บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

ในปัจจุบันการใช้เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยและสร้างแกนฟันด้วยเรซินคอมพอสิตร่วมกับการบูรณะด้วยครอบฟันกลายเป็นรูปแบบการรักษาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ความสำเร็จของการบูรณะนอกจากจะขึ้นกับขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันและการสร้างครอบฟันที่ดีแล้ว การสร้างการยึดติดที่แข็งแรงและมีคุณภาพบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเนื้อฟันบริเวณผนังคลองรากฟัน เดือยฟัน และวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน ก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะที่สร้างขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดติดบริเวณรอยต่อ โดยมุ่งเน้นศึกษาผลของรูปแบบที่แตกต่างกันของไซเลนและชนิดผลิตภัณฑ์เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยที่มีต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกน โดยหวังว่าผลการศึกษาที่ได้ จะสามารถนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการพิจารณาเลือกรูปแบบของสารไซเลนและผลิตภัณฑ์เดือยสำเร็จรูปที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในทางคลินิก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การรักษาคลองรากฟัน เป็นการรักษาทางทันตกรรมสำหรับฟันที่มีการบาดเจ็บและติดเชื้อของเนื้อเยื่อประสาทโพรงฟัน โดยทั่วไปฟันธรรมชาติที่ผ่านขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันมักจะสูญเสียเนื้อฟันธรรมชาติไปมากทั้งในส่วนตัวฟันและบริเวณรากฟัน อันอาจเป็นผลมาจากลักษณะพยาธิสภาพของตัวฟันที่เป็นสาเหตุให้ต้องรับการรักษาคลองรากฟัน การกรอเตรียมทางเข้าสำหรับการรักษาคลองรากฟัน หรืออาจเกิดจากการกรอแต่งคลองรากฟันที่มากเกินไประหว่างขั้นตอนการรักษา

แม้ว่าจะมีผลการศึกษายืนยันเกี่ยวกับคุณสมบัติของเนื้อฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันว่ามีความแข็งและมีปริมาณน้ำในองค์ประกอบไม่แตกต่างจากฟันที่มีชีวิต [21-23] แต่เนื้อฟันที่บางและไม่มีส่วนรองรับที่เพียงพอเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมีความอ่อนแอและเสี่ยงต่อการแตกหักเมื่อใช้งาน [24] นอกจากนั้นขั้นตอนการกรอเปิดเข้าไปในโพรงประสาทฟันจะทำลายเนื้อฟันซึ่งเป็นส่วนหลังคาของโพรงประสาทฟัน ทำให้เนื้อฟันขาดการเชื่อมต่อเป็นหน่วยเดียวกัน เมื่อฟันได้รับแรงบดเคี้ยวจะเกิดการบิดเบี้ยวของเนื้อฟัน เกิดความเค้นสะสมเพิ่มมากขึ้นในเนื้อฟันจนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกหักในเนื้อฟันได้ [25] จากการศึกษาพบว่าฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันจะมีความแข็งแรงลดลงร้อยละ 14 โดยฟันในขากรรไกรบนจะมีความแข็งแรงภายหลังการรักษาคลองรากฟันมากกว่าฟันในขากรรไกรล่าง และฟันตัดหน้าล่างจะมีความอ่อนแอมากที่จะสุด [26] นอกจากนี้ยังพบว่าการสูญเสียเส้นประสาทภายในโพรงฟันส่งผลต่อการตอบสนองต่อการสิ่งเร้า (proprioceptive response) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้องกัน

การบาดเจ็บของฟันและเนื้อเยื่อที่เกี่ยวข้อง ทำให้การรับรู้ความรู้สึกจากแรงบดเคี้ยวลดลง [27] ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันจะมีระดับความทนทานต่อความเจ็บปวดมากกว่าฟันที่ไม่ได้รักษาคลองรากฟันประมาณ 2 เท่า [28] เป็นไปได้ว่าระดับความทนต่อความเจ็บปวดอาจเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมีโอกาสเสี่ยงต่อการแตกหักมากกว่าฟันที่ไม่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน [29] นอกจากนั้น การสูญเสียโครงสร้างของฟันทั้งในแง่ปริมาณและตำแหน่งมีผลต่อความแข็งแรงของฟันและความสามารถในการต้านทานต่อแรงภายในช่องปาก โดยพบว่าความแข็งตึง (stiffness) ของฟันจะลดลงจากขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันเพียงร้อยละ 5 แต่ความแข็งแรง (strength) จะลดลงอย่างมาก [22]

ดังนั้นฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันแล้วจึงมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการบูรณะที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกหักของเนื้อฟันที่เหลือและทดแทนเนื้อฟันส่วนที่สูญเสีย เพื่อให้ฟันกลับมามีความแข็งแรงสามารถใช้บดเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังช่วยปรับปรุงความสวยงามและช่วยอนุรักษ์เนื้อเยื่อที่อยู่ล้อมรอบฟันอีกด้วย

จะเห็นได้ว่าการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันจะประสบผลสำเร็จได้นั้น นอกจากจะขึ้นกับประสิทธิภาพของขั้นตอนการรักษาคลองรากฟันแล้ว ขั้นตอนการบูรณะหลังการรักษาคลองรากฟันก็นับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญยิ่ง การบูรณะภายหลังรักษาคลองรากฟันที่ไม่ดีเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของการรักษา [30] ดังนั้นการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วด้วยวิธีการที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทันตแพทย์ต้องให้ความสนใจ

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟัน

การบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากมีหลักพื้นฐานที่สำคัญสองประการ คือ พยายามเก็บเนื้อฟันธรรมชาติไว้ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และสร้างลักษณะปกป้องปุ่มฟัน (Cusp protection) โดยการคลุมหรือเชื่อมปุ่มฟันเข้าด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีฟันหลัง [31]ในอดีตฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน มักได้รับการบูรณะด้วยการใส่เดือยในส่วนคลองรากร่วมกับการทำครอบฟันในทุกกรณี เพราะเชื่อว่าเดือยจำเป็นสำหรับการยึดอยู่ของครอบฟันและช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของซี่ฟัน [32] โดยเดือยที่อยู่ในคลองรากฟันจะทำหน้าที่ช่วยกระจายแรงที่มากระทำบนตัวฟันไปสู่เนื้อฟันในคลองรากตลอดความยาวของรากฟัน [33] จากการศึกษาพบว่า ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันแล้วเมื่อมีแรงบดเคี้ยวมากระทำจะเกิดแรงเค้นสะสมบริเวณคอฟัน [24, 34] การใส่เดือยฟันจะช่วยจะลดแรงเค้นในบริเวณดังกล่าวได้ [35-38]

ในปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่า การบูรณะด้วยเดือยในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากไม่ได้ช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่ตัวฟันแต่อย่างใด [39] ขั้นตอนการกรอแต่งคลองรากฟันเพื่อรองรับเดือยและการใส่เดือยอาจเป็นปัจจัยที่ทำให้รากฟันอ่อนแอลงหรือเกิดการแตกหักของส่วนรากฟันได้ [26, 40-44] ดังนั้นฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันจึงไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟันในทุกกรณี จะพิจารณาเลือกใช้เฉพาะกรณีที่เนื้อฟันในส่วนตัวฟันเหลือน้อยไม่เพียงพอสำหรับให้การยึดติดแก่วัสดุบูรณะเท่านั้น โดยเดือยฟันจะทำหน้าที่ให้การ

ยึดติดแก่แกนฟัน และส่วนแกนฟันจะทำหน้าที่บูรณะให้ส่วนตัวฟันมีลักษณะที่สามารถให้การยึดอยู่และต้านทานการหมุนที่เพียงพอแก่ครอบฟันที่จะสร้างขึ้นต่อไปได้ [44-46]

การบูรณะฟันภายหลังการรักษาคลองรากฟันสามารถทำได้หลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เป็นต้นว่า ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ ตำแหน่งของฟันในขากรรไกร รูปร่างของคลองรากฟัน แรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อฟัน และการทำหน้าที่ของฟันซี่นั้นๆภายในช่องปาก [24, 31, 32, 42, 44, 48-49] ซึ่งวิธีการบูรณะฟันที่สามารถเลือกใช้ได้แก่

- การอุดปิดทางเข้าสู่คลองรากฟันด้วยวัสดุอุดฟัน (direct filling)
- การบูรณะด้วยการปกคลุมปุ่มฟันด้วยอะมัลกัม เรซินคอมพอสิต หรือชิ้นงานโลหะเหวี่ยง (amalgam, resin composite or metal onlay)
- การบูรณะด้วยการใส่หมุดร่วมกับแกนอะมัลกัมหรือเรซินคอมพอสิต (pin retained amalgam or resin composite core) ร่วมกับครอบฟัน
- การบูรณะโดยใช้อะมัลกัมเป็นเดือยและแกนฟัน (amalgam post and core) ร่วมกับครอบฟัน
- การบูรณะโดยการใช้เดือยฟันสำเร็จรูปร่วมกับแกนที่สร้างจากวัสดุอะมัลกัม เรซินคอมพอสิต หรือแก้วไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ผสมโลหะเงิน (prefabricated post with amalgam, resin composite or modified glass ionomer cement core) ร่วมกับครอบฟัน
- การบูรณะด้วยเดือยและแกนชนิดโลหะเหวี่ยง (individual cast post and core) ร่วมกับครอบฟัน

ดังได้กล่าวแล้วว่าการเลือกชนิดของการบูรณะจะขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลือเป็นสำคัญ กรณีที่มีเนื้อฟันเหลือจำนวนมากหลังการรักษาคลองรากฟันและมีสันริมฟันที่สมบูรณ์ สามารถบูรณะโดยการอุดปิดทางเข้าสำหรับการรักษาคลองรากฟันด้วยวัสดุอุดฟันโดยไม่จำเป็นต้องใส่เดือยฟัน [40, 49, 50] ในปี 2005 Tan และคณะ [51] ศึกษาค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักของฟันตัดบนซี่กลางซึ่งผ่านการรักษาคลองรากฟันและมีลักษณะเฟอร์รูลสูง 2 มิลลิเมตร รอบซี่ฟัน เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่บูรณะด้วยเดือยและแกนโลหะหล่อร่วมกับครอบฟันและกรณีที่บูรณะด้วยกับครอบฟันเพียงอย่างเดียว พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยและแกนร่วมกับครอบฟันจึงจำเป็นเฉพาะบางกรณีเท่านั้น เพราะความแข็งแรงของฟันภายหลังการรักษาคลองรากจะขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลือมากกว่าการมีหรือไม่มีเดือยฟัน [52]

ในปี 1994 Linn และ Messer [53] แนะนำว่าควรบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันโดยยึดหลักการปกคลุมปุ่มฟันแม้ว่าฟันซี่นั้นจะมีสันริมฟันที่สมบูรณ์ จากการศึกษาของ Sorensen และ Martinoff ในปี1984 [54] พบว่าฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและไม่ได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันจะมี

อัตราการเกิดฟันแตกหักร้อยละ 24.2 หากบูรณะด้วยครอบฟันอัตราการเกิดฟันแตกจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5.2

ดังนั้นฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและมีการสูญเสียเนื้อฟันไปมากทั้งจากพยาธิสภาพของฟันและจากขั้นตอนการรักษาคลองรากฟัน จึงมักต้องได้รับการบูรณะด้วยครอบฟัน โดยอาจสร้างเดือยและแกนฟันร่วมด้วยหรือไม่ก็ได้ขึ้นกับปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ภายหลังการรักษาคลองรากฟันเป็นสำคัญ [35, 43, 46-48, 52] พบว่าอัตราความสำเร็จของการบูรณะด้วยครอบฟันขึ้นกับการออกแบบลักษณะเฟอร์รูลที่เหมาะสมมากกว่าการมีหรือไม่มีเดือย [44, 51, 52, 54, 56]

เนื้อฟันธรรมชาติซึ่งอยู่ล้อมรอบเดือยและถูกหุ้มด้วยครอบฟัน จะทำหน้าที่คล้ายเป็นส่วนโอบประคองช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักให้กับฟันซี่นั้นๆ [42, 57, 58] กรณีที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิต พบว่าปริมาณเนื้อฟันในส่วนตัวฟันที่เพิ่มขึ้น จะมีผลเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [59] เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแรงที่ใช้เพื่อให้ฟันเกิดการแตกหัก พบว่ากรณีฟันที่ไม่มีเนื้อฟันลักษณะเฟอร์รูลหรือมีลักษณะเฟอร์รูลสูงไม่เท่ากันรอบซี่ฟันจะใช้ปริมาณแรงในการทำให้ฟันแตกหักต่ำกว่ากรณีที่ฟันมีลักษณะเฟอร์รูลสูงอย่างน้อย 2 มิลลิเมตรรอบซี่ฟัน [51]

ในปี 2005 Fokkinga และคณะ [60] ทำการศึกษาในห้องทดลองเกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ (static load) ของฟันกรามน้อยบนที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและไม่มีเนื้อฟันเพียงพอสำหรับสร้างลักษณะเฟอร์รูลโดยรอบซี่ฟัน เปรียบเทียบระหว่างเดือยและแกนฟันสำเร็จรูปชนิดต่างๆ คือ เดือยสำเร็จรูปชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับการอุดสร้างตัวฟันด้วยวัสดุเรซินคอมพอสิต เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยร่วมกับการอุดสร้างตัวฟันด้วยวัสดุเรซินคอมพอสิต เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดขึ้นรูปตามลักษณะคลองราก (custom-made glass fiber) ร่วมกับการอุดสร้างตัวฟันด้วยวัสดุเรซินคอมพอสิต และการบูรณะส่วนตัวฟันทั้งหมดด้วยเรซินคอมพอสิตโดยไม่มีเดือย พบว่าค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่และรูปแบบการแตกหักของฟันในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน โดยการแตกหักจะเกิดในส่วนของเรซินคอมพอสิตและเนื้อฟันบริเวณที่ต่ำกว่าระดับกระดูก การศึกษานี้สรุปว่า ชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟันไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟันที่บูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมพอสิตในกรณีที่ไม่มีเนื้อฟันเพียงพอสำหรับสร้างลักษณะเฟอร์รูลล้อมรอบซี่ฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Raygol และคณะ ในปี 2001 [61] ที่ศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่และรูปแบบการแตกหักของฟันหน้าบนที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและมีเนื้อฟันสำหรับสร้างลักษณะเฟอร์รูลน้อยกว่าปกติ (1มิลลิเมตร) เปรียบเทียบระหว่างการบูรณะด้วยเดือยคาร์บอนไฟเบอร์ร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิต เดือยเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับแกนที่สร้างจากวัสดุเรซินคอมพอสิต และเดือยและแกนโลหะหล่อทรงกระบอกร่วมกับครอบฟันชนิดโลหะล้วน พบว่าค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ของแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกัน และรูปแบบการแตกหักส่วนใหญ่เกิดขึ้นในส่วนของตัวฟันเหนือต่อระดับ

ขอบเรซินบล็อกที่ใช้ยึดซี่ฟันสำหรับทดสอบซึ่งเป็นตัวแทนของระดับกระดูกเบ้ารากฟัน จากการศึกษาค่าความต้านทานต่อการแตกหักภายใต้แรงคงที่ของฟันหน้าที่มีเนื้อฟันเพียงพอสำหรับสร้างเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรรอบซี่ฟัน ที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและได้รับการบูรณะด้วยเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมใยแก้วและเส้นใยเซอร์คอนร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิตและครอบฟันโลหะล้วน เปรียบเทียบกับการบูรณะด้วยเดือยและแกนฟันโลหะหล่อร่วมกับครอบฟันโลหะล้วน พบว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยและแกนโลหะหล่อต้องใช้แรงที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยและแกนเรซินคอมพอสิต เนื่องจากโลหะหล่อมีความแข็งมากกว่าจึงมีความต้านทานต่อการบิดงอเมื่อได้รับแรงมากกว่าเมื่อเทียบกับเดือยเรซินคอมพอสิต การแตกหักที่เกิดขึ้นในทั้งสองกลุ่ม มีลักษณะแตกในแนวเฉียงขยายเข้าไปในส่วนของรากฟันต่ำกว่าระดับอะคริลิกเรซินบล็อกซึ่งเป็นตัวแทนของระดับกระดูกเบ้ารากฟัน และปริมาณแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักในทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่าปริมาณแรงที่เกิดจากการกัดด้วยฟันหน้าในภาวะปกติ [62]

จากการศึกษาทั้งสองแสดงให้เห็นว่า กรณีที่มีเนื้อฟันเหลือเพียงพอสำหรับสร้างลักษณะเฟอร์รูลโดยรอบซี่ฟัน ชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟันเป็นปัจจัยที่มีผลเพียงเล็กน้อยต่อลักษณะการแตกหักของซี่ฟัน [61, 62] เนื่องจากแรงที่มากระทำจะเกิดการกระจายไปยังผิวนอกของรากฟันในบริเวณส่วนต้นของรากฟัน ส่วนกรณีที่ไม่มีลักษณะเฟอร์รูลที่เพียงพอรอบซี่ฟันจะเกิดการสะสมของแรงเค้นบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยและแกนฟันเป็นสาเหตุให้เกิดการหักของเดือยฟัน [43] ดังนั้นความแข็งแรงและคุณภาพของการเชื่อมต่อบริเวณผิวสัมผัสระหว่างผิวเดือยและแกนจึงเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์ความทนทานต่อการแตกหักของเดือยและแกนฟันเมื่อได้รับแรงกระทำ และส่งผลต่อความสำเร็จหรือล้มเหลวของการบูรณะที่เดือยและแกนนั้นๆ ให้การรองรับอยู่

ชนิดของเดือยฟัน

เดือยฟันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะรูปร่าง คือ เดือยที่สร้างให้มีรูปร่างตามลักษณะคลองรากฟันของผู้ป่วยแต่ละราย (custom-fabricated post) และเดือยฟันชนิดสำเร็จรูป (prefabricated post) ซึ่งมีขนาดและรูปร่างเป็นมาตรฐานตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด หรืออาจแยกประเภทตามชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตได้เป็น 2 ประเภทคือ เดือยที่สร้างจากโลหะ และชนิดที่สร้างจากวัสดุที่ไม่ใช่โลหะ เช่น พอร์ซเลน เซอร์คอเนียม หรือ เรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย

เดือยโลหะหล่อ (Metal casted post)

ในช่วงแรกทันตแพทย์นิยมใช้วัสดุที่มีความแข็ง เช่น ทอง หรือโลหะผสมอื่นๆ เช่น นิกเกิล-โครเมียม หรือโคบอลต์-โครเมียม นำมาเหวี่ยงขึ้นรูปเพื่อสร้างเดือยโลหะหล่อที่มีรูปร่างตามลักษณะคลองรากฟันของผู้ป่วยแต่ละราย มีการศึกษาย้อนหลังในระยะเวลา 6 ปี พบว่าเดือยและแกนฟันชนิดนี้ให้ค่าอัตราความสำเร็จร้อยละ 90.6 [63] เดือยฟันชนิดนี้จะมีส่วนเดือยและแกนหล่อติดเป็นชิ้นเดียวกัน มีความแข็งมากกว่าเนื้อฟัน

ธรรมชาติ สามสมารถสร้างชิ้นงานที่แนบสนิทกับคลองรากฟันได้ดีกว่าเดือยฟันชนิดสำเร็จรูป [52] ความแนบสนิทระหว่างเดือยฟันและผนังคลองรากฟันจะช่วยเพิ่มการยึดอยู่ของชิ้นงาน กรณีที่ชิ้นงานไม่แนบสนิทกับผนังคลองรากฟันจะทำให้มีชั้นซีเมนต์ที่หนา เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เปรียบเทียบกับเดือยโลหะหล่อ พบว่าซีเมนต์มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นและความแข็งแรงกดต่ำกว่าเดือยโลหะหล่อมาก เมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวกระทำต่อเดือยฟันจะเกิดการเคลื่อนขยับของเดือยฟัน ทำให้เกิดความล้าในชั้นของซีเมนต์ เกิดการแตกหักของชั้นซีเมนต์ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเดือยฟันและผนังคลองรากฟัน เป็นสาเหตุให้เดือยฟันหลวมและหลุดจากคลองรากฟัน ในกรณีที่เดือยไม่หลุดออกมาเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวก็จะก่อให้เกิดแรงเค้นกระทำต่อเนื้อฟันบริเวณนั้น อาจก่อให้เกิดการแตกหักของเนื้อฟันเนื่องจากความล้า [3] โดยจุดสูงสุดของกระดูกที่ล้อมรอบรากฟันจะทำหน้าที่เป็นจุดหมุนในแนวแก้ม-ลิ้น [35] เมื่อเกิดการละลายตัวของกระดูกที่รองรับรากฟัน จะทำให้ระดับความสูงของกระดูกเบ้ารากฟันลดลง เสมือนเป็นการเลื่อนตำแหน่งจุดหมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งใกล้ปลายรากมากขึ้น ทำให้ความยาวของคานเหนือจุดหมุนเพิ่มมากขึ้น เดือยจึงขยับและหลวมหลุดได้ง่ายขึ้น [45] แต่หากใช้เรซินซีเมนต์เป็นวัสดุในการยึดเดือยฟันเข้ากับคลองรากฟัน พบว่าความหนาของซีเมนต์จะทำหน้าที่เสมือนตัวดูดซับแรงจากเดือยฟันกระจายสู่เนื้อฟัน [64, 65]

แม้ว่าเดือยชนิดโลหะหล่อจะมีข้อดีหลายประการแต่ด้วยขั้นตอนการสร้างชิ้นงานที่มีขั้นตอนซับซ้อนและต้องอาศัยเวลาทั้งในคลินิกและทางห้องปฏิบัติการ ตลอดจนข้อจำกัดด้านความสวยงาม จึงได้มีการพัฒนาเดือยฟันสำเร็จรูป เพื่อลดขั้นตอนการทำงานในคลินิกและปรับปรุงคุณสมบัติด้านความสวยงาม

เดือยสำเร็จรูปที่สร้างจากโลหะ (Metal prefabricated post)

ในช่วงต้นปี 1970 เริ่มมีการนำเสนอการบูรณะฟันด้วยเดือยสำเร็จรูปที่สร้างจากโลหะ ร่วมกับบูรณะส่วนแกนฟันด้วยวัสดุเรซินคอมพอสิต โดยในช่วงแรกเดือยฟันสำเร็จรูปจะสร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม หรือทองที่ฉาบผิวด้วยทองเหลือง หรืออาจสร้างจากโลหะผสมไทเทเนียม โดยจะมีรูปร่างและผิวของเดือยฟันสำเร็จรูปหลากหลายรูปแบบ อาจมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีผิวนอกขนานกันโดยตลอด (cylindrical) ทรงกระบอกขนานกันในส่วนต้นร่วมกับส่วนปลายเป็นรูปลิ่ม (cylindro-conical) หรือมีลักษณะเป็นรูปลิ่ม (conical) ผิวของเดือยสำเร็จรูปอาจออกแบบให้เรียบ (smooth) มีการบากเป็นร่อง (serrated) หรือสร้างลักษณะเกลียว (Threaded)เพื่อช่วยในแง่การยึดติดเชิงกลกับวัสดุบูรณะที่ใช้ทำแกนฟันและผนังคลองรากฟัน เดือยฟันสำเร็จรูปที่สร้างให้มีลักษณะเกลียวบริเวณผิวจะให้ค่าการยึดอยู่มากที่สุด เนื่องจากส่วนเกลียวจะถูกขันเข้าไปในเนื้อฟัน แต่จะทำให้เกิดแรงเค้นสะสมในเนื้อฟันมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะนำไปสู่การแตกหักของรากฟันได้ [66]

การบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับการใช้วัสดุบูรณะสร้างส่วนแกน จะทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเดือยและแกนซึ่งเป็นจุดที่ง่ายต่อการเกิดการแตกหัก ความล้มเหลวที่พบส่วนมากจึงเกิดจากการแตกหักของวัสดุอุดที่ใช้สร้างแกนฟันมากกว่าการหลุดของเดือย หรือการแตกของรากฟัน [47] จาก

การศึกษาพบว่าฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิมมีความล้มเหลวร้อยละ 8 ส่วนฟันที่บูรณะด้วยเดือยและแกนฟันชนิดโลหะเหวี่ยงจะพบความล้มเหลวร้อยละ 15 [67]

จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะความล้มเหลว (Failure mode) เมื่อให้แรงคงที่กระทำต่อฟันหน้าบนที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งยึดติดกับคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ พบว่า กรณีที่มีลักษณะของเฟอร์รูล 2 มิลลิเมตรโดยรอบซี่ฟัน จะเกิดการแตกในแนวเฉียงจากด้านริมฝีปากไปยังด้านเพดานตรงตำแหน่งปลายสุดของความยาวของเดือย ส่วนกรณีที่ไม่มีเฟอร์รูลรอบซี่ฟัน จะเกิดการแตกในแนวดิ่งขยายเข้าไปในส่วนรากฟัน เมื่อพิจารณาปริมาณแรงที่ทำให้เกิดการแตก พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองกลุ่มมีค่าสูงกว่าแรงกัดปกติมากและไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการสร้างลักษณะเฟอร์รูลในฟันที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซิน คอมพอสิตและยึดติดในคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์จึงไม่มีผลเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน [68, 69]

แม้ว่าเดือยฟันสำเร็จรูปที่สร้างจากวัสดุในกลุ่มโลหะจะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยากและซับซ้อนลงได้ แต่ก็ยังคงมีข้อด้อย คือ มักพบปัญหาการสะท้อนสีของโลหะที่ใช้ทำเดือยฟัน โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้ป่วยมีเนื้อฟันบริเวณรากฟัน กระดูกเบ้ารากฟันทางด้านริมฝีปาก
หรือเหงือกที่บาง ทำให้เหงือกมีสีคล้ำ ไม่สวยงาม นอกจากนั้น ความแตกต่างของค่ามอร์ดูลัสสภาพยืดหยุ่นระหว่างเดือยและเนื้อฟันธรรมชาติ ยังส่งผลให้เกิดการสะสมแรงเค้นบริเวณรอยต่อ เกิดเป็นจุดที่ง่ายต่อการเกิดความล้มเหลวของการบูรณะ โดยพบว่าโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันประมาณ 20 เท่า และโลหะไททาเนียมมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟันประมาณ 10 เท่า [10, 70]

เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย (Fiber reinforced prefabricated post)

ในปี 1990 Duret และคณะ [10] ได้นำเสนอผลการศึกษาเดือยฟันสำเร็จรูปที่ผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ชนิดเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนซึ่งมีอัตราเกิดความล้มเหลวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเดือยสำเร็จรูปที่ผลิตจากโลหะผสม ต่อมาในปี 1996 Purton และ Payne [71] ได้ศึกษาเปรียบเทียบค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นแบบดัดขวาง (transverse modulus of elasticity) ระหว่างเดือยเรซิน คอมพอสิตกับเดือยเหล็กกล้าไร้สนิมภายใต้แรงกระทำในแนวตัดขวางที่เกิดจากการทดสอบด้วยวิธีการดัด 3 จุด (three point bending) พบว่า เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งมากกว่าเดือยเหล็กกล้าไร้สนิมที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถสร้างเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยคาร์บอนให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กโดยยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงบดเคี้ยวได้ เมื่อใช้บูรณะฟันจึงสามารถอนุรักษ์เนื้อฟันธรรมชาติได้มากกว่า ข้อด้อยของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดนี้ คือ สีของคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีสีดำแตกต่างจากเนื้อฟันธรรมชาติ ทำให้ส่งผลต่อความสวยงามเมื่อใช้บูรณะฟันในบริเวณที่เกี่ยวข้องกับความสวยงาม

จากข้อด้อยดังกล่าวจึงได้มีการนำเส้นใยควอร์ทซ์มาหุ้มรอบเพื่อปิดสีของเส้นใยคาร์บอน และต่อมาก็ได้เปลี่ยนชนิดของเส้นใยจากคาร์บอนไฟเบอร์มาเป็นเส้นใยแก้วหรือเส้นใยควอร์ซ (Quartz fiber) ทำให้ได้วัสดุที่มีการส่องผ่านของแสงใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติมากยิ่งขึ้น จึงไม่มีผลรบกวนความสวยงามเมื่อเลือกใช้บริเวณฟันหน้า และสามารถใช้ร่วมกับครอบฟันเซรามิกล้วนได้โดยไม่ทำให้สีและความใสของครอบฟันเปลี่ยนไป [72]

ด้วยข้อดีในแง่ของความสะดวกในการทำงานในคลินิกและปัจจัยด้านความสวยงาม ทำให้เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยกลายมาเป็นรูปแบบของเดือยฟันสำเร็จรูปที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย นับตั้งแต่เริ่มผลิตออกสู่ตลาดในทศวรรษที่ 90 จนถึงปัจจุบัน [4, 73, 74]

โครงสร้างของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย ประกอบด้วยส่วนของเส้นใยซึ่งทำหน้าที่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้แก่เดือยฟัน และส่วนพอลิเมอร์เมทริกซ์ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นอีพอกซีเรซินหรือพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ที่มีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สูงและมีโครงสร้างแบบตาข่ายในปริมาณมาก (Highly cross-linked structure) เพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับความแข็งแรงกด (compressive strength) โดยไม่เกิดการแตกหักของเดือย นอกจากนั้นพอลิเมอร์เมทริกซ์ยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับแรงเค้นที่เกิดขึ้นภายในเดือยฟันอีกด้วย พบว่า อัตราส่วนเส้นใยต่อเมทริกซ์ (fiber/matrix ratio) เป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงดัดขวางของเดือยเรซินคอมพอสิตแต่ละชนิด [75-78]

ในแง่คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใย มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน (dentin) เมื่อได้รับแรงกระทำจะเกิดลักษณะการกระจายแรงคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในเนื้อฟันธรรมชาติ [79] Kinney และคณะ [80] ได้รวบรวมวรรณกรรมเกี่ยวกับค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเนื้อฟัน ตั้งแต่ปี 1950 จนถึงปี 2003 พบว่าค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเนื้อฟันที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการอยู่ในช่วง 10 ถึง 30 กิกกะพาสคาล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.3 กิกกะพาสคาล โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 4.0 กิกกะพาสคาล โดยค่าที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางโครงสร้างที่แตกต่างกันของเนื้อฟันในแต่ละซี่และในแต่ละบริเวณ นอกจากนั้นยังขึ้นกับลักษณะของความหนาแน่น ทิศทาง และขนาดของท่อภายในเนื้อฟัน (dentinal tubule) ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละบริเวณของเนื้อฟัน ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบฟันต่างซี่ ต่างตำแหน่ง หรือต่างวิธีการจึงส่งผลให้ค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเนื้อฟันมีช่วงที่กว้าง

ในปี 2006 Plotino และคณะ [81] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการยืดหยุ่น (flexural properties) ของเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย เดือยสำเร็จรูปที่สร้างจากโลหะ และเนื้อฟันในคลองรากฟัน ด้วยวิธีดัดแบบ 3 จุด พบว่าเดือยชนิดเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber), เดือยเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยซิลิกา-เซอร์คอเนียม (silica-zirconium fiber post), เดือย เรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยเซอร์คอเนียม (zirconia glass post), เดือยและแกนโลหะผสมทองชนิดหล่อ (gold cast post), เดือยสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel post), เดือยสำเร็จรูปโลหะไททาเนียม (titanium post) และเนื้อฟัน มีค่ามอดูลัสของ

สภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 34.4 (3.6), 24.4(3.8), 28.2(3.4), 53.4(4.5), 108.6(10.7), 66.1(9.6) และ 17.5(3.8) กิกกะพาสคาล ตามลำดับ จากค่าดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเดือยเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยจะมีความยืดหยุ่นมากกว่าเดือยที่ผลิตขึ้นจากโลหะหรือโลหะผสม เมื่อมีแรงมากระทำเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยจะเกิดการบิดงอในระดับที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันมากกว่าเมื่อเทียบกับเดือยที่สร้างจากโลหะหรือโลหะผสม เมื่อพิจารณาเดือยที่สร้างจากโลหะหรือโลหะผสมซึ่งมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นสูงกว่า พบว่าจะมีความแข็งและมีคุณสมบัติต้านทานต่อการบิดงอได้ดีกว่าเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย ส่งผลให้เดือยที่สร้างจากโลหะสามารถต้านทานการแตกหักเมื่อได้รับแรงกระทำในระดับที่สูงกว่าเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย

จากคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อฟันที่บูรณะด้วยเดือยเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิตได้รับแรงกระทำจะเกิดลักษณะการกระจายแรงคล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในฟันธรรมชาติ ซึ่งต่างจากกรณีเดือยโลหะที่จะเกิดความเค้นปริมาณมากบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยและเนื้อฟัน [79]

จากผลการศึกษาโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ เกี่ยวกับชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยและรูปร่างของเดือยต่อลักษณะการกระจายแรงบริเวณรากฟันในฟันหน้าที่ไม่มีลักษณะเฟอร์รูล โดยสร้างแบบจำลอง 4 กลุ่ม คือ เดือยขนาดเล็กและยาว เดือยขนาดเล็กและสั้น เดือยขนาดใหญ่และยาว เดือยขนาดใหญ่และสั้น เปรียบเทียบระหว่างเดือยที่สร้างจากโลหะผสมทองชนิดที่ 4 เดือยสำเร็จรูปเหล็กกล้าไร้สนิมร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิต และเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิต พบว่าชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยมีผลต่อปริมาณความเค้นที่เกิดบริเวณผิวรากฟันทางด้านริมฝีปากรอบส่วนปลายของเดือย โดยเดือยสำเร็จรูปชนิดเรซินคอมพอสิตจะมีแรงเค้นบริเวณปลายรากน้อยกว่าเดือยโลหะในทุกกลุ่มทดลอง และเดือยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะมีแรงเค้นบริเวณปลายรากน้อยกว่าเดือยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ เดือยฟันที่ยาวน้อยกว่า 2/3 ของความยาวรากจะมีแรงเค้นกระทำต่อเนื้อฟันมากกว่าเดือยที่ยาวไม่ว่าจะเป็นกลุ่มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กหรือใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบการกระจายแรงระหว่างเดือยโลหะหล่อและเดือยสำเร็จรูปโลหะร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิต พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันไม่ว่าในกลุ่มที่ยาวหรือสั้น [82]

ดังนั้นการใช้เดือยเรซินคอมพอสิตบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันแล้วจึงน่าจะช่วยลดโอกาสเกิดการแตกของฟันในลักษณะที่ไม่สามารถบูรณะได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เดือยที่สร้างจากโลหะหรือเซอร์โคเนีย [70, 82, 83]

ในปี 2007 Nauman และคณะ [84] ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความแข็งของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟันที่มีต่อค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันตัดบนซี่กลางที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันและได้รับการบูรณะด้วยครอบฟันกระเบื้องล้วนภายใต้แรงอุณหกลศาสตร์ (thermomechanical loading) ซึ่งจำลองระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีเฟอร์รูลและไม่มีเฟอร์รูล ร่วมกับการบูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปไทเทเนียมซึ่งมีค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 110 กิกกะพาสคาล และเดือยสำเร็จรูป

เรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยแก้วซึ่งมีค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 30-40 กิกกะพาสคาล พบว่ากรณีที่ไม่มีลักษณะเฟอร์รูลรอบซี่ฟัน ความแตกต่างของค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของเดือยสำเร็จรูปมีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของฟันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีลักษณะเฟอร์รูลรอบซี่ฟัน จากการศึกษาครั้งนี้ Nauman และคณะ สรุปว่าปริมาณเนื้อฟันที่เหลือหลังการรักษาคลองรากฟันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมากกว่าค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้สร้างเดือยฟัน

เมื่อศึกษาในฟันเขี้ยวที่มีคลองรากผาย (Flared root canal) และไม่มีลักษณะเฟอร์รูลรอบซี่ เปรียบเทียบกรณีที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตโดยใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึดกับกรณีที่บูรณะด้วยเดือยโลหะหล่อและใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด พบว่าทั้งสองกรณีมีค่าความต้านทานต่อการแตกหักไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้น พบว่ากลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตพบการหักของเดือยในส่วนตัวฟันหรือบริเวณคอฟัน และพบความล้มเหลวที่ไม่สามารถบูรณะได้ (catastrophic fracture) ร้อยละ 30 ส่วนกรณีที่บูรณะด้วยเดือยโลหะหล่อและยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จะพบความล้มเหลวที่ไม่สามารถบูรณะได้ร้อยละ 70 [85]

ดังนั้นกรณีที่เหลือเนื้อฟันน้อย (Compromised root structure) ไม่สามารถสร้างลักษณะเฟอร์รูลได้ การเลือกใช้เดือยสำเร็จรูปร่วมกับแกนเรซินคอมพอสิตและยึดด้วยเรซินซีเมนต์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ [68, 86-87]

การยึดติดระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน

Monticelli และคณะ [7] กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะด้วยครอบฟันร่วมกับเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและแกนเรซินคอมพอสิต คือ การสร้างการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างผิวคลองรากฟัน เดือยฟันและวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟัน Duret และคณะ [10] กล่าวว่า การสร้างชิ้นงานที่สามารถผสานรวมเป็นหนึ่งเดียวกับเนื้อฟันธรรมชาติและมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมือนกันทั้งชิ้นถือเป็นจุดหมายหลักของการบูรณะ ซึ่งการจะเกิดลักษณะดังกล่าวได้ จำเป็นจะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมือนหรือใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติมากที่สุด และจะต้องสร้างให้มีการยึดติดที่มีคุณภาพระหว่างเนื้อฟันและวัสดุที่ใช้บูรณะ Morgano และ Brackett [43] กล่าวว่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สร้างแกนฟันและการยึดติดระหว่างแกนฟันและเนื้อฟันธรรมชาติเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของครอบฟันที่สร้างขึ้น

จะเห็นได้ว่าบริเวณรอยต่อทั้งระหว่างเดือยกับส่วนแกนและแกนกับเนื้อฟันโดยรอบเป็นบริเวณสำคัญที่มีผลต่อการเกิดการผนึกในส่วนตัวฟันและการรองรับเชิงกลที่เพียงพอแก่ครอบฟันที่จะสร้างขึ้น และยังสัมพันธ์กับการเกิดการล้มเหลวของชิ้นงานอีกด้วย ดังนั้นการยึดติดและความเสถียรของการยึดติดบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยและแกนจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการบูรณะ [8] ด้วยเหตุนี้วัสดุที่

เหมาะสำหรับใช้สร้างแกนจึงควรมีคุณสมบัติให้การยึดติดที่ดีและมีคุณภาพกับส่วนเนื้อฟันธรรมชาติและเดือยฟันที่เลือกใช้นอกจากนั้นจะต้องมีความแนบที่ดีกับผิวสัมผัสอีกด้วย [9]

การยึดติดระหว่างเรซินคอมพอสิตกับเดือยฟันสำเร็จรูปซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการการเกิดพอลิเมอร์มาแล้วจะเกิดได้ 2 แนวทาง [88] คือ

- เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระ (free radical) ของวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนกับพันธะคู่ที่ยังเหลืออยู่จากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (unconverted double bonds) ของหมู่ทำหน้าที่ของพอลิเมอร์ของเดือยสำเร็จรูป
- เกิดจากการที่มอนอเมอร์ของวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนฟันแทรกซึม(Interdiffusion) เข้าไปในบริเวณที่สัมผัสกับผิวของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต

เมื่อพิจารณาการยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีส่วนเมทริกซ์เป็นอีพอกซีเรซินกับวัสดุเรซินคอมพอสิต พบว่า จะไม่มีการยึดติดด้วยพันธะเคมีระหว่างวัสดุทั้งสอง เพราะส่วนเมทริกซ์ของเดือยสำเร็จรูปเป็นอีพอกซีเรซินซึ่งเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ (Well-polymerized epoxy resin) แล้วตั้งแต่ในขั้นตอนการผลิต จึงไม่มีพันธะคู่ของหมู่ทำหน้าที่เหลือสำหรับทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของวัสดุเรซินคอมพอสิตที่เติมเข้าไปใหม่

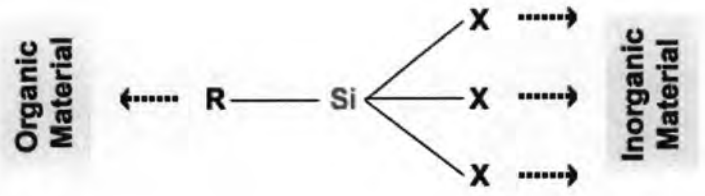
ส่วนการยึดติดที่เกิดจากการแทรกซึมบริเวณผิวสัมผัสอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เลือกใช้เดือยสำเร็จรูปที่สร้างจากพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทั้งหมดหรือบางส่วนเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นร่วมกับเรซินคอมพอสิตซึ่งมีมอนอเมอร์ที่สามารถละลายโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้นได้ ความสามารถในการทำละลายของมอนอเมอร์แต่ละตัวจะขึ้นอยู่กับค่าปัจจัยการทำละลาย (solubility parameter) ซึ่งควรจะมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับวัสดุที่ต้องการละลาย จากการศึกษาของ Mannocci และคณะ [88] พบว่ามอนอเมอร์ของเรซินยึดติด (bonding resin) ซึ่งมีส่วนประกอบเป็น bis-GMA, TEGDMA และ HEMA สามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างพอลิเมอร์แบบผสมของ everStick post ได้ แต่ไม่พบลักษณะดังกล่าวในเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตที่มีโครงสร้างเป็นโครงตาข่าย ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนการศึกษาของ Sahafi และคณะ [89] ที่พบว่าแรงยึดระหว่างเรซินคอมพอสิตกับเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตที่มีส่วนเมทริกซ์เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นโครงตาข่ายมีค่าต่ำกว่าค่าแรงยึดระหว่างเรซินคอมพอสิตกับเนื้อฟันธรรมชาติ

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีความพยายามที่จะเตรียมสภาพผิวของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต เพื่อเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างผิวรอยต่อของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตกับวัสดุเรซินคอมพอสิต ในระยะแรกมีการแนะนำให้ใช้สารไซเลนมาทาบริเวณผิวเดือยเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ [89] ซึ่ง

ต่อมาได้มีการนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเตรียมสภาพผิวเดือยฟันด้วยวิธีเชิงกลหรือการปรับสภาพด้วยสารเคมีเพื่อเพิ่มค่าแรงยึดระหว่างเดือยและแกนเรซินคอมพอสิต [14-20]

สารไซเลน

Organofunctional trialkoxysilane coupling agent หรือเรียกสั้นๆ ว่าไซเลน เป็นสารสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ที่มีอะตอมของซิลิคอน (Si) อยู่ภายในโมเลกุล โครงสร้างโมเลกุลของไซเลนจะมีสองปลายที่ทำหน้าที่ต่างกัน ปลายด้านหนึ่งจะมีหมู่ทำหน้าที่ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับสารอินทรีย์ (organic functional part) โดยอาจจะเป็น vinyl ($-CH=CH_2$), allyl ($-CH_2CH=CH_2$), amino ($-NH_2$) หรือ isocyanato (–N=C=O) ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะมีหมู่อัลคอกซี ซึ่งอาจเป็น methoxy ($-O-CH_3$) หรือ ethoxy ($-O-CH_2CH_3$) ปลายด้านนี้จะทำหน้าที่สร้างพันธะโควาเลนท์เชื่อมระหว่างสารไซเลนกับเมทริกซ์ของสารอนินทรีย์



รูปที่ 1 ภาพจำลองลักษณะการเชื่อมยึดระหว่างโมเลกุลไซเลนกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

โครงสร้างที่แตกต่างกันภายในโมเลกุลของไซเลนทำให้เรียกชื่อแตกต่างกันออกไป เช่น กรณีที่มีซิลิคอน (Si) หนึ่งอะตอมร่วมกับหมู่อัลคอกซีสามกลุ่ม จะเรียกว่า มอนอฟังชั่นนอล กรณีที่มี ซิลิคอน 2 อะตอมและแต่ละอะตอมมีหมู่อัลคอกซี 3 กลุ่ม เรียกว่า ไบฟังชั่นนอล ส่วนกรณีที่มีซิลิคอนอะตอม 3 ตัว และแต่ละตัวมีหมู่อัลคอกซี 3 กลุ่ม เรียกว่า ไตรฟังชั่นนอล [90]

สารไซเลนจะทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (Mediator) และตัวส่งเสริม (promoter) การยึดติดระหว่างเมทริกซ์ที่เป็นสารอินทรีย์และเมทริกซ์ที่เป็นสารอนินทรีย์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำสารไซเลนมาใช้อย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรมเพื่อเชื่อมต่อสารอินทรีย์เข้ากับสารอนินทรีย์

ปฏิกิริยาเคมีของสารไซเลน

สารไซเลนจะสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางและตัวส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้ก็ต่อเมื่อถูกแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolyzed) และเกิดปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) โดยเมื่อสารไซเลนอยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (aqueous solution) หมู่อัลคอกซีจะทำปฏิกิริยากับ

น้ำเกิดเป็นหมู่ไซลานอล (-Si-OH) ซึ่งมีความเป็นกรด และแอลกอฮอล์ โดยค่าความเป็นกรดของหมู่ไซลานอลจะขึ้นกับหมู่ออร์กาโนฟังชั่นนอล (organofunctional) ภายในโมเลกุลของไซเลน สามารถเขียนเป็นสมการปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้

$$R'\text{-}Si(OR)_3 + 3H_2O \longrightarrow R'\text{-}Si(OH)_3 + 3R\text{-}OH$$

ปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำของสารไซเลนมีคุณสมบัติ Oxonium ion (O_3H^+) catalyzed โดย ณ ค่า pH ของสารละลายเท่ากับ 4 อัตราการควบแน่นระหว่างหมู่ไซลานอลของไซเลนโมเลกุลเดี่ยว (monomeric silane molecule) ไปเป็นโอลิโกเมอร์ (oligomer) ซึ่งมีโมเลกุลใหญ่กว่าจะมีค่าต่ำสุด และที่ระดับความเป็นกรดด่างดังกล่าวสารละลายไซเลนจะมีความคงตัวมากที่สุด โดยทั่วไปมักเติมกรดอะซีติก (acetic acid) ลงไปในสารละลายไซเลนเพื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บสารไซเลนโดยไม่เกิดการเสื่อมสภาพ ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำของสารไซเลนจะแตกต่างกันขึ้นกับความเข้มข้นของสารไซเลน ชนิดของตัวทำละลาย และอุณหภูมิ

โมเลกุลของไซเลนที่เกิดจากปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำจะเกิดการควบแน่นระหว่างโมเลกุลเกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ไดเมอร์ ดังสมการ

$$R'\text{-}Si(OH)_3 + R'\text{-}Si(OH)_3 \longrightarrow R'\text{-}Si(OH)_2\text{-}O\text{-}Si\text{-}(R')(OH)_2 + H_2O$$

โมเลกุลของไดเมอร์ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเอง เกิดเป็นไซลอกเซนออลิโกเมอร์ (siloxane oligomer) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ดังนั้นภายในสารละลายจึงประกอบด้วยโมเลกุลของ ไซลอกเซนมอนอเมอร์ (siloxane monomer), ไซลอกเซนไดเมอร์ (siloxane dimer) และ ไซลอกเซนออลิโกเมอร์ (siloxane oligomer) ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวจะเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกลายเป็นออลิโกเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น แต่ละโมเลกุลของไซลอกเซนออลิโกเมอร์จะเชื่อมต่อกันเองและเชื่อมกับเมทริกซ์ของสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกา หรือ ออกไซด์ของโลหะ (metal oxide) ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซี (-OH group) ด้วย –Si-O-M bonds (M = metal)

กรณีใช้สารไซเลนเพื่อปรับสภาพผิวโลหะซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซีปรากฏอยู่ในชั้นออกไซด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อโลหะสัมผัสอากาศ หมู่ไซลานอลในสารไซเลนจะสร้างพันธะไซลอกเซน (siloxane bond) ทั้งชนิด –Si-O-M และพันธะ –Si-O-Si ดังนั้นบริเวณผิวของโลหะที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลนจึงปรากฏชั้นฟิล์มบางๆของ Hydrophobic and branched polysiloxane layer ซึ่งมีพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลออลิโกเมอร์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา (free hydrogen bonded oligomer) เคลือบอยู่ และมักพบโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ในชั้นฟิล์มดังกล่าวด้วย ส่วนกรณีผิวสัมผัสที่เป็นซิลิกา (Quartz หรือ SiO_2) หรือซิลิเกต จะ

พบเพียงชั้นของ Si-O-Si เคลือบผิวอยู่ ความหนาของชั้น branched siloxane จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายไซเลน ในทางทฤษฎีชั้นดังกล่าวควรมีเพียงชั้นเดียว (monolayer) แต่ในความเป็นจริงพบว่าชั้นดังกล่าวมีความหนาประมาณ 50 ถึง 100 นาโนเมตร และมีการเรียงตัวของโมเลกุลของไซเลนที่ไม่เป็นระเบียบ [90]

มีทฤษฎีที่พยายามอธิบายเกี่ยวกับกลไกของสารไซเลนในการเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมพอสิต 2 ทฤษฎี [91] คือ

- ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี (the chemical bond theory)
- ทฤษฎีกลไกการสลายพันธะแบบผันกลับได้ (reversible hydrolytic bond mechanism theory)

ทฤษฎีการเกิดพันธะเคมี (The chemical bond theory)

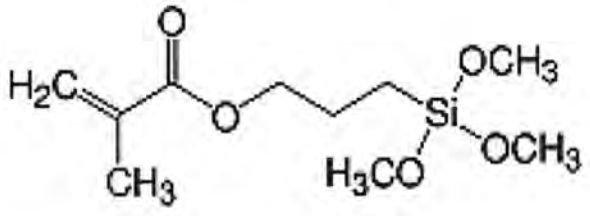
อธิบายว่าสารไซเลน หรือ Bifunctional trialkoxy silane [R´Si(RO)3] เป็นโมเลกุลที่มีหมู่อัลคอกซี (RO) ซึ่งเป็นหมู่ทำหน้าที่ที่สามารถถูกสลายได้ด้วยน้ำ (hydrolyzable functional group) อยู่ 3 กลุ่ม และมีหมู่อัลคิล (R´) ซึ่งเป็นหมู่ทำหน้าที่ที่ไม่สามารถสลายได้ด้วยน้ำ (nonhydrolyzable functional group) อยู่ 1 กลุ่ม บริเวณปลายแต่ละด้านของโมเลกุล โดยหมู่อัลคอกซี (RO) ทั้ง 3 กลุ่ม สามารถสร้างพันธะโควาเลนท์กับสารอนินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซีลอยู่ในโมเลกุล เช่น แก้ว หรือ ซิลิกา ส่วนหมู่อัลคิลสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่คาร์บอน-คาร์บอน (C=C double bond) เช่น เมทาคริเลตในวัสดุอุดเรซินคอมพอสิต

ทฤษฎีกลไกการสลายพันธะแบบผันกลับได้ (Reversible hydrolytic bond mechanism theory)

เป็นทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะสามารถอธิบายการเกิดความคงตัวของการสลายด้วยน้ำ (Hydrolytic stability) ของการยึดติดที่เกิดจากสารไซเลนได้ ทฤษฎีนี้จะเป็นการอธิบายต่อจากทฤษฎีแรก โดยกล่าวว่า พันธะเคมีระหว่างสารไซเลนกับสารอินทรีย์มีคุณสมบัติพิเศษ คือสามารถแยกจากกันและกลับมาต่อกันใหม่ (reversibly broken and remade) ในสภาวะที่มีน้ำ บริเวณผิวรอยต่อจึงมีคุณสมบัติในการลดความเค้น (stress relaxation) ทำให้สามารถคงการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสได้ กลไกการยึดติดรูปแบบดังกล่าวจะเกิดขึ้นในกรณีที่มีภาวะสมดุลพลวัต (dynamic equilibrium) ระหว่างน้ำและหมู่ไซลานอล

สารไซเลนกับงานทางทันตกรรม

โดยทั่วไปทันตแพทย์นิยมใช้สารไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์กับสารประกอบอนินทรีย์ที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ภายในโมเลกุลของไซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมจะมีเมทาคริเลตทำหน้าที่เป็นหมู่อัลคิล (R′) เป็นซึ่งเข้ากันได้กับไดเมทาคริเลตภายในโมเลกุลของเรซินคอมพอสิต สารไซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรม แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสารไซเลนขวดเดี่ยวที่ไฮโดรไลซ์แล้ว (prehydrolyzed single liquid silane) และกลุ่มไซเลนระบบแยกขวด (2 or 3 liquid silane primer) โดยมักเลือกใช้สารไซเลนที่อยู่ในรูปของ γ- methacryloxypropyl-trimethoxysilane (γ-MPS) ซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลายเอทานอล/น้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างระหว่าง 4-5 โดยมีค่าความเข้มข้นของสารไซเลนไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นสารไซเลนยังถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างวัสดุต่างชนิดกัน เป็นต้นว่า โลหะกับวัสดุคอมพอสิต เซรามิกกับคอมพอสิต และคอมพอสิตกับคอมพอสิต โดยเรซินคอมพอสิตที่มีหมู่เมทาคริเลตเป็นองค์ประกอบภายในโมเลกุลสามารถไซเลนเป็นสารช่วยเพิ่มการยึดติดได้



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ γ- methacryloxypropyl-trimethoxysilane

จะเห็นได้ว่าสารไซเลนทำหน้าที่คล้ายสะพานพันธะเคมี (Chemically bridge) เชื่อมต่อระหว่างหมู่เมทาคริเลตของเรซินคอมพอสิตและหมู่ไฮดรอกซีลที่อยู่บนโมเลกุลของสารอนินทรีย์เท่านั้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาผิวรอยต่อระหว่างเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมพอสิตพบว่า สารไซเลนจะสร้างพันธะเคมีเฉพาะส่วนของเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนกับส่วนของเส้นใยแก้วที่ไม่มีเมทริกซ์หุ้มซึ่งโพล่พ้นเดือยมาเท่านั้น [4, 92-93]

เนื่องจากส่วนเมทริกซ์ของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยเป็นพอลิเมอร์ชนิดที่มีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สูงและมีโครงสร้างแบบตาข่ายในปริมาณมาก (Highly cross-linked polymer) จึงไม่มีหมู่ทำหน้าที่ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับการทำปฏิกิริยากับสารไซเลนเหลืออยู่ ทำให้ไม่สามารถสร้างพันธะเคมีระหว่างกันได้ นอกจากนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันระหว่างส่วนเมทริกซ์ของเดือยฟันสำเร็จรูปซึ่งเป็นอีพอกซี่เรซินกับเมทริกซ์ของเรซินคอมพอสิตซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานเป็นเมทาคริเลตเบสเรซิน เป็นเหตุผลที่ทำให้ทั้งสองส่วนไม่มีการสร้างพันธะเคมีระหว่างกัน [94-96]

นอกจากบทบาทในแง่การสร้างพันธะเคมีระหว่างเดือยสำเร็จรูปและวัสดุเรซินคอมพอสิตแล้ว ไซเลนยังมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติ Surface wettability ผิวสัมผัสอีกด้วย เนื่องจากสารไซเลนเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ (low viscosity) เมื่อถูกทาลงบนผิววัสดุ จึงไหลแผ่ไปบนพื้นผิววัสดุได้ดี ทำให้เกิดความแนบสนิทระหว่างผิวสัมผัส ลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals's force) ระหว่างผิวสัมผัส คุณสมบัติดังกล่าวทำให้แรงยึดระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารสารไซเลนกับวัสดุเรซินคอมพอสิตมีค่าสูงขึ้น

แม้ว่าสารไซเลนสามารถเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยแก้วหรือควอร์ทซ์กับส่วนเมทริกซ์ของวัสดุเรซินคอมพอสิตได้ [14] แต่ถึงอย่างไรก็ตาม Ferrari และคณะในปี 2006 [92] ได้สรุปว่าแรงยึดที่เพิ่มขึ้นระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและวัสดุเรซินคอมพอสิตที่เกิดจากการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารไซเลนก็ยังคงมีค่าน้อยกว่าแรงยึดที่เกิดระหว่างวัสดุเรซินคอมพอสิตกับเนื้อฟันธรรมชาติ

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาวิธีการปรับสภาพผิวของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตโดยวิธีเชิงกลหรือการใช้สารเคมีเพื่อสร้างให้เกิดลักษณะผิวที่ขรุขระซึ่งเอื้อให้เกิดการยึดติดเชิงกลระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปและเรซินคอมพอสิต เป็นต้นว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) กัดผิวเดือยฟัน การพ่นด้วยผลึกอลูมิเนียมออกไซด์หรือผลึกซิลิกา (sand blasting) ร่วมกับการทาสารไซเลน การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลอีพอกซีเรซินเพื่อให้อีพอกซีเรซินเมทริกซ์บางส่วนถูกทำลาย ทำให้เส้นใยแก้วที่โผล่พ้นส่วนเมทริกซ์มีปริมาณเพิ่มขึ้นร่วมกับการทาสารไซเลน หรือการเตรียมผิวด้วยโซเดียมเอททอกไซด์เพื่อละลายอีพอกซีเรซินบริเวณผิวร่วมกับการทาสารไซเลนและเรซินยึดติด [17-18, 20, 94-97]

ในปี 2006 Valandro และคณะ [20] ได้ศึกษาผลของการเตรียมสภาพผิวโดยการพ่นด้วยผลึกซิลิกอนออกไซด์ขนาด 30 ไมโครเมตร ที่มีต่อค่าความยืดหยุ่น (flexural strength) ของเดือยฟันเรซิน คอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยคาร์บอน (C-post) ชนิดเสริมเส้นใยควอร์ทซ์ชนิดทึบรังสีและชนิดโปร่งรังสี (AEstheti-plus และ Light-post) โดยทดสอบด้วยวิธีดัด 3 จุด พบว่าการเตรียมสภาพผิวด้วยวิธีนี้ไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่นของเดือยฟันทั้งสามชนิด

นอกจากนั้นยังมีแนวคิดในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างส่วนเมทริกซ์ของเดือยสำเร็จรูป โดยเปลี่ยนเมทริกซ์จากเดิมที่เป็นพอลิเมอร์ชนิดที่มีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์สูงและมีโครงสร้างแบบตาข่ายในปริมาณมากให้เป็นแบบผสมระหว่างพอลิเมอร์แบบโครงสร้างตาข่ายและพอลิเมอร์แบบเส้น โดยวิธีนี้บริษัทผู้ผลิตจะเคลือบเส้นใยแก้วที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงภายในเนื้อวัสดุด้วยพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) เมื่อ PMMA สัมผัสกับวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกน มอนอเมอร์ของเรซินคอมพอสิตจะทำให้ PMMA บางส่วนละลายออกไป เกิดร่องหรือส่วนคอดบริเวณผิวเดือยสำเร็จรูป ซึ่งเอื้อต่อการเกิดการยึดติด

เชิงกลบริเวณผิวสัมผัส นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตยังได้ทำการปรับแต่งผิวเดือยสำเร็จรูปเพื่อให้เกิดการสร้างพันธะเคมีที่ดีกับเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนฟันหรือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ยึดในคลองรากฟันอีกด้วย [93]

วัสดุสำหรับสร้างแกน

วัสดุที่ใช้สร้างแกนฟันสำหรับเดือยสำเร็จรูป สามารถเลือกใช้ได้หลากหลายชนิด โดยทั่วไปนิยมใช้อะมัลกัมหรือเรซินคอมพอสิต Morgano และ Brackett [43] ได้กล่าวถึงคุณสมบัติในอุดมคติของวัสดุที่สร้างแกนฟันว่า ควรมีค่าความแข็งกด (Compressive strength)และ ค่าความแข็งแรงดัดขวาง (flexural strength) ที่มากเพียงพอที่จะต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวได้โดยไม่เกิดการแตกหัก มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) สามารถต้านทานการรั่วซึมบริเวณผิวสัมผัสระหว่างส่วนแกนและเนื้อฟัน ใช้งานง่าย สามารถยึดติดกับเนื้อฟันส่วนที่เหลือได้ มีค่าสัมประสิทธิ์การหดและขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ มีความเสถียรทางมิติ (dimensional stability) ดูดน้ำน้อย และมีความสามารถในการป้องกันการเกิดฟันผุ นอกจากนั้น Monticelli และคณะในปี 2005 [93] กล่าวว่า วัสดุที่ใช้สร้างแกนจะต้องมีความแนบสนิทดีกับผิวสัมผัสและมีการยึดติดที่ดีกับส่วนเดือย โดยบริเวณผิวสัมผัสจะต้องมีลักษณะต่อเนื่องไม่มีฟองอากาศตลอดแนว เนื่องจากฟองอากาศดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มความเค้น (stress raiser) และเป็นจุดเริ่มต้นของความล้มเหลวเชิงกลของผิวสัมผัสนั้นๆ

จากข้อกำหนดข้างต้น พบว่าวัสดุอะมัลกัมเป็นวัสดุบูรณะที่มีความแข็งแรงกดสูง มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นมากจึงมีความเสถียรทางมิติมาก เมื่อเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากสภาวะในช่องปาก เศษอะมัลกัมที่ถูกกัดกร่อนจะสะสมอยู่บริเวณขอบรอบรอยบูรณะ ช่วยลดการรั่วซึมตามขอบได้ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ ข้อด้อยของวัสดุชนิดนี้ คือใช้เวลาในการก่อตัวนาน ทำให้ไม่สามารถกรอแต่งรูปร่างได้ทันทีหลังอุดและมีสีที่แตกต่างจากฟันธรรมชาติ จึงไม่สามารถใช้ได้ในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม จากข้อด้อยของอะมัลกัมที่กล่าวมาส่งผลให้เรซินคอมพอสิตกลายเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายสำหรับสร้างแกนฟันร่วมกับเดือยสำเร็จรูป ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Light cured) ชนิดบ่มเอง (self cured) หรือชนิดที่บ่มด้วยแสงร่วมกับการบ่มเอง (dual cured)

จากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เรซินคอมพอสิตชนิดไหลแผ่เพื่อสร้างแกนฟันร่วมกับเดือยสำเร็จรูปเปรียบเทียบกับเรซินคอมพอสิตชนิดไฮบริด พบว่าวัสดุเรซินคอมพอสิตชนิดไหลแผ่จะให้ลักษณะของเนื้อวัสดุและลักษณะของผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปกับแกนเรซินคอมพอสิตที่ต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน (Structural homogeneity and continuity) มากกว่าเรซินคอมพอสิตชนิดไฮบริด [93] แต่ในแง่คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพบว่าเรซินคอมพอสิตชนิดไหลแผ่มีคุณสมบัติเชิงกลประมาณร้อยละ 60-90 เทียบกับเรซินคอมพอสิตชนิดทั่วไป [98] นอกจากนั้นจากการที่เรซินคอมพอสิตชนิดไหลแผ่มีปริมาณเรซินมากกว่าเมื่อ

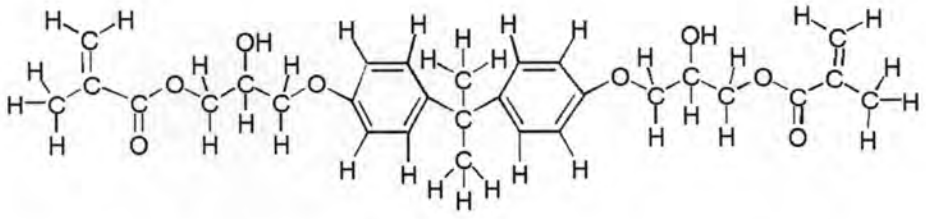
เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์วัสดุจะเกิดการหดตัว (polymerization shrinkage) มากกว่าเรซินคอมพอสิตชนิดทั่วไป ส่งผลให้เกิดความเค้นบริเวณผิวรอยต่อซึ่งมีผลรบกวนการยึดติดระหว่างผิว [99]

ในปี 2006 Vano และคณะ [100] พบว่าค่าแรงยึดระหว่างวัสดุเรซินคอมพอสิตกับเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตขึ้นกับชนิดของเรซินคอมพอสิตและวิธีการปรับสภาพผิว โดยวิธีการปรับสภาพผิวจะเป็นตัวกำหนดลักษณะพื้นผิวของเดือย (surface characteristics)

วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมพอสิต

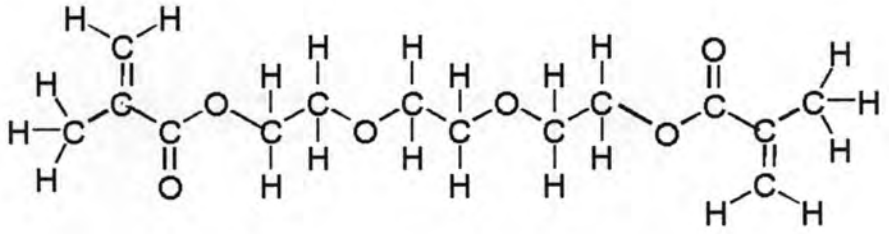
วัสดุบูรณะฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นเรซินได้รับการวิจัยและพัฒนาในช่วงต้นปี 1960 เริ่มแรก Rafael Bowen ใช้อีพอกซีเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนเป็นวัสดุสำหรับสร้างชิ้นงานในห้องปฏิบัติการแล้วจึงนำไปยึดในโพรงฟันของผู้ป่วย วิธีดังกล่าวให้ผลการรักษาเป็นที่น่าพอใจ แต่มีปัญหาในแง่การขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องใช้เวลานานมากสำหรับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุ ต่อมาในปี 1962 Bowen จึงได้มีการปรับปรุงวัสดุโดยเปลี่ยนมาใช้อนุพันธ์ของเมทาคริเลตที่เกิดจากบิสฟีนอลเอ และ ไกลซิดิลเมทาคริเลต เรียกว่า 2,2-bis[4(2-hydroxy-3-methacryloxayproproxy)-phenyl] หรือเรียกสั้นๆว่า bis-GMA ร่วมกับวัสดุอัดแทรกซึ่งเป็นสารจำพวกสารอนินทรีย์ โดยใช้ชื่อทางการค้าว่าคอมพอสิต

ภายในโมเลกุลของ bis-GMA จะประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่มีหมู่เมทาคริเลตซึ่งเป็นหมู่ทำหน้าที่อยู่ 2 กลุ่ม เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์โมเลกุลของ bis-GMA จะสามารถเชื่อมต่อกันเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบตาข่ายและมีการหดตัวเนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ต่ำ (ประมาณร้อยละ 4-6)



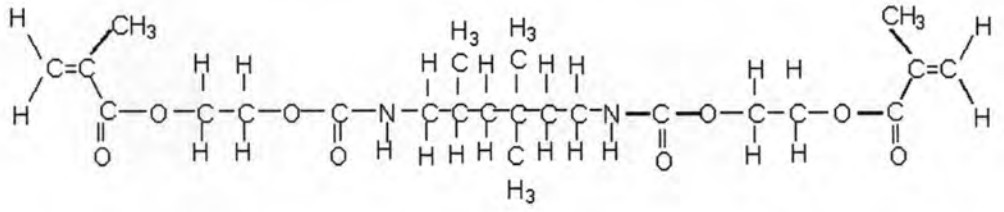
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ bis-GMA

เนื่องจากแต่ละโมเลกุลของมอนอเมอร์ของ bis-GMA สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ทำให้วัสดุมีความหนืดสูง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในปี 1970 Henry Lee ได้ปรับปรุงส่วนผสมโดยเพิ่ม ไตรเอทีลีนไกลคอล ไดเมตาคริเลต (TEGDMA) เพื่อทำให้วัสดุมีความหนืดลดลง นอกจากนั้นยังทำให้สามารถเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกได้มากขึ้นโดยไม่มีผลต่อความหนืดของวัสดุ ภายในโมเลกุลของ TEGDMA จะมีพันธะคู่ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ 2 คู่ อยู่บริเวณปลายแต่ละด้าน จากพัฒนาการดังกล่าวทำให้ได้ bis-GMA/TEGDMA resin ซึ่งมีการหดตัวประมาณร้อยละ 3-5



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ TEGDEMA

ต่อมาในปี 1974 Foster และ Walker ได้นำเสนอ urethane dimethacrylate (UDMA) เพื่อใช้ทดแทน bis-GMA เนื่องจากวัสดุมีความหนืดน้อยกว่า ทำให้สามารถเติมวัสดุอัดแทรกได้เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเติมมอนอเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำดังเช่นกรณีเลือกใช้ bis-GMA ข้อด้อยของ UDMA คือวัสดุมีความเปราะ และมีการหดตัวสูง (ประมาณร้อยละ 5-9) ถ้าใช้เดี่ยวๆ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงนิยมใช้ bis-GMA ร่วมกับการเติมมอนอเมอร์บางตัว เช่น TEGDMA, UDMA, EDMA (ethyleneglycol dimethacrylate) เพื่อควบคุมความหนืดของวัสดุ โดย TEGDMA เป็นมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของ UDMA

องค์ประกอบหลักของวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้ในปัจจุบันประกอบด้วย 4 กลุ่มใหญ่ คือ

- Organic polymer matrix

โดยทั่วไปนิยมใช้ Bis-GMA หรือ UDMA ซึ่งมีมีพันธะคู่คาร์บอนอยู่ภายในโมเลกุลบริเวณปลายทั้งสองด้าน จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ชนิด addition บริษัทผู้ผลิตมักผสมสารประกอบน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่มีพันธะคู่คาร์บอน เช่น triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA) เพื่อควบคุมความหนืดของเมทริกซ์

- Inorganic filler particle

วัสดุอัดแทรกอาจเป็นสารอนินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก (Fine particle) เช่น แก้ว หรือ ควอร์ซ หรืออาจเป็นสารอนินทรีย์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กมาก (microfine particle) เช่น colloidal silica สามารถใช้ขนาด รูปร่าง และการกระจายของอนุภาคเป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของวัสดุเรซินคอมพอสิต

- Coupling agent

มักเป็น organosilane ซึ่งทำหน้าที่ส่งเสริมการยึดติดระหว่างวัสดุอัดแทรกและส่วนเมทริกซ์

- Initiator-accelerator system

สารกระตุ้น (Accelerator) และสารเริ่มต้น (initiator) ทำหน้าที่ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ของวัสดุ เป็นตัวกำหนดว่าปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของวัสดุจะเป็นแบบบ่มด้วยตัวเอง (self cured) บ่มด้วยแสง (light cured) หรือแบบร่วม (dual cured)

วัสดุบูรณะฟันเรซินคอมพอสิตที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นชนิดที่เกิดการบ่มตัวด้วยแสง โดยบริษัทผู้ผลิตจะเติมสารแคมฟอโรควิโนน (camphoroquinone) ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างอนุมูลอิสระสำหรับเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยเมื่อสารแคมฟอโรควิโนนสัมผัสกับแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 450-490 นาโนเมตร จะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (exciting) และจะทำปฏิกิริยากับสารเอมีน เกิดการสลายตัวของสารเอมีน กลายเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เพื่อให้วัสดุแข็งตัว ด้วยปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลของพอลิเมอร์เมทริกซ์เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นตาข่ายสามมิติ (cross-linked three dimensional network) ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการพบว่ามีโมเลกุลของเมทาคริเลตในพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ยังไม่ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาประมาณร้อยละ 25-50 ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับเรซินคอมพอสิตที่เติมเข้ามาใหม่ได้

จะเห็นได้ว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาการยึดติดระหว่างเดือยเรซินคอมพอสิตและวัสดุเรซินคอมพอสิตในแง่มุมต่างๆ มากมาย แต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่กล่าวถึงผลของรูปแบบที่แตกต่างกันของสารไซเลนและชนิดของเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตชนิดเสริมเส้นใยที่มีต่อค่าแรงยึดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปและวัสดุเรซินคอมพอสิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะศึกษาในแง่มุมดังกล่าว เพื่อใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นความรู้พื้นฐานในการพิจารณาเลือกรูปแบบของไซเลนและชนิดของเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยที่ให้ติดระหว่างเดือยและแกนฟันที่ดีและมีคุณภาพ