมีค่า (precious) และส่วนไม่มีค่า (nonprecious) ของโลหะ^(84,85) ได้แก่ C&B Metabond adhesive ที่มีโพรมีตาเรซิน (4-META resins: 4-methacryloxyethyl trimillitate anhydrid -resin) และเทนเอ็มดีพีบิสจีเอทเอเรซิน (10-MDP bis-GMA resins) ทำหน้าที่จับกับ

กลุ่มไฮดรอกซิลที่ผิวโลหะเกิดเป็นพันธะไฮโดรเจน วิธีการที่แนะนำหากอะมัลกัมมีขนาดใหญ่มากจนถึงคลุมพื้นที่ทั้งหมดของฐานแบร็กเกตคือการเป่าทรายขนาด 50 ไมครอนระยะห่างไม่เกิน 5 มม. นาน 30 วินาที ตามด้วยการทาเมทัลไพรเมอร์ และรอประมาณ 30 วินาที หลังจากนั้นให้ติดแบร็กเกตตามวิธีปกติโดยไม่ต้องใช้กรดฟอสฟอริกอีก

3.2 การยึดติดกับผิวโลหะเจือหรือโลหะผสมขึ้นรูป (dental casting alloy surface)

การติดแบร็กเกตบนพื้นผิวที่บุรณะด้วยครอบฟันโลหะเต็มซี่ (full metal crown) ยังพบได้ในบริเวณพื้นหลังโลหะเจือหรือโลหะผสมที่ใช้สำหรับการสร้างครอบฟันแบ่งได้เป็น 3 แบบ⁽⁸⁶⁾ คือ 1) โลหะเจือที่มีทองเป็นส่วนผสม (gold-based alloy) ซึ่งประกอบด้วยทองกับเงิน ร้อยละ 10-25 พัลลาเดียม (palladium) ซึ่งเป็นโลหะมีสกุล (noble metal) ร้อยละ 0.3-3.5 และโลหะพื้นฐานปริมาณเล็กน้อยเพื่อเพิ่มคุณสมบัติได้แก่สังกะสี (zinc) อินเดียม (indium) เหล็ก (iron) กัลเลียม (gallium) เป็นต้น 2) โลหะเจือที่มีเงินและพัลลาเดียมเป็นส่วนผสม (silver-palladium alloy) โดยมีเงินกับพัลลาเดียมเป็นส่วนประกอบหลักอย่างน้อยร้อยละ 25 หากทำเป็นโลหะเจือที่มีความแข็งหรือแข็งมาก (hard or extra-hard alloy) ที่ใช้ทำครอบฟันโลหะเต็มซี่ประกอบด้วยเงินร้อยละ 45 พัลลาเดียมร้อยละ 25 ทองร้อยละ 15 และทองแดงร้อยละ 14 และ 3) โลหะเจือพื้นฐาน (base metal alloy) โดยทั่วไปไม่นิยมใช้ทำครอบฟันโลหะเต็มซี่ แต่มีการพัฒนาโลหะเจือทองแดงและดีบุก (copper-based bronze alloy) ซึ่งเติมอะลูมิเนียม นิกเกิลและโลหะอื่นเพื่อให้เกิดสีเหลืองเหมือนกับทองมาใช้ในการสร้างครอบฟันและมีราคาถูกลง มีข้อด้อยคือการต้านทานต่อการกัดกร่อน (corrosion) ต่ำและเกิดการหมอง (tarnish) ได้ง่าย⁽⁸⁶⁾

ในทางปฏิบัติแล้วทันตแพทย์ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าครอบฟันโลหะเต็มซี่ในปากทำจากโลหะประเภทใดเนื่องจากมักมีสีเงินหรือสีเหลือง การศึกษาการยึดแบร็กเกตกับครอบฟันทองผสมต้องมีการเตรียมพื้นผิวโลหะให้ดี^(83,87,88) วิธีการเหล่านั้นได้แก่การทำให้ผิวหยาบด้วยหัวกรอหินหรือการเป่าทราย วิธีเคลือบผิวด้วยดีบุก (tin

plating) โดยทาผิวโลหะด้วยสารละลายกัลเลียมกับดีบุก (adlloy)⁽⁸⁸⁾ ซึ่งอาจยุ่งยากเมื่อใช้ในคลินิก วิธีการที่นิยมในปัจจุบันคือการใช้สารยึดติดที่สามารถยึดกับโลหะได้ซึ่งมีส่วนประกอบของไฟร์เมตาบกับสารละลายไตรบิวทิลโบเรน (tributylborane monomer) และผงโพลีเมอร์ (polymer powder) โดยตัวไฟร์เมตาจะสร้างพันธะเคมีกับผิวโลหะ ตัวอย่างเช่น Superbond C&B (Sun Medical, Kyoto, Japan) ซึ่งสารยึดติดนี้จะยึดกับผิวโลหะเจือได้⁽⁸⁸⁾ อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าในท้องตลาดซึ่งในทางคลินิกยังไม่มีวิธีการที่ได้ผลการยึดติดโลหะได้ดีเทียบเท่ากับผิวเคลือบฟัน ส่วนการศึกษาในการยึดแบร็กเกตกับพื้นผิวโลหะเต็มซี่ที่ทำจากโลหะเจือประเภทอื่นยังมีน้อยมากและไม่มีการเปรียบเทียบในระหว่างกลุ่ม แต่อาจใช้วิธีการเตรียมผิวเหมือนกับการเตรียมผิวพื้นผิวโลหะที่ทำจากทองผสมได้

3.3 การยึดติดกับพอร์ซเลนทางทันตกรรม (porcelain surface)

การบุรณะฟันด้วยพอร์ซเลนทางทันตกรรมพบได้กับฟันทุกซี่ในช่องปาก การใส่แบนด์ (bands) หรือแผ่นรัดฟันทางทันตกรรมจัดฟันแทนแบร็กเกตเป็นทางเลือกหนึ่งแต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากความสวยงามที่ด้อยลงโดยเฉพาะบริเวณฟันหน้า พอร์ซเลนทางทันตกรรม (dental porcelain) มีเฟลสปาทิกโพแทสเซียม (potassium feldspar) หรือเฟลสปาทิกโซเดียม (sodium feldspar) และลูไซต์ (leucite) เป็นส่วนประกอบสำคัญ มีลักษณะเปราะโดยธรรมชาติ โดยทั่วไปจะวางเป็นชั้นบนโครงสร้างฐาน (sub-structure) ใน 2 แบบคือโครงสร้างฐานโลหะ (metal-ceramic restoration) หรือโครงสร้างฐานเซรามิก (all ceramic restoration) ที่ใช้เซรามิกความแข็งแรงสูง (high-strength ceramic) เพื่อเพิ่มความสวยงาม⁽⁸⁹⁾

เซรามิกทางทันตกรรมมีหลายส่วนประกอบแบ่งตามสถานะของแก้ว (glass phase) เป็น 3 ประเภท⁽⁹⁰⁾ คือ 1) กลาสเซรามิก (glass-ceramic) มีแก้วเฟลสปาทิกอยู่รอบผลึก (crystalline phase) ที่เป็นลูไซต์ (leucite) นิยมใช้ทำแผ่นปิดหน้าฟันครอบฟันเต็มซี่ของฟันหน้า ได้แก่ Empress I, Empress II เป็นต้น 2) กลาสอินฟิลเตรตเซรามิก (glass-infiltrated ceramic) มีการเสริมแก้วแลนทานัม (liquid lanthanum glass) โครงสร้าง

เป็นอะลูมินา ใช้ทำโครงสร้างฐานของครอบฟัน ได้แก่ In-ceram alumina, In-ceram Spinell และ In-ceram zirconia เป็นต้น 3) ออกไซด์เซรามิก (Oxide ceramic or high strength ceramic) ไม่มีแก้วมีแต่อะลูมินาหรือเซอร์โคเนีย ใช้ทำส่วนโครงสร้างฐานหรือแกนของครอบฟันหรือสะพานฟัน ได้แก่ Procera, Cercon, DCS, CEREC เป็นต้น

การยึดติดแบร็กเกตกับผิวพอร์ซเลนที่ถูกเคลือบเงา (glazed) และเรียบมากด้วยวิธีการปกติจะมีค่าความแข็งแรงของการยึดติดต่ำและไม่เป็นที่ยอมรับทางคลินิกเนื่องจากผิวพอร์ซเลนไม่ถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริก วิธีการปรับเตรียมผิวพอร์ซเลนก่อนติดแบร็กเกตได้แก่ การกรอผิวด้วยหัวกรอหินและหัวกรอกากเพชร การเป่าทราย การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) และการใช้สารประกอบพวกซิลิโคน (silane) เป็นต้น⁽⁹¹⁻⁹⁵⁾

การกรอผิวให้หยาบด้วยหัวกรอเพิ่มค่ากำลังความแข็งแรงของการยึดติดได้แต่ไม่เพียงพอในทางคลินิกและอาจทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (microcrack) บนผิวซึ่งนำไปสู่การแตกหักของผิวพอร์ซเลนได้⁽⁹²⁾ การเป่าทรายอะลูมินัมออกไซด์จะทำให้เกิดลักษณะผิวคล้ายถูกกัดด้วยกรดขนาดเล็ก (micro-etching) แต่ต้องมีการป้องกันการฟุ้งกระจายเมื่อใช้ในคลินิก การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งเป็นกรดกัดแก้วเป็นอีกวิธีที่นิยมใช้ ความเข้มข้นของกรดคือร้อยละ 9.6 ในรูปเจล โดยการทาบนผิวไว้ประมาณ 2-4 นาที การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกต้องทำด้วยความระมัดระวังอย่างสูง การกำจัดออกจากผิวฟันต้องลดการกระจายของตัวกรดภายใต้กำลังดูดสูง (high power suction) ในกรณีที่ไม่สามารถแยกบริเวณที่จะทำได้อาจใช้อะซิดูเลตฟอสเฟตฟลูออไรด์ (acidulated phosphate fluoride) ในรูปเจล ความเข้มข้นร้อยละ 4 ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 1.43 ในรูปเจลแทนได้แต่อาจต้องทำไว้นานถึง 10 นาทีและให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดที่ต่ำ⁽⁹¹⁾ กรดจะละลายส่วนของแก้ว (glassy phase) ในพอร์ซเลนและกรดมีผลต่างกันบนพอร์ซเลนต่างชนิดกัน⁽⁹⁶⁾ ผิวพอร์ซเลนหลังทาด้วยกรดเมื่อดูด้วยตาเปล่าจะขาวขุ่นคล้ายกับผิวฟันที่ถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริก⁽⁸⁷⁾ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบรูพรุนจากการ

ละลายส่วนของแก้วไปซึ่งส่งเสริมการแทรกของสารยึดติด⁽⁹⁷⁾

การใช้ซิลิโคนในการเพิ่มการยึดกับสารยึดติดเป็นอีกวิธีที่นิยมใช้ ซิลิโคนเป็นสารคู่ควบ (coupling agent) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ กลุ่มซิลานอล (silanol group) กับกลุ่มเมทาครีเลต (methacrylate group) กลุ่มซิลานอลในซิลิโคนจะยึดกับส่วนซิลานอลที่ผิวพอร์ซเลนเกิดเป็นพันธะซิลอกเซน (siloxane bond) ส่วนกลุ่มเมทาครีเลตจะสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโครงร่างตาข่ายโพลีเมอร์ของตัวคอมเรซินโฟลิด การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับการใช้ซิลิโคนจะเพิ่มค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตมากกว่าการใช้ซิลิโคนเพียงอย่างเดียว⁽⁹¹⁾ การเป่าทรายแล้วทำความสะอาดผิวด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนการใช้ซิลิโคนเป็นวิธีที่ให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตไม่แตกต่างจากการใช้กรดกัดแก้วร่วมกับซิลิโคน⁽⁹⁴⁾ วิธีการที่แนะนำโดยทั่วไปในการยึดแบร็กเกตโลหะกับผิวพอร์ซเลนมีดังนี้⁽⁸⁸⁾ 1) กำจัดผิวที่เคลือบด้วยการเป่าทรายโดยใช้ผงอะลูมินัมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน นาน 2-3 วินาที 2) ทาผิวพอร์ซเลนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกในรูปเจลความเข้มข้นร้อยละ 9.6 นาน 2-4 นาที เช็ดส่วนเกินออกและล้างด้วยน้ำสะอาดเป่าแห้ง 3) ทาซิลิโคน 2-3 ชั้น นานประมาณ 1-1.5 นาทีแล้วเป่าแห้ง หลังจากนั้นทำการยึดติดแบร็กเกตตามปกติ แนะนำให้ใช้วัสดุยึดติดแบบแข็งด้วยตัวเองมากกว่าแบบแข็งด้วยแสง การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกับผิวพอร์ซเลนชนิดอื่นเช่น กลาสเซรามิกให้ค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเฟลสปาดิก⁽⁹¹⁾ มีการเสนอวิธีการเคลือบด้วยซิลิกา (silica coating technique)^(92,93) ซึ่งต้องมีการศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตามเมื่อการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันสิ้นสุดลงผิวพอร์ซเลนควรถูกบูรณะให้เข้าสู่สภาพเดิมมากที่สุด ควรกำจัดส่วนของสารยึดติดที่เหลืออยู่ด้วยหัวทังสเตนคาร์ไบด์ (tungsten carbide bur) แล้วขัดด้วยหัวยางซิลิคอนคาร์ไบด์ (silicon carbide rubber points) ความเร็วรอบต่ำตามลำดับความหยาบร่วมกับการใช้ครีมขัดที่มีส่วนผสมของกากเพชร (diamond polishing paste) เพื่อให้ได้ผิวเรียบคล้ายผิวฟัน สิ่งที่ต้องคำนึงเสมอคือวิธีการต่างๆ ที่เตรียมผิวพอร์ซเลนเพื่อการ

ติดแบร็กเกตทำให้เกิดความเสียหายกับผิวพอร์ซเลนแบบย้อนกลับไม่ได้ เกิดการเปลี่ยนสีและสูญเสียความเรียบของผิวไปรวมถึงการแตกของผิวซึ่งในที่สุดอาจต้องทำวัสดุบูรณะฟันใหม่

3.4 การยึดติดกับเรซินคอมโพสิต (composite restoration)

วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิตถูกใช้มากที่สุดผ่านทางทันตกรรมไม่ว่าจะเป็นการบูรณะฟันตามปกติหรือการทำแผ่นปิดผิวฟัน ผิวของวัสดุเรซินคอมโพสิตมีการเปลี่ยนแปลงโดยปริมาณของกลุ่มเมทาครีเลตที่ไม่ทำปฏิกิริยาที่เหลืออยู่บนผิววัสดุที่เป็นส่วนไปยึดกับสารยึดติดทางทันตกรรมจัดฟันจะลดลงไปตามเวลา⁽⁹⁸⁻¹⁰⁰⁾ และส่วนวัสดุอัดแทรก (filler) ที่ผิวด้านนอกหลุดออกไป เพื่อให้เกิดการยึดติดกับแบร็กเกตที่ดีควรกำจัดส่วนผิวด้านนอกสุดของวัสดุออกด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การใช้หัวกรอกปากเพชรหรือหัวกรอคาร์ไบด์ การเป่าทราย แล้วปรับผิวเรซินคอมโพสิตด้วยไซเลนหรือสารปรับสภาพผิวพลาสติก (plastic conditioner)⁽¹⁰¹⁾ ก่อนที่จะติดแบร็กเกตตามปกติ การศึกษาพบว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตจะมีค่าประมาณร้อยละ 60-85 ของการยึดติดแบร็กเกตกับผิวเคลือบฟันตามปกติแต่เป็นที่ยอมรับได้ทางคลินิก^(100,102)

3.5 การยึดติดกับเรซินอะคริลิก (acrylic resin)

การติดแบร็กเกตกับผิวเรซินอะคริลิกพบในกรณีครอบฟันชั่วคราวที่ทำจากโพลีเมทิลเมทาครีเลต (polymethyl methacrylate: PMMA) หรือการยึดแบร็กเกตกับฟันปลอมพลาสติกที่ใส่ให้ผู้ป่วยเพื่อความสวยงาม การเตรียม พื้นผิวทำได้โดยทาส่วนเหลวเมทิลเมทาครีเลทบนผิวเรซินอะคริลิกนาน 3 นาที หลังจากนั้นติดแบร็กเกตตามวิธีปกติโดยไม่ต้องใช้กรดฟอสฟอริกอีก^(103,104) การศึกษาการติดแบร็กเกตกับผิวครอบฟันชั่วคราวที่ทำจากโพลีคาร์บอเนต (polycarbonate crown) พบว่าสามารถเพิ่มการยึดติดโดยการเป่าทรายที่ผิวครอบฟันก่อน⁽¹⁰⁵⁾ แม้ว่าค่าความแข็งแรงของการยึดติดของแบร็กเกตต่ำมากเมื่อเทียบกับผิวเคลือบฟันปกติ ซึ่งยังต้องศึกษาต่อไป

บทสรุป

การยึดติดเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันกับผิวเคลือบฟันโดยเฉพาะการติดแบร็กเกต การเลือกใช้วิธีใด ขึ้นกับชนิดของสารยึดติดและสภาวะของฟันที่จะยึดติดนั้น ส่วนการยึดกับผิวอื่นๆ ที่ไม่ใช่ผิวเคลือบฟันอาจต้องมีวิธีการเสริมจากวิธีการปกติ เพื่อให้แบร็กเกตอยู่ในช่องปากตลอดระยะเวลาการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน และเมื่อถอดเครื่องมือออกควรสามารถบูรณะฟันผุให้เข้าใกล้สภาพเดิมมากที่สุด อย่างไรก็ตามการศึกษาก็ได้ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในห้องทดลองแม้จะมีการพยายามออกแบบให้ใกล้เคียงกับสภาพช่องปากมากที่สุด และแต่ละการศึกษามีวิธีการต่างกัน ซึ่งไม่สามารถนำมาผลที่ได้มาใช้อย่างชัดเจนสำหรับการใช้ในทางคลินิกและอาจไม่สามารถเทียบผลข้ามการศึกษาได้ทันตแพทย์ควรพิจารณาเลือกใช้เป็นแนวทางด้วยความระมัดระวังในการเลือกวิธีที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. Mann AB, Dickinson ME. Nanomechanics, chemistry and structure at the enamel surface. In : Duckworth RM, ed: *The teeth and their environment*, Vol 19. Basel, Karger: Monogr Oral Sci; 2006: 105-131.
2. Whittaker DK. Structural variations in the surface zone of human tooth enamel observed by scanning electron microscopy. *Arch Oral Biol* 1982; 27: 383-392.
3. Hobson RS, Rugg-Gunn AJ, Booth TA. Acid-etch patterns on the buccal surface of human permanent teeth. *Arch Oral Biol* 2002; 47: 407-412.
4. Arends J, Jongbloed WL, Schuthof J. Crystallite diameters of enamel near the anatomical surface. An investigation of mature, deciduous and non-erupted human enamel. *Caries Res* 1983; 17: 97-105.

5. Miller RA. Bonding fluorosed teeth: new materials for old problems. *J Clin Orthod* 1995; 29: 424-427.
6. Thylstrup A, Fejerskov O. Clinical appearance of dental fluorosis in permanent teeth in relation to histologic change. *Community Dent Oral Epidemiol* 1978; 6: 315-328.
7. Adanir N, Türkkahraman H, Güngör AY. Effects of fluorosis and bleaching on shear bond strengths of orthodontic brackets. *Eur J Dent* 2007; 1: 230-235.
8. Titley KC, Torneck CD, Ruse ND, Krmec D. Adhesion of a resin composite to bleached and unbleached human enamel. *J Endod* 1993; 19: 112-115.
9. McGuckin RS, Thurmond BA, Osovitz S. Enamel shear bond strength after vital bleaching. *Am J Dent* 1992; 5: 216-222.
10. Brosh T, Strouthou S, Sarne O. Effects of buccal versus lingual surfaces, enamel conditioning procedures and storage duration on brackets debonding characteristics. *J Dent* 2005; 33: 99-105.
11. Sheen DH, Wang WN, Tarng TH. Bond strength of younger and older permanent teeth with various etching times. *Angle Orthod* 1993; 63: 225-230.
12. Wang WN, Tarng TH, Chen YY. Comparison of bond strength between lingual and buccal surfaces on young premolars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993; 104: 251-253.
13. Mattick CR, Hobson RS. A comparative micro-topographic study of the buccal enamel of different tooth types. *J Orthod* 2000; 27: 143-148.
14. Lindauer SJ, Browning H, Shroff B, Marshall F, Anderson RHB, Moon PC. Effect of pumice prophylaxis on the bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 111: 599-605.
15. Aboush YE, Tareen A, Elderton RJ. Resin-to-enamel bonds: effect of cleaning the enamel surface with prophylaxis pastes containing fluoride or oil. *Br Dent J* 1991; 171: 207-209.
16. Damon PL, Bishara SE, Olsen ME, Jakobsen JR. Effects of fluoride application on shear bond strength of orthodontic brackets. *Angle Orthod* 1996; 66: 61-64.
17. Gwinnett AJ. Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents. *Arch of Oral Biol* 1971; 16: 731-736.
18. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res* 1975; 9: 373-387.
19. Diedrich P. Enamel alterations from bracket bonding and debonding: a study with the scanning electron microscope. *Am J Orthod* 1981; 79: 500-522.
20. Van Waveren-Hogervorst WL, Feilzer AJ, Prahl-Andersen B. The air-abrasion technique versus the conventional acid-etching technique: a quantification of surface enamel loss and a comparison of shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 117: 20-26.
21. Ögaard B, Fjeld M. The enamel surface and bonding in orthodontics. *Semin Orthod* 2010; 16: 37-48.
22. Hobson RS, McCabe JF, Rugg-Gunn AJ. The relationship between acid-etch pattern and bond survival in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121: 502-509.
23. Hobson RS, McCabe JF, Hogg SD. Bond strength to surface enamel for different tooth types. *Dent Mater* 2001; 17: 184-189.

24. Öztürk B, Malkoc S, Koyutürk AE, Çatalbaş B, Özer F. Influence of different tooth types on the bond strength of two orthodontic adhesive systems. *Eur J Orthod* 2008; 30: 407-412.
25. Torii Y, Itou K, Nishitani Y, Ishikawa K, Suzuki K. Effect of phosphoric acid etching prior to self-etching primer application on adhesion of resin composite to enamel and dentin. *Am J Dent* 2002; 15: 305-308.
26. Wang WN, Yeh CL, Fang BD, Sun KT, Arvystas MG. Effect of H₃PO₄ concentration on bond strength. *Angle Orthod* 1994; 64: 377-382.
27. Cartensen W. Effect of reduction of phosphoric acid concentration on the shear bond strength of brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995; 108: 274-277.
28. Bhad WA, Hazarey PV. Scanning electron microscopic study and shear bond strength measurement with 5% and 37% phosphoric acid. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108: 410-414.
29. Shichi MJ, Soma K, Nakabayashi N. The effect of phosphoric acid concentration on resin tag length and bond strength of a photo-cured resin to acid-etched enamel. *Dent Mater* 2000; 16: 324-329.
30. Cartensen W. Clinical effects of reduction of acid concentration on direct bonding of brackets. *Angle Orthod* 1993; 63: 221-224.
31. Johnston CD, Hussey DL, Burden DJ. The effect of etch duration on the microstructure of molar enamel: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109: 531-534.
32. Olsen ME, Bishara SE, Boyer DB, Jakobsen JR. Effect of varying etching times on the bond strength of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996; 109: 403-409.
33. Johnston CD, Burden DJ, Hussey DL, Mitchell CA. Bonding to molars-the effect of etch time (an in vitro study). *Eur J Orthod* 1998; 20: 195-199.
34. Nguyen TT, Miller A, Orellana MF. Characterization of the porosity of human dental enamel and shear bond strength in vitro after variable etch times: initial findings using the BET method. *Angle Orthod* 2011; 81: 707-715.
35. Yanagisawa T, Takuma S, Fejerskov O. Ultra-structure and composition of enamel in human dental fluorosis. *Adv Dent Res* 1989; 3: 203-210.
36. Ng'ang'a PM, Ögaard B, Cruz R, Chindia ML, Aasrum E. Tensile bond strength of orthodontic brackets bonded directly to fluorotic and nonfluorotic teeth: an in vitro comparative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992; 102: 244-250.
37. Dishman MV, Covey DA, Baughan LW. The effects of peroxide bleaching on composite to enamel bond strength. *Dent Mater* 1994; 10: 33-36.
38. Nour El-din AK, Miller BH, Griggs JA, Wakefield C. Immediate bonding to bleached enamel. *Oper Dent* 2006; 31: 106-114.
39. Chotikeaw K, Patanaporn V, Sirimongkolwattana S, Korwanich N. Shear bond strength of different adhesive systems for bonding orthodontic brackets to fluorotic teeth. *CM Dent J* 2010; 31: 77-86.
40. Opinya GN, Pameijer CH. Tensile bond strength of fluorosed Kenyan teeth using the acid etch technique. *Int Dent J* 1986; 36: 225-229.

41. Ateyah N, Akpata ES. Factors affecting shear bond strength of composite resin to fluorosed human enamel. *Oper Dent* 2000; 25: 216-222.
42. Al-Sugair MH, Akpata ES. Effect of fluorosis on etching of human enamel. *J Oral Rehabil* 1999; 26: 521-528.
43. Öztas E, Bağdelen G, Kiliçoğlu H, Ulukapi H, Aydin I. The effect of enamel bleaching on the shear bond strengths of metal and ceramic brackets. *Eur J Orthod* 2012; 34: 232-237.
44. Bulut H, Turkan M, Kaya AD. Effect of an antioxidizing agent on the shear bond strength of brackets bonded to bleached human enamel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 129: 266-272.
45. Miles PG, Pontier J, Bahiraei D, Close J. The effect of carbamide peroxide bleach on the tensile bond strength of ceramic brackets: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 106: 371-375.
46. Lai SCN, Tay FR, Cheung GSP, et al. Reversal of compromised bonding in bleached enamel. *J Dent Res* 2002; 81: 477-481.
47. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etching enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984; 85: 330-340.
48. Mailer R, Smith DC. Crystal growth on the outer enamel surface-an alternative to acid etching. *Am J Orthod* 1986; 89: 183-193.
49. Pizarro KA, Jones ML, Knox J. An in vitro study of the effects of differing crystal growth solutions on the topography of the enamel surface. *Eur J Orthod* 1994; 16: 11-17.
50. Jones ML, Pizarro KA. A comparative study of the shear bond strengths of four different crystal growth solutions. *Br J Orthod* 1994; 21: 133-137.
51. Rossouw PE. A historical overview of the development of the acid-etch bonding system in orthodontics. *Semin Orthod* 2010; 16: 2-23.
52. Watanabe I, Nakabayashi N. Bonding durability of photocured Phenyl-P in TEGDMA to smear layer-retained bovine dentin. *Quintessence Int* 1993; 24: 335-342.
53. Pashley DH, Tay FR. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater* 2001; 17: 430-444.
54. Ostby AW, Bishara SE, Denehy GE, Laffoon JF, Warren JJ. Effect of self-etchant pH on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 203-208.
55. Bishara SE, Gordan VV, VonWald L, Olson ME. Effect of an acidic primer on shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114: 243-247.
56. Fjeld M, Øgaard B. Scanning electron microscope evaluation of enamel surfaces exposed to 3 orthodontic bonding systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006; 130: 575-581.
57. Finger WJ, Osada T, Tani C, Endo T. Compatibility between self-etching adhesive and self-curing resin by addition of anion exchange resin. *Dent Mater* 2005; 21: 1044-1050.
58. Cal-Neto JP, Miguel JAM. Scanning electron microscopy evaluation of the bonding mechanism of a self-etching primer on enamel. *Angle Orthod* 2006; 76: 132-136.
59. Scougall-Vilchis RJ, Ohashi S, Yamamoto K. Effects of 6 self-etching primers on shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 424.e421-424.e427.

60. Horiuchi S, Kaneko K, Mori H, et al. Enamel bonding of self-etching and phosphoric acid-etching orthodontic adhesives in simulated clinical conditions: debonding force and enamel surface. *Dent Mater J* 2009; 28: 419-425.
61. Endo T, Ozoe R, Shinkai K, Shimomura J, Katoh Y, S Shimooka. Comparison of shear bond strengths of orthodontic brackets bonded to deciduous and permanent teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 198-202.
62. Sargison AE, McCabe JF, Millett DT. A laboratory investigation to compare enamel preparation by sandblasting or acid etching prior to bracket bonding. *Br J Orthod* 1999; 26: 141-146.
63. Olsen ME, Bishara SE, Damon P, Jakobsen JR. Comparison of shear bond strength and surface structure between conventional acid etching and air-abrasion of human enamel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112: 502-506.
64. Alhajja ASJA, Al-Wahadni AMS. Evaluation of shear bond strength with different enamel pre-treatments. *Eur J Orthod* 2004; 26: 179-184.
65. Reisner KR, Levitt HL, Mante F. Enamel preparation for orthodontic bonding: a comparison between the use of sandblaster and current techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 111: 366-373.
66. Berk N, Basaran G, Ozer T. Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes. *Eur J Orthod* 2008; 30: 183-189.
67. Halpern RM, Rouleau T. The effect of air abrasion preparation on the shear bond strength of an orthodontic bracket bonded to enamel. *Eur J Orthod* 2009; 32: 224-227.
68. Canay S, Kocadereli I, Akca E. The effect of enamel air abrasion on the retention of bonded metallic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2000; 117: 15-19.
69. Noble J, Karaiskos N, Wiltshire WA. In vivo bonding of orthodontic brackets to fluorosed enamel using an adhesion promoter. *Angle Orthod* 2008; 78: 357-360.
70. Wiltshire WA, Noble J. Clinical and laboratory perspectives of improved orthodontic bonding to normal, hypoplastic, and fluorosed enamel. *Semin Orthod* 2010; 16: 55-65.
71. Ariyaratnam MT, Wilson MA, Mackie IC, Blinkhorn AS. A comparison of surface roughness and composite/enamel bond strength of human enamel following the application of the Nd:YAG laser and etching with phosphoric acid. *Dent Mater* 1997; 13: 51-55.
72. Lee BS, Hsieh TT, Lee YL, et al. Bond strength of orthodontic bracket after acid-etched, Er:YAG laser-irradiated and combined treatment on enamel surface. *Angle Orthod* 2003; 73: 565-570.
73. Obata A, Tsumura T, Niwa K, Ashizawa YØ, Deguchi T, Ito M. Super pulse CO₂ laser for bracket bonding and debonding. *Eur J Orthod* 1999; 21: 193-198.
74. Poulsen J, Dhuru V, Ferguson D, Kittleson R, Stenger J. Orthodontic bond strength after etching enamel with CO₂ laser. *J Dent Res* 1993; 72(IADR Abstracts): 176.
75. Kwon YH, Kwon OW, Kim HI, Kim KH. Nd:YAG laser ablation of enamel for orthodontic use: tensile bond strength and surface modification. *Dent Mater J* 2006; 22: 397-403.
76. Özer T, BaSaran G, Berk N. Laser etching of enamel for orthodontic bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 193-197.

77. Toledano M, Osorio R, Osorio E, Romeo A, Higuera BDL, Garcia-Godoy F. Bond strength of orthodontic brackets using different light and self-curing cements. *Angle Orthod* 2003; 73: 53-63.
78. Movahhed HZ, Øgaard B, Syverud M. An in vitro comparison of the shear bond strength of a resin-reinforced glass ionomer cement and a composite adhesive for bonding orthodontic brackets. *Eur J Orthod* 2005; 25: 477-483.
79. Cook PA, Luther F, Youngson CC. An in vitro study of the bond strength of light-cured glass ionomer cement in the bonding of orthodontic brackets. *Eur J Orthod* 1996; 18: 199-204.
80. Shammaa I, Ngan P, Kim H, et al. Comparison of bracket debonding force between two conventional resin adhesives and a resin-reinforced glass ionomer cement: an in vitro and in vivo study. *Angle Orthod* 1999; 69: 463-469.
81. Bishara SE, VonWald L, Laffoon JF, Jakobsen JR. Effect of changing enamel conditioner concentration on the shear bond strength of a resin-modified glass ionomer adhesive. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118: 311-316.
82. Büyükyilmaz T, Zachrisson BU. Improved orthodontic bonding to silver amalgam. Part 2. lathe-cut, admixed, and spherical amalgams with different intermediate resins. *Angle Orthod* 1998; 68: 337-344.
83. Zachrisson BU. Orthodontic bonding to artificial tooth surfaces: clinical versus laboratory findings. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 117: 592-594.
84. Zachrisson BU, Büyükyilmaz T, Zachrisson YØ. Improving orthodontic bonding to silver amalgam. *Angle Orthod* 1995; 65: 35-42.
85. Sperber RL, Watson PA, Rossouw PE, Sectakof PA. Adhesion of bonded orthodontic attachments to dental amalgam: in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 116: 506-513.
86. Vaidyanathan TK. Principles of metallurgy and prosthodontic alloys. In: Dhuru VB, ed: *Contemporary dental materials*. New Delhi: Oxford University Press; 2004: 111-125.
87. Zachrisson BU, Büyükyilmaz T. Recent advances in bonding to gold, amalgam and porcelain. *J Clin Orthod* 1993; 27: 661-675.
88. Zachrisson BU, Büyükyilmaz T. Bonding in Orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL, ed: *Orthodontics: Current principles and techniques*, 5th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2012: 727-784.
89. Khajotia SS. Dental porcelains and ceramics. In: Dhuru VB, ed: *Contemporary dental materials*. New Delhi: Oxford University Press; 2004: 148-158.
90. Hämmerle C, Sailer I, Thoma A, Hälg G, Suter A, Ramel C. *Dental ceramics: Essential aspects for clinical practice*. London: Quintessence Publishing Co Ltd; 2008: 1-12.
91. Sirabanchongkran S, Viwattanatipa N, Kitsahawong S, Jantavee N. Shear/peel bond strength of orthodontic brackets bonded to commonly used porcelains by various surface treatments: an in vitro study. Master of Science (Orthodontics). Khonkaen University, 2002.
92. Schmage P, Nergiz I, Herrmann W, Özcan M. Influence of various surface-conditioning methods on the bond strength of metal brackets to ceramic surfaces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 123: 540-546.

93. Karan S, Büyükyilmaz T, Toroğlu MS. Orthodontic bonding to several ceramic surfaces: are there acceptable alternatives to conventional methods? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 144.e7-144.e14.
94. Wang C, Zeng J, Wang S, Yang Z, Huang Q, Chen P, et al. Influence of surface treatments on the shear bond strength of orthodontic brackets to porcelain. *Applied Surface Sci* 2008; 225: 416-418.
95. Falkensammer F, Freudenthaler J, Pseiner B, Bantleon HP. Influence of surface conditioning on ceramic microstructure and bracket adhesion. *Eur J Orthod* 2012; 34: 498-504.
96. Sadoun M, Asmussen E. Bonding of resin cements to an aluminous ceramic: a new surface treatment. *Dent Mater* 1994; 10: 185-189.
97. Al-Eldris A, Al-Jabr A, Cooly RL, Barghi N. SEM evaluation of etch patterns by three etchants on three porcelains. *J Prosthet Dent* 1990; 64: 734-739.
98. Kao EC, Eliades T, Rezvan E, Johnston WM. Torsional bond strength and failure patterns of ceramic brackets bonded to composite resin laminate veneers. *Eur J Orthod* 1995; 17: 533-540.
99. Klocke A, Shi J, Kahl-Nieke B, Bismayer U. Bond strength with custom base indirect bonding techniques. *Angle Orthod* 2003; 73: 176-180.
100. Shiau JY, Rasmussen ST, Phelps AE, Enlow DH, Wolf GR. Analysis of the "shear" bond strength of pretreated aged composites used in some indirect bonding techniques. *J Dent Res* 1993; 72: 1291-1297.
101. Viwattanatipa N, Jermwiwatkul W, Chintavalakorn R, Kanchanasavita W. Weibull analysis of bond strength of orthodontic buccal tubes bonded to resin composite surface with various techniques. *Orthod Waves* 2010; 69: 66-74.
102. Soderholm KJ. Flexure strength of repaired dental composites. *Scand J Dent Res* 1986; 94: 364-369.
103. Papazoglou E. Bonding to non-conventional surfaces. In: Brantley WA, Eliades T, ed: *Orthodontic materials: Scientific and clinical aspects*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2001: 253-270.
104. Papazoglou E, Vasilas AI. Shear bond strengths for composite and autopolymerized acrylic resins bonded to acrylic resin denture teeth. *J Prosthet Dent* 1999; 82: 573-578.
105. Blakey R, Mah J. Effects of surface conditioning on the shear bond strength of orthodontic brackets bonded to temporary polycarbonate crowns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 72-78.