

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนสีของฟันไม่มีชีวิต

การเปลี่ยนสีของฟันไม่มีชีวิต อาจเกิดได้จากส่วนประกอบของเลือดที่เข้าไปอยู่ในหลอดฝอยในเนื้อฟัน (dentinal tubule) จากการบาดเจ็บ (trauma) หรือการดึงเนื้อเยื่อในออก (pulp extirpation) ไม่หมด (Arens, 1989, pp. 319-336) การย่อยสลายของเลือด (haemolysis) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ เช่น ฮีโมซิเดอริน (haemosiderin) ฮีมิน (haemin) ฮีมาติน (haematin) และฮีมาโตอิดิน (haematoidin) ซึ่งจะเกิดเหล็ก (iron) ระหว่างการย่อยสลาย (Guldener and Langeland, 1993, unpaginated as cited in Attin et al., 2003, pp. 313-329) และแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนเหล็กให้กลายเป็นเฟอร์ริกซัลไฟด์ (ferric sulfide) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสีเทาบนตัวฟัน นอกจากนี้ การเปลี่ยนสีของฟันอาจเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนของเนื้อเยื่อในฟันที่ตาย (necrotic pulp tissue) เกิดจากวัสดุอุดคลองรากฟันบางชนิด เช่น ซีลเลอร์ (sealer) (van der Burgt and Plasschaert, 1985, pp. 666-669) เมทัลลิกไอออน (metallic ion) ของแท่งเงิน (silver cone) อะมัลกัม หรือยาเทตระไซคลิน (tetracycline) (Kim, Abbott, and McGinley, 2000, pp. 227-232)

การฟอกสีฟันในฟันที่ไม่มีชีวิต

การฟอกสีฟันในฟันที่ไม่มีชีวิตเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการทำให้ฟันขาวขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันหน้าที่มีการเปลี่ยนสีภายหลังการรักษาคคลองรากฟันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ปฏิบัติได้ง่าย มีราคาถูก และไม่สูญเสียเนื้อฟันเมื่อเปรียบเทียบกับในการทำครอบฟัน (crown) การทำเคลือบฟันเทียม หรือ การทำวีเนียร์ (facing or Veneer)

การฟอกสีฟันในฟันที่ไม่มีชีวิตที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ การฟอกสีฟันแบบวอลต์คิง การฟอกสีฟันแบบเพาเวอร์ (power bleaching, thermo/photo bleaching) และการฟอกสีฟันแบบอินไซด์เอาต์ไซด์ (inside/outside bleaching)

การฟอกสีฟันแบบวอลต์คิง คือ การฟอกสีฟันโดยใส่สารฟอกสีในโพรงเนื้อเยื่อในแล้วปิดทับด้วยวัสดุอุดชั่วคราว และเปลี่ยนสารฟอกสีทุก 3-7 วัน โดยปกติวิธีนี้จะเห็นผลหลังจากฟอกสีไปแล้ว 2-4 ครั้ง แต่ก็ขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนสีของฟันด้วย (Attin et al., 2003, pp.

313-329) การฟอกสีฟันแบบวอล์คคิงเป็นวิธีที่นิยมเนื่องจากประหยัดเวลา ค่าใช้จ่าย และมีความสะดวกสบายต่อผู้ป่วย (Spasser, 1961, pp. 332-334)

การฟอกสีฟันแบบเพาเวอร์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกสีโดยใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น (thermocatalytic) โดยใส่สารฟอกสีในโพรงเนื้อเยื่อใน ซึ่งโดยทั่วไปใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30-35 จากนั้นทำให้เกิดความร้อน ด้วยการใช้เครื่องกำเนิดความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heating device) แต่วิธีนี้อาจทำให้เกิดการละลายของรากฟันบริเวณคอฟันด้านนอก (external cervical root resorption) เนื่องจากสารฟอกสีซึมผ่านออกไปแล้วมีผลระคายเคืองต่อเคลือบรากฟัน (cementum) และเอ็นยึดปริทันต์ (periodontal ligament) (Madison and Walton, 1990, pp. 570-574; Rotstein, et al., 1991, pp. 436-441) นอกจากนี้ยังมีการใช้แสงอัลตราไวโอเลต กระตุ้นให้สารฟอกสีปลดปล่อยออกซิเจนเช่นเดียวกับการใช้ความร้อน (Lin, Pitts, and Burgess, 1988, pp. 293-299)

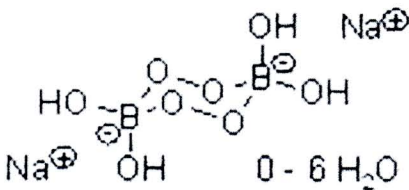
การฟอกสีฟันแบบอินไซด์เอาต์ไซด์ เป็นเทคนิคที่นำเสนอโดย Settembrini และคณะ (Settembrini, et al., 1997, pp. 1283-1284) ต่อมาในปีเดียวกัน Liebenberg (Liebenberg, 1997, pp. 771-777) นำเสนอวิธีการฟอกสีฟันโดยใช้หลักการเดียวกันแต่ตั้งชื่อว่าเป็นเทคนิคดัดแปลงวอล์คคิง (modified walking bleaching) การฟอกสีฟันแบบอินไซด์เอาต์ไซด์ เป็นการใช้คาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์เจล (carbamide peroxide gel) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ซึ่งเป็นน้ำยาใช้ในการฟอกสีฟันที่มีชีวิตที่ให้ผู้ป่วยกลับไปทำการฟอกสีที่บ้าน (home bleaching) มาทำการฟอกสีฟันที่ไม่มีชีวิตโดยใช้คาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์เจลใส่ในถาดฟอกสีฟันและโพรงเนื้อเยื่อในเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกสี

สารฟอกสีฟัน (bleaching agents)

สารฟอกสีในฟันไม่มีชีวิตเริ่มคิดค้นขึ้นเมื่อศตวรรษที่ 19 โดยสารฟอกสีชนิดแรกที่แนะนำคือ ปูนคลอรีน (chlorinated lime) (Dwinelle, 1850, pp. 57-61 as cited in Plotino, et al., 2008, pp. 394-407) ต่อมามีการใช้กรดออกซาลิก (oxalic acid) (Bogue, 1872, pp. 1-3) และสารอื่นๆ เช่น สารประกอบคลอรีน (chlorine compound) สารละลายคลอรีน (chlorine solutions) (Taft, 1878, pp. 364-366 as cited in Attin, et al., 2003, pp. 313-329) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (sodium peroxide) (Kirk, 1893, pp. 1265-1267 as cited in Attin, et al., 2003, pp. 313-329) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite) (Messing, 1971, pp. 84-85) ส่วนผสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 25 และอีเทอร์ (ether) หรือไพโรโซน (pyrozone) ร้อยละ 75

(Atkinson, 1892, pp. 968-972 as cited in Attin, et al., 2003, pp. 313-329) ต่อมา มีการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 มาเป็นสารฟอกสีฟัน (Abbot, 1918, p. 259 as cited in Attin, et al., 2003, pp. 313-329) และมีการแนะนำการฟอกสีฟันแบบวอล์คกิงเป็นครั้งแรก โดยใช้ไฮเดียมเปอร์บอเรตผสมกับน้ำกลั่นโดย Marsh และตีพิมพ์โดย Salvas (Salvas, 1938, pp. 324-327) ต่อมาเทคนิคนี้ได้ถูกดัดแปลง โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 หรือ 30 แทนน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการฟอกสี (Nutting and Poe, 1967, pp. 655-662 as cited in Attin, et al., 2003, pp. 313-329; Boksman, Jordan, and Skinner, 1983, pp. 149-152) ซึ่งการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีความเสี่ยงต่อการเกิดการละลายของคอฟัน (cervical resorption) (Friedman, et al., 1988, pp. 23-26) นอกจากนี้ ได้มีการนำคาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์เจลมาใช้ฟอกสีฟันแบบวอล์คกิง ซึ่งเมื่อแตกตัวจะได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 35 (Scientific Committee on Consumer Products, 2005) เช่น คาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 จะได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 7.5 (Whiteteethsolution, n.d.) การฟอกสีฟันในฟันไม่มีชีวิตในปัจจุบันนิยมใช้วิธีแบบวอล์คกิงโดยใช้ไฮเดียมเปอร์บอเรตผสมกับน้ำหรือผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ถึง 30 ในกรณีที่ฟันเปลี่ยนสีมาก แต่ไม่ควรใช้เป็นกิจวัตร โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 (Rotstein, 2002, p. 851)

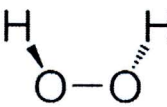
ไฮเดียมเปอร์บอเรต เป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) มีลักษณะเป็นสารประกอบเคมีสีขาว ไร้กลิ่น ละลายน้ำได้ สูตรเคมีคือ NaBO_3 เป็นผลึกที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สูตรทั่วไปคือ $\text{NaBO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n:1-4$) ได้แก่ โมโนไฮเดรต (monohydrate; $\text{NaBO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) เตตระไฮเดรต (tetrahydrate; $\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) และไตรไฮเดรต (trihydrate; $\text{NaBO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) โมโนไฮเดรตและเตตระไฮเดรตเป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด ไฮเดียมเปอร์บอเรตผสมกับน้ำจะสลายตัวได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับบอเรตอย่างช้าๆ โดยแตกตัวได้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณร้อยละ 9 (Shinohara et al., 2005, pp. 22-29) และเมื่อนำไฮเดียมเปอร์บอเรตผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้ คือ ร้อยละ 17.45



ภาพ 1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมเปอร์บอเรต

ที่มา: Wikipedia, n.d.

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดซ์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีความหนืดมากกว่าน้ำเล็กน้อย สูตรเคมีคือ H_2O_2 เป็นสารไม่คงตัว ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH value) เท่ากับ 1.7 (Chng, Palamara and Messer, 2002, pp. 62-67)



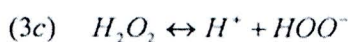
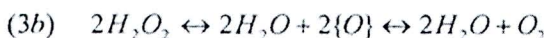
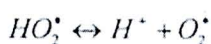
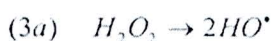
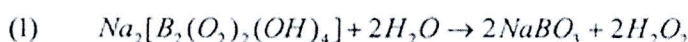
ภาพ 2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ที่มา: Wikipedia, n.d.

กลไกการออกฤทธิ์ของสารฟอกสี

วัสดุกลุ่มที่เป็นที่ยอมรับผลการรักษาทางคลินิกในการฟอกสีฟัน เป็นวัสดุที่มีสารเคมีพื้นฐานเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบ (Greenwall, 2001, pp. 31-48) ซึ่งได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3-30 (Rotstein, 2002, p. 851) โซเดียมเปอร์บอเรต และคาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10-37 โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถแทรกซึมผ่านเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ และแตกตัวได้อนุมูลอิสระ (free radicals) หรือไอออน (ion) ได้แก่ hydroxyl radicals, perhydroxyl radicals, superoxide anions และ hydrogen peroxide anions (ภาพ 3) โดยชนิดของอนุมูลอิสระหรือไอออนที่เกิดขึ้นนั้นแตกต่างกัน

ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง แสง (light influence) อุณหภูมิ (temperature) ความคงตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา (existence of co-catalysts) (Feinman, Madray and Yarborough, 1991, pp. 32-37) อนุมูลอิสระที่มีความไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันสูง ส่งผลให้เกิดคุณสมบัติการฟอกสี โดยทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสีในพื้น (chromophore structure) โดยไปแตกพันธะเคมีในโมเลกุลของสีในพื้น ให้โมเลกุลของสีมีความซับซ้อนลดลง เป็นผลให้มีการดูดกลืนพลังงานแสงลดลง และสะท้อนแสงลดลง เป็นผลให้พื้นขาวขึ้น (Abbott, 1997, pp. 833-840)



ภาพ 3 แสดงปฏิกิริยาการแตกตัวของสารฟอกสีพื้น

- หมายเหตุ: (1) แสดงการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์
 (2) แสดงการแตกตัวของคาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์เป็นไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์
 (3a) ไฮดรอกซิลเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนแปลงไปเป็นอนุมูลอิสระ เช่น hydroxyl radicals, perhydroxyl radicals และ superoxide anions
 (3b) reactive oxygen molecules ไม่เสถียรและเปลี่ยนไปเป็นออกซิเจน
 (3c) reactive oxygen molecules ไม่เสถียรและเปลี่ยนไปเป็น hydrogen peroxide anions

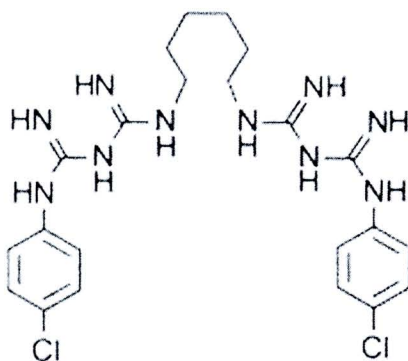
ที่มา: Dahl and Pallesen, 2003, pp. 292-304

การรั่วซึมของวัสดุอุดชั่วคราวระหว่างการฟอกสีฟันแบบวอล์คคิง

เมื่อโซเดียมเปอร์บอเรตแตกตัวจะเกิดโซเดียมเมตาบอเรต (sodium metaborate) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ขณะเดียวกันก็จะปลดปล่อยออกซิเจน (Ari and Ungor, 2002, pp. 433-436; Dahl and Pallesen, 2003, pp. 292-304) ดังแสดงในภาพ 3a ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นมีผลเพิ่มความดันในโพรงเนื้อเยื่อใน ส่งผลให้วัสดุอุดชั่วคราวหลวมหรือหลุด น้ำลายและแบคทีเรียจึงแทรกซึมเข้าไปในโพรงเนื้อเยื่อในได้ มีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการรั่วซึม (sealing capacity) ของวัสดุอุดชั่วคราวชนิดต่างๆ ในการฟอกสีฟันแบบวอล์คคิง พบว่ามีการแทรกซึมของสีเข้าสู่โพรงเนื้อเยื่อในได้ในทุกกลุ่มตัวอย่าง (Hosoya, et al., 2000, pp. 716-718) และมีผู้ศึกษาความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของวัสดุอุดชั่วคราวซึ่งมีชื่อการค้าคือเทอร์ม (TERM) ที่เป็นสารยูรีเทนไดเมทาโครเลทโพลีเมอร์ (urethane dimethacrylate polymers) ซึ่งปกติสามารถป้องกันการรั่วซึมได้ดี (Bobotis, et al., 1989, pp. 569-572; Deveaux, et al., 1992, pp. 634-643) แต่เมื่อใช้เป็นวัสดุอุดชั่วคราวกรณีใช้การฟอกสีฟันแบบวอล์คคิง ซึ่งมีโซเดียมเปอร์บอเรตผสมกับน้ำหรือผสมกับซูปเปอร์ออกซอล พบว่ากลุ่มที่ใช้การฟอกสีฟันแบบวอล์คคิงมีการรั่วซึมมากกว่ากลุ่มควบคุม (ก้อนสำลี) อย่างมีนัยสำคัญ (Waite, Carnes, and Walker, 1998, pp. 648-650) จึงอาจกล่าวได้ว่าการฟอกสีฟันแบบวอล์คคิงร่วมกับวัสดุอุดชั่วคราวประเภทใดก็ตาม ล้วนแล้วแต่เสี่ยงต่อการรั่วซึมของน้ำลายและเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่โพรงเนื้อเยื่อใน และอาจแทรกซึมสู่วัสดุอุดคลองรากฟัน ส่งผลทำให้เกิดพยาธิสภาพบริเวณเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟันขึ้นได้ ในที่สุด ได้มีการนำเจลคลอเฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 มาผสมกับโซเดียมเปอร์บอเรตแทนการใช้น้ำ เพื่อช่วยป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรียในช่องปากเข้าสู่วัสดุอุดคลองรากฟันระหว่างการฟอกสีฟัน (Oliveira, et al., 2006, pp. 672-674) เนื่องจากคลอเฮกซิดีนมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

คลอเฮกซิดีน

คลอเฮกซิดีน เป็นสารประกอบของ chlorophenyl bisbiquanide ที่มีโมเลกุลเป็นประจุบวกมีลักษณะโมเลกุลที่สมมาตรกัน มีสูตรทางเคมีคือ $C_{22}H_{30}Cl_2N_{10}$ คลอเฮกซิดีนมีฤทธิ์เป็นด่าง และอยู่ในสภาพคงที่เมื่ออยู่ในรูปเกล็ด เมื่อนำมาใช้งานด้านทันตกรรมมักเตรียมให้อยู่ในรูปคลอเฮกซิดีนไดกลูโคเนต (chlorhexidine digluconate) ที่สามารถละลายน้ำได้ และมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 7.0 (Santos, et al., 2006, pp. 1088-1090)



ภาพ 4 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของคลอเฮกซิดีน

ที่มา: Answers.com, n.d.

คลอเฮกซิดีนมีการค้นพบครั้งแรกตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษที่ 1940 โดยพบว่าคลอเฮกซิดีนมีคุณสมบัติต้านต่อจุลชีพได้ และถูกนำมาใช้ทางการแพทย์ ในโรคเกี่ยวกับนรีเวชวิทยา (gynecology) โรคระบบทางเดินปัสสาวะ (urology) โรคเกี่ยวกับตา (ophthalmology) รักษาแผลไฟไหม้ และการฆ่าเชื้อบริเวณผิวหนัง (Fardal and Turnbull, 1986, pp. 863–869)

คลอเฮกซิดีนถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมเริ่มตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1960 ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำคลอเฮกซิดีนมาใช้ในการต่าง ๆ เช่น เป็นน้ำยากำจัดเชื้อบริเวณมือของผู้ปฏิบัติงาน บริเวณที่ผ่าตัดทั้งภายในและภายนอกช่องปาก ในงานทันตกรรมป้องกันเพื่อป้องกันฟันผุ ในงานปริทันต์ (Greenstein, Bermat and Jaffint, 1986, pp. 370-376) โดยใช้เป็น น้ำยาล้างปาก น้ำยาล้างภายในปากเฉพาะที่ (oral irrigator) โดยใช้คลอเฮกซิดีนล้างบริเวณด้านข้างและใต้เหงือก เพื่อลดคราบจุลินทรีย์ แผ่นคราบจุลินทรีย์ใต้เหงือกและร่องลึกปริทันต์ ในงานรักษาคลองรากฟัน คลอเฮกซิดีนถูกนำมาใช้เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟัน ยาใส่ภายในคลองรากฟัน และอื่นๆ เช่น ใช้ผสมกับซีเมนต์ที่ใช้ยึดเดือยฟันกับฟันไว้ด้วยกัน (Hiraishi, et al., 2010, pp. 134-140) หรือ ใช้ผสมกับ ProRoot® mineral trioxide aggregate (Hernandez, et al., 2005, pp. 137–143) และในงานศัลยศาสตร์ช่องปาก เพื่อควบคุมการเกิดแผ่นคราบจุลินทรีย์ ในผู้ป่วยหลังถอนฟัน โดยคลอเฮกซิดีน สามารถป้องกันการติดเชื้อหลังการถอนฟัน (Jokinen, 1978, pp. 450-452) หรือ ลดการเกิด dry socket ได้เมื่อใช้คลอเฮกซิดีน อมบ้วนปากวันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 5 วันหลังถอนฟัน (Tjernberg, 1979, pp. 430-434)

อย่างไรก็ตามคลอเฮกซิดีนมีข้อด้อยคือทำให้เกิดการติดสีน้ำตาลที่ตัวฟัน ฟันปลอม และวัสดุบูรณะฟันที่เป็นพลาสติกหรือพอร์ซิเลนได้ การรับรสที่ผิดไป ทำให้เกิดการรับรสน้อยลง

(hypogeusia) และความรู้สึกต่อรสเลื่อม (dysgeusia) เนื้อเยื่อภายในช่องปากเกิดการหลุดลอก และการติดของเชื้อแบคทีเรียบางสายพันธุ์ (Gjermeo, 1974, pp. 143–152; Fardal and Turnbull, 1986, pp. 863–869)

คลอเฮกซิดีนมีโมเลกุลประจุบวก ที่สามารถจับกับประจุลบบนผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีผลเกิดการเปลี่ยนแปลงความสมดุลภายในเซลล์และเกิดการรั่วซึมของสารภายในเซลล์แบคทีเรียได้ สามารถออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบบยับยั้ง (bacteriostasis) และแบบทำลาย (bactericidal) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ณ ความเข้มข้นต่ำ คลอเฮกซิดีนมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบบยับยั้ง โดยทำให้สารที่มีโมเลกุลเล็กๆ โดยเฉพาะโปแตสเซียมและฟอสฟอรัสรั่วซึมออกภายนอกเซลล์ ในขณะที่ความเข้มข้นสูงคลอเฮกซิดีนมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบบทำลาย โดยคลอเฮกซิดีนดูดซึมเข้าผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย เกิดการทำลายการซึมผ่านของชั้น barriers บนผนังเซลล์ ทำให้คลอเฮกซิดีนสามารถผ่านเข้าไปสู่ชั้นไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ได้ ทำให้เกิดการตกตะกอนของไซโตพลาสซึม และยับยั้งการซ่อมแซมของผนังเซลล์ (Greenstein, Bermat and Jaffint, 1986, pp. 370–376; Davies, 1973, pp. 68–75)

คลอเฮกซิดีนมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อแบบกว้าง (broad-spectrum) โดยสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มกรัมบวก กรัมนลบ และยีสต์ได้ การศึกษาของ Hennessey ในปีค.ศ. 1973 รายงานว่าคลอเฮกซิดีนออกฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรียในกลุ่มกรัมบวกดีกว่ากรัมนลบ และทำลายเชื้อกลุ่ม *Streptococci* ดีกว่ากลุ่ม *Staphylococci* (Hennessey, 1973, pp. 61–67) ต่อมา มีการศึกษาถึงการออกฤทธิ์ของคลอเฮกซิดีนต่อเชื้อราและพบว่าคลอเฮกซิดีนมีผลในการทำลายเชื้อ *Candida albicans* ทั้งการศึกษาใน vivo (Spiechowicz, et al., 1990, pp. 35–40) และ vitro (Vianna, et al., 2004, pp. 79–84)

คลอเฮกซิดีนถูกนำมาใช้เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันเนื่องจากมีคุณสมบัติ ในการต้านจุลชีพ (antimicrobial activity) สามารถออกฤทธิ์ได้นาน (substantivity) โดยพบว่าน้ำยาคลอเฮกซิดีนสามารถดูดซึมเข้าสู่ชั้นเนื้อฟัน ไฮดรอกซีอะพาไทท์ เฟลลิเคล ไกลโคโปรตีนในน้ำลายหรือเนื้อเยื่อในช่องปาก และจะค่อยๆ ปล่อยคลอเฮกซิดีนออกมาเมื่อมีความเข้มข้นลดลง (Rolla, Loe, and Schiott, 1970, pp. 90–95) มีความเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) มีความเป็นพิษน้อย (Yesilsoy, et al., 1995, pp. 513–515; Oncag, et al., 2003, pp. 423–432) และมีความสามารถในการทำความสะอาดในคลองรากฟัน (cleaning ability) (Ferraz, et al., 2001, pp. 452–455)

การนำคลอเฮกซิดีนมาใช้เป็นกระสายยาสำหรับการฟอกสีฟัน เพื่อหวังผลในการป้องกันการปนเปื้อนเชื้อนั้น เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการฟอกสีฟัน พบว่าเมื่อใช้โซเดียมเปอร์บอเรตผสมเจลคลอเฮกซิดีนกลูโคเนตความเข้มข้นร้อยละ 2 ไม่แตกต่างจากการฟอกสีด้วยโซเดียมเปอร์บอเรตผสมคาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 37 หรือผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 หลังจากฟอกสี 3 สัปดาห์ เนื่องจากคลอเฮกซิดีนไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการฟอกสีของสารฟอกสีลดลง (Oliveira, et al., 2006, pp. 672-674)

ผลของสารฟอกสีต่อเนื้อฟัน

สารฟอกสีอาจมีผลต่อโครงสร้างของเนื้อฟัน โดยเข้าไปเปลี่ยนแปลงหรือทำลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของเนื้อฟัน การทำลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้จากกระบวนการโปรตีนออกซิเดชัน (protein oxidation) (Rotstein, et al., 1991, pp. 436-441) หรือการทำลายสภาพธรรมชาติของคอลลาเจน (collagen denaturation) (Lewinstein, et al., 1994, pp. 61-63) และการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหรือโครงสร้างของสารอินทรีย์ของฟันโดยทั่วไปสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแคลเซียมและฟอสเฟตของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Rotstein, et al., 1996, pp. 23-25; Rotstein, Lehr, and Gedalia, 1992, pp. 290-293) โดยความเป็นกรดทำให้เกิดการสลายแร่ธาตุ (acidic demineralization) (Lewinstein, et al., 1994, pp. 61-63) มีรายงานพบการสูญเสียแคลเซียมของเนื้อฟันและเคลือบรากฟัน จากการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 อย่างเดียวหรือผสมกับโซเดียมเปอร์บอเรต พบว่ามีการสูญเสียแคลเซียมมากกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 และมากกว่าโซเดียมเปอร์บอเรตผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 หรือน้ำกลั่น (Rotstein, Lehr and Gedalia, 1992, pp. 290-293)

มีหลายการศึกษาพบว่าทำให้ความร้อน การขาดการฉนึกบริเวณคอฟัน (lack of a cervical seal) และการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีความสัมพันธ์กับการเกิดการละลายของคอฟัน (Cvek and Lindvall, 1985, pp. 56-60; Friedman, 1997, pp. 51-55) และพบว่าการใช้โซเดียมเปอร์บอเรตผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 แทนความเข้มข้นร้อยละ 30 สามารถลดการละลายของเนื้อฟันและเคลือบรากฟันได้ 10 ถึง 12 เท่า (Rotstein, Lehr and Gedalia, 1992, pp. 290-293) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อฟันนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการซึมผ่านของเนื้อฟัน (dentin permeability) ภายหลังจากการฟอกสีอาจนำไปสู่การปนเปื้อนของแบคทีเรียของเนื้อฟัน ซึ่งอาจจะเหนี่ยวนำให้เกิดการ

ละลายของผิวรากฟันได้ (external root resorption) (Cvek and Lindvall, 1985, pp. 56-60) สนับสนุนโดยการศึกษาค้นคว้าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเนื้อฟันต่อเชื้อ *Streptococcus Faecalis* เกิดได้มากกว่าไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมกับน้ำ (Heling, Person and Rotstein, 1995, pp. 540-542)

การศึกษาการลดความแข็งแรงระดับจุลภาคของเนื้อฟันภายหลังการฟอกสีฟันกรณีฟันตาย พบว่าการฟอกสีฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมน้ำหรือผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ลดความแข็งแรงผิวเนื้อฟันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ลดความแข็งแรงระดับจุลภาคปานกลาง ส่วนการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ลดความแข็งแรงผิวเนื้อฟันมากที่สุด (Pécora, et al., 1994, pp. 129-134) Lewinstein และคณะพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ลดความแข็งแรงระดับจุลภาค (surface microhardness) ทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟัน โดยในเนื้อฟันพบภายหลังสัมผัสกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 เป็นเวลา 5 นาทีและในเคลือบฟัน 15 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิ 37 และ 50 องศาเซลเซียส ลดความแข็งแรงระดับจุลภาค ของผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน แต่เมื่อผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 กับไฮโดรเจนเปอร์บอเรตพบว่าไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงระดับจุลภาค ณ อุณหภูมิที่เท่ากัน (Lewinstein, et al., 1994, pp. 61-63) นั่นอาจเป็นเพราะว่าค่า pH ของส่วนผสมทั้งสองเป็นเพียงกรดอ่อนๆ (pH 6.5) ในขณะที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 อย่างเดียวมีความเป็นกรดแก่ (pH 1.7) จึงมีผลต่อผิวฟันมาก (Chng, Palamara and Messer, 2002, pp. 62-67) Oliveira และคณะพบว่าไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ลดความแข็งแรงระดับจุลภาคมากที่สุด รองลงมาคือ คาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์ผสมคลอเฮกซิดีนหรือคาร์บาไมด์เปอร์ออกไซด์อย่างเดียว และพบว่าไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมคลอเฮกซิดีนลดความแข็งแรงระดับจุลภาคไม่ต่างจากไฮโดรเจนเปอร์บอเรตผสมน้ำ (Oliveira, et al., 2007, pp. 460-462)

เนื้อฟัน

ส่วนประกอบของเนื้อฟันเมื่อแยกตามน้ำหนักโดยทั่วไปประกอบด้วยสารอินทรีย์ร้อยละ 70 สารอินทรีย์ร้อยละ 18 และน้ำร้อยละ 12 แต่เนื่องจากเนื้อฟันมีการสะสมแร่ธาตุ (mineralization) ตลอดช่วงชีวิตทำให้ส่วนประกอบอาจมีความแตกต่างกันตามอายุของฟันแต่ละซี่ ซึ่งถ้าพิจารณาส่วนประกอบโดยปริมาตรแล้วจะพบว่าสัดส่วนของน้ำและสารอินทรีย์จะมากกว่า



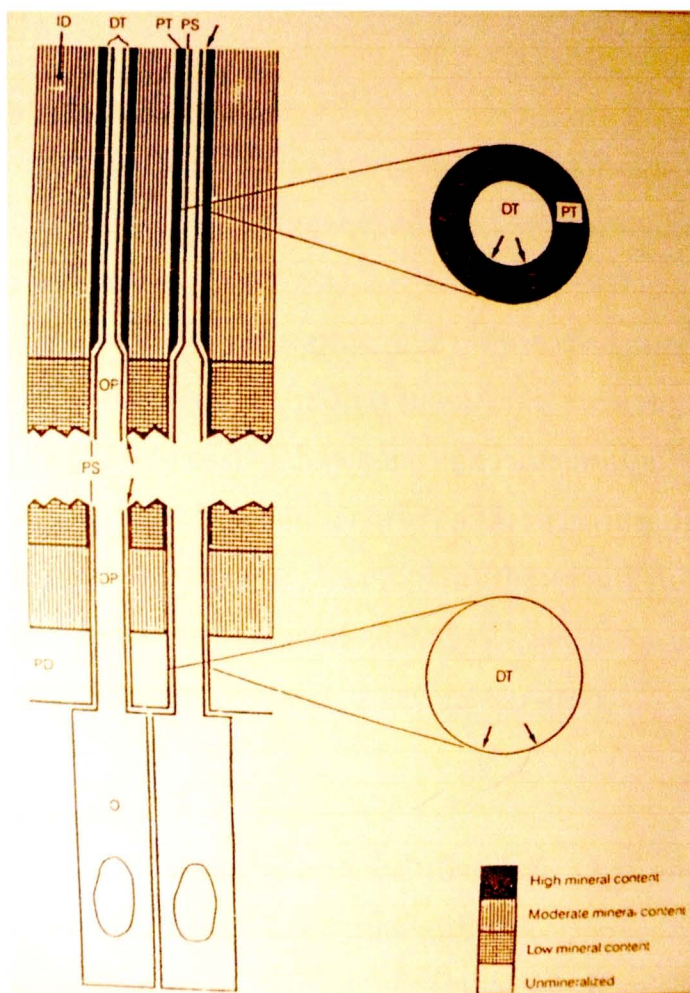
สารอินทรีย์ โดยมีส่วนประกอบของสาร ดังนี้ (Mjor and Fejerskov, 1986, pp. 90-101)

สารอินทรีย์ มีส่วนประกอบหลักเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งคล้ายกับเนื้อเยื่อที่มีการสะสมของแร่ธาตุอื่นๆ โดยเล็กที่สุดหนึ่งหน่วยมีสูตรโครงสร้าง คือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ส่วนแคลเซียมฟอสเฟตในรูปอื่นๆ ก็อาจพบได้ ซึ่งจะพบในเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างใหม่มากกว่าเนื้อเยื่อที่มีการเจริญเต็มที่แล้ว โดยลักษณะของผลึกจะเกิดจากไฮดรอกซีอะพาไทต์แต่ละหน่วยมารวมกันซึ่งมีลักษณะเป็นรูปจาน หรือเมื่อดูที่ขอบจะมีลักษณะคล้ายเข็ม แต่ละผลึกมีความยาวได้ถึง 20 นาโนเมตร ความหนาได้ถึง 305 นาโนเมตร ในขณะที่มีความกว้างเพียงเล็กน้อย โดยจะมีขนาดของผลึกเล็กกว่าผลึกของเคลือบฟัน และมีขนาดใกล้เคียงกับผลึกของกระดูกและเคลือบรากฟัน ส่วนสารอื่นๆ ทองแดง สังกะสี หรือเหล็ก เป็นต้น

สารอินทรีย์ ส่วนประกอบหลัก คือ คอลลาเจน นอกจากนี้ยังพบสารจำพวกไขมัน, glycosaminoglycans, unidentified protein compound และกรดซิตริก เป็นต้น

โครงสร้างของเนื้อฟัน ประกอบไปด้วย (1) เซลล์โอโดนต์โอบลาสต์ (odontoblast cell) เป็นเซลล์พิเศษที่อยู่ในโพรงประสาทฟัน ซึ่งมี cytoplasmic process ที่ทอดยาวอยู่ในหลอดฝอยในเนื้อฟัน ซึ่งตำแหน่งของ process มีการสิ้นสุดที่ไม่แน่นอน (2) หลอดฝอยในเนื้อฟัน เป็นโครงสร้างลักษณะหลอดฝอยในเนื้อฟันตลอดความหนาของเนื้อฟัน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางและปริมาตรของหลอดฝอยแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับอายุและตำแหน่งของเนื้อฟัน ในเนื้อฟันที่สร้างเสร็จใหม่จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-3 ไมครอน ส่วนปริมาณหลอดฝอยที่ใกล้โพรงเนื้อเยื่อในฟันมีจำนวน 45,000 หลอดฝอยต่อมม.² 30,000 หลอดฝอยต่อมม.² บริเวณกลางเนื้อฟัน และลดลงน้อยที่สุดบริเวณที่ใกล้กับเคลือบฟัน 20,000 หลอดฝอยต่อมม.² (3) periodontoblastic space เป็นพื้นที่ระหว่างผนังของหลอดฝอยและ odontoblastic process ซึ่งเป็นพื้นที่ที่บรรจุของเหลวและสารอินทรีย์ปริมาณเล็กน้อย เช่น คอลลาเจน (4) peritubular และ intertubular dentin เป็นเนื้อเยื่อที่มีการสะสมของเกลือแร่ โดยส่วนของ peritubular dentin เป็นส่วนเนื้อฟันที่ล้อมรอบหลอดฝอยในเนื้อฟันที่มีปริมาณเกลือแร่สูง โดยในพื้นที่ชั้นใหม่หรือเนื้อฟันที่อยู่ใกล้กับโพรงเนื้อเยื่อในฟันจะมีเนื้อฟันส่วนนี้อยู่ในปริมาณต่ำ โดยภายหลังจากการสะสมของเกลือแร่อย่างสมบูรณ์จะทำให้มีสารอินทรีย์เพียงเล็กน้อย ส่วนที่อยู่ระหว่าง peritubular dentin จะเป็นส่วนของ intertubular dentin ซึ่งส่วนประกอบหลักจะเต็มไปด้วยเส้นใยคอลลาเจนและมีการสะสมของแร่ธาตุในปริมาณที่น้อยกว่า peritubular dentin (5) lamina limitans เป็นชั้นของสารอินทรีย์บางๆ ที่มีการสะสมของเกลือแร่ในปริมาณที่ต่ำ ภายในหลอดฝอยในเนื้อฟัน มีปริมาณ glycosaminoglycans ที่สูงจึงเชื่อว่าเป็นสิ่งที่สำคัญในการควบคุมหรือยับยั้งการสะสมของเกลือแร่ภายในหลอดฝอยในเนื้อฟัน และ (6)

predentin เป็นชั้นเนื้อฟันที่ยังไม่มีการสะสมของเกลือแร่ กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน พบระหว่างชั้นเซลล์ไอคอนโตบลาสต์และเนื้อฟันที่มีการสะสมแร่ธาตุแล้ว ชั้น predentin เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างการสร้างเนื้อฟัน และคงอยู่ตลอดชีวิตของฟันโดยมีความหนาคงที่



ภาพ 5 แสดงโครงสร้างของเนื้อฟัน

หมายเหตุ: O= odontoblast

PD= predentin

OP= odontoblastic process

DT= dentinal tubule

PS= periodontoblastic space

PT= peritubular dentin

ID= intertubular dentin

ลูกศรชี้บริเวณของ lamina limitans

ที่มา: Mjor and Fejerskov, 1986, pp. 90-101

การบูรณะฟันภายหลังการฟอกสีฟัน

การฟอกสีฟันส่วนใหญ่ทำในฟันหน้า ซึ่งภายหลังการฟอกสีฟันนิยมใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตอุดทดแทนพื้นที่ที่ถูกกรอเปิดไว้ให้เต็ม วัสดุอุดจะยึดติดกับเนื้อฟันในโพรงเนื้อเยื่อในและเคลือบฟันด้วย interlocking mechanical bond (3M ESPE, n.d.) การสร้างเสถียรภาพเป็นระยะเวลานานในการยึดอยู่ระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะเป็นสิ่งที่ต้องการในอุดมคติของการบูรณะฟันทุกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุบูรณะประเภทเรซินคอมโพสิต ขนาดของแรงยึดจะต้องเพียงพอที่จะต้านทานหน่วยแรงเค้น (stress) ที่เกิดจากการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) ของวัสดุดังกล่าว การยึดอยู่ที่ดีระหว่างวัสดุบูรณะและเนื้อฟัน จะสามารถลดการเกิดขอบรั่ว (microleakage) ป้องกันการแทรกซึมผ่านเข้าไปของแบคทีเรียและของเหลวจากในช่องปาก ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการติดสีตามขอบ (marginal staining) และการเกิดฟันผุซ้ำ (recurrent caries) (Casagrande, et al., 2005, pp. 627–632)

สารเคมีที่ใช้ในการยึดเนื้อฟัน

สารเคมีที่ใช้ในระบบของสารยึดติดเนื้อฟันในปัจจุบันมี 3 ชนิดคือ สารกัดชนิดกรด (etchant) สารปรับสภาพเนื้อฟัน (primer) และ สารยึดติดเรซิน (bonding resin)

สารกัดชนิดกรด เป็นสารที่ทำหน้าที่ในการกำจัดเศษผงฟันที่ถูกกรอทิ้ง และเปิดหลอดฝอยในเนื้อฟันโดยการกำจัดสเมียร์พ러그 (smear plug) ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อฟันชั้นบนสุด 10-15 ไมครอน ในส่วนของ intertubular และ peritubular dentin ในปัจจุบันนิยมใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 เนื่องจากภายหลังจากการใช้กรดโครงสร้างที่อัดตัวกันแน่นของคอลลาเจนในเนื้อฟันจะเผยผิประมาณ 10 ถึง 15 ไมครอน ซึ่งต่อไปจะเป็นที่สำหรับให้ส่วนของเรซินแทรกซึมลงไปและเกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) ขึ้น (Munksgaard and Asmussen, 1984, pp. 1087-1089)

สารปรับสภาพเนื้อฟัน ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมหรือเป็นสะพานระหว่างเนื้อฟันและวัสดุเรซิน คอมโพสิต ดังนั้นจึงถูกออกแบบให้เป็นโมเลกุลชนิด bifunctional คือ มีสารอย่างน้อย 1 ชนิด

ซึ่งจะต้องเป็นชนิดที่แตกต่างกันของโมเลกุล โดยกลุ่มหนึ่งจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก เช่น คาร์บอกซิเลต หรือฟอสเฟต ซึ่งชอบสภาพเนื้อฟันที่มีความชื้น และมี polymerizable group (carbon-carbon bond) ที่ทำปฏิกิริยากับเรซินได้ (Burke, Combe and Douglas, 2000, pp. 85-93) สารปรับสภาพเนื้อฟันแตกต่างจาก conditioner คือไม่ต้องการกำจัดหรือล้างออกไป

สารยึดติดเรซิน ปกติแล้วส่วนประกอบของเรซินในระบบสารยึดติดจะมีเรซินหลายๆ ชนิด ผสมกันอยู่ เช่น Bis-GMA และหรือ dimethacrylate resin ซึ่งสามารถแทรกซึมลงไปเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพ (primed dentin) และ copolymerize กับสารปรับสภาพเนื้อฟัน เกิดเป็นชั้นไฮบริดแทรกซึมอยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจน โดยทั่วไปแล้วสารยึดติดเกือบทั้งหมดจะเป็นเรซินชนิดไม่มีวัสดุอัดแทรก (filler) แต่บางระบบมีการใส่วัสดุอัดแทรกเข้าไปเพื่อไม่ให้เกิดเส้นสีขาว (white line) ที่ขอบของวัสดุบูรณะ และทำหน้าที่เป็น shock absorber ได้ด้วย (Burke, Combe and Douglas, 2000, pp. 85-93)

ประเภทของสารยึดติด

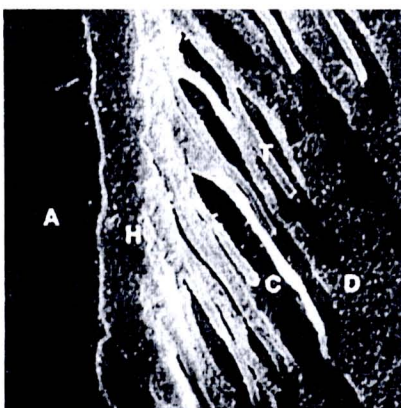
Etch-and-rinse adhesive แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ three-step etch-and-rinse adhesive หรือ conventional systems เป็นระบบสารยึดติดที่ใช้วัสดุ 3 ชนิด คือ สารกัดชนิดกรด สารปรับสภาพเนื้อฟัน และสารยึดติด เป็นระบบที่นิยมใช้กันมานานและยังคงมีการใช้อย่างกว้างขวาง ให้ค่าการยึดติดที่ดี แต่ปัญหาของการใช้สารยึดติดระบบนี้คือ มีขั้นตอนที่ยุ่งยากหลายขั้นตอนอาจจะทำให้เกิดการปนเปื้อนก่อนที่จะอุดเรซินคอมโพสิตได้ง่าย และเทคนิคค่อนข้างที่จะไวต่อสิ่งกระตุ้น (technique sensitive) เช่น ความชื้น ตัวอย่างสารยึดติดระบบนี้ ได้แก่ Scotchbond Multi-Purpose และ Syntac เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือ two-step etch-and-rinse adhesive, single-bottle systems หรือ total-etch technique สารยึดติดประเภทนี้มีการแยกสารกัดชนิดกรดและรวมสารปรับสภาพเนื้อฟันกับสารยึดติดเข้าไว้ด้วยกัน โดยทั่วไปปัญหาที่พบกับสารยึดติดประเภทนี้คือการทำให้การแทรกซึมของ primer-bond เข้าไปใน demineralized dentin ตัวอย่างสารยึดติดระบบนี้ เช่น Adper™ Single Bond 2 ซึ่งมีข้อดีคือใช้ nanofiller technology และไม่ตกตะกอนไม่จำเป็นต้องเขย่าขวดก่อนใช้ (3M ESPE, n.d.)

Self-etch adhesive แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ two-step self-etch adhesive หรือ self-etching primers มีการรวมสารกัดชนิดกรดกับสารปรับสภาพเนื้อฟันเข้าไว้ด้วยกัน ปัญหาหลักของสารยึดติดประเภทนี้คือ จะทำอย่างไรให้สารกัดผิวฟันมีความสามารถมากพอที่จะกัดเคลือบฟัน

เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดี ส่วนความไวต่อสิ่งกระตุ้นในระบบนี้พบว่าน้อยกว่า three-step และ two-step etch-and-rinse adhesive เนื่องจากไม่ต้องมีการล้างและเป่าเนื้อฟัน ทำให้เนื้อฟันมีความชื้นที่เหมาะสม วิธีนี้ใช้เรซินซึ่งเป็นกรดทำให้เกิด demineralized dentin และเกิดการแทรกตัวเข้าไปในเนื้อฟันไปพร้อมกัน เนื้อฟันมีคุณสมบัติลดความเป็นกรดได้อย่างดี พบว่าสามารถลดความเป็นกรดของ self-etching primers ได้อย่างรวดเร็วและพบว่าเนื้อฟันมีความเป็นกลาง หลังจากขบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน สารยึดติดระบบนี้ เช่น Clearfil SE Bond เป็นต้น สารยึดติดระบบนี้ อีกชนิดคือ one-step self-etch adhesive หรือ all-in-one systems สารยึดติดระบบนี้มีการรวมทุกขั้นตอนไว้ในกระบวนการเดียว ซึ่งปัญหาที่กังวลของสารยึดติดระบบนี้คือ ประสิทธิภาพการกัดผิวเคลือบฟันเช่นเดียวกันกับ two-step self-etch adhesive สารยึดติดประเภทนี้เป็นระบบใหม่และยังไม่มีการศึกษาที่ยาวนานถึงประสิทธิภาพ การศึกษาในปัจจุบันพบอัตราความสำเร็จที่แตกต่างกัน สารยึดติดระบบนี้ เช่น Adper Prompt L-Pop, iBond และ Xeno III เป็นต้น

กลไกการยึดติดระหว่างเนื้อฟันและเรซิน

ชั้นไฮบริดเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างส่วนของเนื้อฟันและเรซิน โดย การเกิดชั้นดังกล่าวต้องมีการกำจัดเศษผงเนื้อฟันที่ถูกกรอทิ้ง กำจัดสเมียร์พลา็ก และมีการสร้างให้เกิดเสถียรภาพของโครงร่างคอลลาเจน ซึ่งสามารถหดตัวหรือมีการล้มเหลว (collapse) ถ้ามีการเป่าให้แห้งจากกระบวนการทางคลินิก นอกจากนี้การทาโมโนเมอร์ที่เหมาะสมจะช่วยให้เกิดการแทรกซึมของเรซินเข้าไปยังส่วนที่สูญเสียแร่ธาตุที่มี stabilized dentin matrix การสร้างชั้นไฮบริดเกิดในส่วนของ intertubular dentin



ภาพ 6 แสดงภาพถ่ายจาก SEM ของชั้นไฮบริด

หมายเหตุ: D = dentin

C = dentin tubule

T = tag (penetration of adhesives into dentinal tubules)

H = hybride layer

A = dentinal adhesives

F = composite filling

ที่มา: Yoonis, Kukletová and Matoušek, 2009, p. 470

ผลของสารฟอกสีและคลอเฮกซิดีนต่อการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับเรซินคอมโพสิต

มีรายงานว่าสารฟอกสีฟันทุกชนิดรวมถึงโซเดียมเปอร์บอเรต ลดกำลังแรงยึดแบบเฉือน (shear bond strength) ระหว่างวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันของวัว (Teixeira, et al., 2004, pp. 75-79) และพบว่าการฟอกสีฟันส่งผลต่อกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ระหว่างวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันของโพรงเนื้อเยื่อในฟันเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ โซเดียมเปอร์บอเรตผสมน้ำกลั่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 และโซเดียมเปอร์บอเรตผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 (Timpawat, et al., 2005, pp. 211-217) Chng และคณะพบว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ลดกำลังแรงยึดแบบดึงและ ลดกำลังแรงยึดแบบเฉือน (Chng, Palamara and Messer, 2002, pp. 62-67) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเมื่อใช้โซเดียมเปอร์บอเรตผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 สัมผัสเนื้อฟันเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นจะทำให้เกิดการรั่วซึมระหว่างเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟันมากขึ้น (Ellias and Sajjan, 2002, pp. 9-13)

จากรายงานการใช้คลอเฮกซิดีนความเข้มข้นร้อยละ 2 ปริมาตร 10 มล. เป็นน้ำยาล้างคลองรากฟัน โดยใช้เวลาในการล้าง 30 นาที พบว่า คลอเฮกซิดีนไม่มีผลต่อความแข็งแรงของการยึดติด แต่ลดลงเมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Santos, et al., 2006, pp. 1088-1090) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาอื่นๆ ที่พบว่า คลอเฮกซิดีนไม่ลดความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างวัสดุอุดเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟัน (Brackett, et al., 2007, pp. 107-111; Castro, et al., 2003, pp. 129-138; Perdigao, Denehy and Swift, 1994, pp. 81-84) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานผลของการใช้คลอเฮกซิดีนเป็นกระสายยาสำหรับสารฟอกสีฟัน ต่อความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างวัสดุอุดเรซิน

คอมโพสิตกับเนื้อฟัน ซึ่งในการฟอกสีฟันนั้นจะมีระยะเวลาสัมผัสระหว่างสารฟอกสีผสมกับคลอเฮกซิดีนและเนื้อฟันที่นานกว่าการใช้คลอเฮกซิดีนเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟัน

วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของสารยึติดิต

การทดสอบประสิทธิภาพของสารยึติดิตมีหลายรูปแบบ เช่น การทำเทอร์โมไซคลิง (thermo-cycling) การเก็บขึ้นทดสอบไว้ในสารทดสอบต่างๆ (storage media) การจำลองสภาพแรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อชิ้นตัวอย่าง (occlusal loading) การทดสอบการรั่วซึมบริเวณรอยต่อ และการทดสอบกำลังแรงยึด

การทำเทอร์โมไซคลิงเป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในช่องปาก โดยการนำชิ้นตัวอย่างมาผ่านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร้อน-เย็นเป็นจังหวะ โดย ISO TR 11405 standard (1994) แนะนำวิธีการทำเทอร์โมไซคลิงว่าควรทำ 500 รอบ ในน้ำที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าการเร่งอายุขึ้นตัวอย่างที่เหมาะสมอย่างหนึ่ง (ISO, 1994, pp. 1-14) จากรายงานของ Gale และ Darvell สรุปว่า การทำเทอร์โมไซคลิงที่ 10,000 รอบเปรียบได้กับการใช้งานจริงภายในช่องปากประมาณ 1 ปี (Gale and Darvell, 1999, pp. 105-108) การทำเทอร์โมไซคลิง 500 รอบตามมาตรฐานที่ ISO กำหนดถือว่าการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของการยึติดิตในระยะยาวในห้องปฏิบัติการ การเร่งขึ้นตัวอย่างจากการทำเทอร์โมไซคลิงนั้น น้ำที่อุณหภูมิสูงจะไปเร่งขบวนการเสื่อมสลายทางเคมี (hydrolysis) ที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารยึติดิตกับฟัน แล้วมีการดูดน้ำเข้าไปในบริเวณที่มีการเสื่อมสลาย จากนั้นจะมีการหลุดออกของสารที่ถูกย่อยสลาย (breakdown products) หรือเรซินที่ยังบ่มตัวไม่สมบูรณ์ (Miyazaki, et al., 1998, pp. 118-122) และเนื่องจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวและขยายตัวของวัสดุและฟัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้วัสดุและฟันจะมีการหดตัวและขยายตัวไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดความเครียดบริเวณรอยต่อของวัสดุกับฟัน จากนั้นจะเกิดการแตกที่ขยายไปตามบริเวณรอยต่อของการยึติดิตและมีช่องว่างเกิดขึ้นตามมา น้ำจะมีการเคลื่อนที่เข้าและออกบริเวณช่องว่างดังกล่าว กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ถูกเรียกว่า เพอร์โคเลชัน (percolation) (Gale and Darvell, 1999, pp. 105-108)

ประสิทธิภาพการยึติดิตหลังการเก็บขึ้นทดสอบไว้ในสารต่างๆ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของสารยึติดิต วิธีที่นิยมทำมากที่สุดคือการเก็บขึ้นตัวอย่างไว้ในน้ำเป็นระยะเวลานาน โดยขึ้นตัวอย่างจะถูกเก็บไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเก็บขึ้นงานจะมีความแตกต่างกันตั้งแต่ไม่กี่เดือนจนถึงเวลา 4-5 ปี หรือมากกว่านั้น (Munck, et al.,

2005, pp. 118-132) จากนั้นนำชิ้นงานมาทดสอบกำลังแรงยึด

การจำลองสภาพการบิดเคี้ยวในช่องปากโดยให้วัสดุได้รับภาวะทางกล (mechanical loading) เป็นอีกวิธีหนึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของสารยึดติด ซึ่งภาวะทางกลที่มักจะทำให้เป็นแรงในรูปแบบไดนามิก (dynamic loading) ซึ่งจะเป็นการจำลองสภาพที่ใกล้เคียงสภาพในช่องปากมากกว่าแรงแบบสถิต (static loading) (Munck, et al., 2005, pp. 118-132)

การทดสอบกำลังแรงยึด (bond strength test) เป็นการทดสอบที่นิยมใช้ในการประเมินวัสดุประเภทสารยึดติด ทั้งนี้ กำลังแรงยึดในทางทันตกรรมคือ แรงที่ใช้ในการทำลายการยึดติดที่เกิดขึ้นในส่วนของพื้นผิวสัมผัส (interface) ระหว่างสารยึดติดและผิวฟันที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (ISO, 1994, pp. 1-14) ถ้าค่ากำลังแรงยึดที่เกิดขึ้นระหว่างตัวฟันกับชีววัสดุ (biomaterial) มีค่าสูง แสดงว่าวัสดุนั้นจะสามารถต้านทานแรงที่เกิดขึ้นจากการใช้งานภายในช่องปากได้ดี หากเป็นวัสดุจำพวกเรซิน วัสดุนั้นก็จะสามารถต้านทานต่อแรงเครียดที่เกิดขึ้นขณะที่เกิดพอลิเมอร์เซชันได้ดีเช่นกัน การทดสอบกำลังแรงยึดสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าการทดสอบดีบอนดิง (debonding tests) หมายถึงการทดสอบเพื่อทำลายการยึดติด วัตถุประสงค์ของการทำลายการยึดติดก็เพื่อที่จะหาค่าออกมาเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความแข็งแรงของการยึดติด (Oilo, 1993, 492-498) ค่ากำลังแรงยึดจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่ที่ใช้ในการยึด (ISO, 1994, pp. 1-14) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมพื้นที่ที่ใช้ในการยึดให้แน่นอนเพื่อที่จะสามารถคำนวณค่าการยึดติดได้อย่างถูกต้อง

การทดสอบค่ากำลังแรงยึดที่นิยมใช้กันมี 2 ลักษณะ (Pashley, et al., 1995, pp. 117-125; Pashley, et al., 1999, pp. 299-309) คือ การทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนและการทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบดึง การทดสอบค่ากำลังแรงยึดแบบเฉือนเป็นการวัดค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ซึ่งวิธีนี้มีการเตรียมชิ้นตัวอย่างที่ง่าย แต่การทดสอบด้วยแรงเฉือนจะให้การกระจายแรงที่สม่ำเสมอน้อยกว่าการใช้การทดสอบแบบดึง และจุดแตกหักเริ่มแรกจะไม่ใช่จุดที่อ่อนแอที่สุดของชิ้นทดสอบ (Watanabe and Nakabayashi, 1994, pp. 67-72) ส่วนการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงเป็นการทำลายการยึดติดในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ผิวสัมผัส ดังนั้น เมื่อมีแรงดึงมากจะทำให้จุดแตกหักเริ่มแรกที่เกิดขึ้นจะเป็นจุดอ่อนแอที่สุด ซึ่งจะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ถึงกลไกการยึดติดรวมถึงกระจายแรงได้ทั่วถึงในบริเวณที่ทดสอบ แต่สิ่งสำคัญที่ต้องระวังในการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงคือ การควบคุมแนวในการทำการทดสอบ (alignment) ทั้งในระหว่างทำการยึดและระหว่างการทดสอบ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเครียดที่จุดใดจุดหนึ่งมากกว่าปกติ (Watanabe and Nakabayashi, 1994, pp. 67-72)

ในการทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบดึง ส่วนใหญ่จะใช้พื้นที่ในการยึดติดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-4 มม. หรือมีพื้นที่ประมาณ 7-12 มม.² (Pashley et al., 1999, pp. 299-309) การทดสอบแบบนี้มีการเตรียมชิ้นงานที่ง่ายและสามารถใช้ได้ดีในกรณีที่มีการยึดติดระหว่างเรซินและเนื้อฟันมีค่ากำลังแรงยึดค่อนข้างต่ำคือประมาณ 10-15 MPa แต่ในปัจจุบันเทคนิคในการยึดติดและวัสดุทางทันตกรรมได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ค่ากำลังแรงยึดสูงขึ้น ลักษณะของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมักจะเป็นลักษณะการแตกหักในส่วนของเนื้อฟันทั้งหมด โดยที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่างเรซินและเนื้อฟัน (resin-dentin interface) ยังคงยึดติดกันดีอยู่ เมื่อค่ากำลังแรงยึดแบบดึงมีค่าเท่ากับ 25 MPa ความถี่ของการแตกหักที่พบทั้งหมดในส่วนของเนื้อฟันจะมีค่าสูงถึงร้อยละ 80 (Pashley, et al., 1995, pp. 117 - 125) ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ทำให้การทดสอบหาค่ากำลังแรงยึดแบบดึงไม่เหมาะในการนำมาใช้ เนื่องจากไม่สามารถวัดความแข็งแรงของการยึดติดที่แท้จริงบริเวณรอยต่อได้ การเกิดการแตกหักทั้งหมดในส่วนของเนื้อฟันไม่ได้หมายความว่ากำลังแรงยึดบริเวณรอยต่อระหว่างเรซินและเนื้อฟันมีค่าสูงกว่ากำลังแรงยึดในเนื้อฟัน แต่บ่งบอกถึงว่า เกิดแรงเครียดจากการยึดที่ไม่เป็นรูปแบบและความเครียดจะถูกส่งไปยังส่วนของเนื้อฟันทำให้เกิดรอยร้าวในเนื้อฟันตามมา ความเครียดที่เกิดขึ้นมักจะเกิน 100 MPa แต่ค่าความแข็งแรงของกำลังแรงยึดจริงมีค่าประมาณ 25 MPa (Noort, et al., 1989, pp. 61-67; Sudsangiam and van Noort, 1999, pp. 57-67) ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงการแตกหักในส่วนของเนื้อฟันในขณะทำการทดสอบกำลังแรงยึด นักวิจัยจึงพัฒนาการทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค (Pashley, et al., 1999, pp. 299-309)

การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค ได้ถูกออกแบบมาเพื่อทำการวัดค่ากำลังแรงยึดระหว่างสารยึดติดกับพื้นที่เล็กๆ ซึ่งมีข้อดีหลายประการคือ ในพื้นที่หนึ่งซึ่งจะได้จำนวนชิ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมากขึ้นและสามารถนำค่าแรงยึดมาเปรียบเทียบกับได้ พื้นที่สัมผัสที่เล็กลงทำให้มีความผิดพลาดหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของรอยต่อระหว่างเรซินและผิวฟันน้อยลง สามารถหาค่ากำลังแรงยึดที่ระดับและตำแหน่งต่างๆ ของฟันได้ รวมทั้งความล้มเหลวที่พบบ่อยเกิดการแตกหักแบบแอเดฮีซีฟ (adhesive failure) คือ การแตกหักที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารยึดติดและเนื้อฟันมากกว่าความล้มเหลวหรือการแตกหักแบบโคฮีซีฟ (cohesive failure) ที่เกิดในส่วน

ของเนื้อฟัน (Pashley, et al., 1999, pp. 299-309)

อย่างไรก็ตาม การทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาคก็มีข้อด้อยที่ต้องคำนึงถึงหลายประการ เช่น การเตรียมชิ้นตัวอย่างต้องใช้เวลาและความระมัดระวังสูงเนื่องจากชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็ก มีวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ การเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการ

ทดสอบกำลังแรงยึดระดับจุลภาคสามารถเตรียมได้หลายรูปแบบ เช่น แบบแท่ง (stick) ที่ไม่มีการกรอแต่งหลังตัดขึ้นตัวอย่าง และแบบที่มีการกรอแต่งขึ้นตัวอย่างร่วมด้วย เช่น แบบนาฬิกาทราย (hour glass) (Betamar, Cardew and Noort, 2007, pp. 159-168) มีการศึกษาโดยใช้ไฟไนต์อีลีเมนต์ (finite element analysis) ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจายของความเครียดบนชั้นตัวอย่างทรงนาฬิกาทรายกับทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเท่ากัน เมื่อใช้การทดสอบกำลังแรงยึดระดับจุลภาคพบว่า ชั้นตัวอย่างทรงนาฬิกาทรายมีการกระจายความเครียดที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม การกรอแต่งขึ้นตัวอย่างทรงนาฬิกาทรายที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดความล้มเหลวบริเวณที่ทำการยึดติดก่อนที่จะทดสอบกำลังแรงยึดได้ ดังนั้นในการกรอแต่งขึ้นงานควรทำให้เกิดแรงกระทำต่อชิ้นงานน้อยที่สุด (Betamar, Cardew, and Noort, 2007, pp. 159-168)

ในการทดสอบกำลังแรงยึดระดับจุลภาคนั้น มีปัจจัยหลายประการที่อาจจะมีผลกระทบต่อผลการทดสอบ เช่น ประเภทและชนิดของฟัน ระดับความลึกของเนื้อฟัน ด้านของเนื้อฟันที่จะทำการยึด การเตรียมผิวฟัน วิธีการยึดขึ้นงาน รวมทั้งการเตรียมขึ้นทดสอบกำลังแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค เพราะฉะนั้นจึงควรควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ให้ได้และมีความเหมาะสม

การศึกษากำลังแรงยึดของสารยึดเนื้อฟันที่ผ่านมาได้ผลที่แตกต่างกันไป Munck และคณะศึกษาโดยการทบทวนงานวิจัยทั้งหมด 1,019 เรื่อง พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดของสารยึดติดอยู่ระหว่าง 12 MPa ถึง 49 MPa โดยแต่ละระบบพบค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดดังนี้ three-step etch-and-rinse adhesive เท่ากับ 31 MPa, two-step etch-and-rinse adhesive (single-bottle systems หรือ total-etch adhesive) เท่ากับ 26 MPa, two-step self-etch adhesive (self-etching primers) เท่ากับ 29 MPa และ one-bottle หรือ all-in-one systems เท่ากับ 20 MPa (Munck, 2009, unpagued)

