

Thema

Dauerhaftigkeit des adhäsiven Verbundes zum Dentin

Duration of the adhesive composite to the dentin

Fragestellung

Kann die Dauerhaftigkeit des adhäsiven Dentinverbundes durch einfache Scher- bzw. Zugfestigkeitstests zuverlässig eingeschätzt werden?

Hintergrund

Bei der Bearbeitung von Dentin durch rotierende Instrumente entsteht unvermeidbar eine Schmierschicht. Zwei Strategien werden bei Dentinadhäsiven verfolgt, um trotz Schmierschicht einen Haftverbund zu erreichen. Entweder wird die Schmierschicht entfernt („etch and rinse“-Technik) oder die Schmierschicht wird belassen und in das Adhäsivsystem eingebunden („self-etch“-Technik). Im Falle von „etch and rinse“ wird das Dentin mit 35–37 % Phosphorsäure zunächst geätzt und danach in einem zweiten Arbeitsgang mit Wasser abgespült. Im Gegensatz dazu wird bei selbstätzenden Systemen Säure und Primer mit dem Luftbläser „getrocknet“, weswegen man auch von einer „etch and dry“-Technik sprechen könnte. Unabhängig von der Wahl des Ätzmodus ist hydrophiler „Primer“ und danach ein hydrophobes „Bonding“ in den nächsten Schritten zu applizieren. Die Vorgänge ätzen, „primen“, „benden“ können je nach Präparat in drei, zwei oder auch nur einem einzigen Arbeitsschritt zusammengefasst sein [3, 5].

Während die klinische Bewährung der „etch and rinse“-Systeme in der klassischen Drei-Stufen-Technik in der Literatur unstrittig ist, werden bei Zwei- und vor allem bei Ein-Stufen-Systemen Zweifel an der Dauerhaftigkeit des Verbundes

geäußert [2, 3, 5, 7, 10]. Viele Hersteller werben mit einer hohen Zug- bzw. Scherfestigkeit, die ihre Produkte auf Dentinoberflächen erzielen sollen. Eine hohe, häufig nur initial nach 24 h gemessene, Zug-/Scherfestigkeit wird als Garant für einen dauerhaften adhäsiven Verbund propagiert. Dieser Automatismus erscheint zweifelhaft vor dem Hintergrund, dass Zemente mit bekannt geringer Zug-/Scherfestigkeit wie z. B. Glasionomer- oder Zinkoxid-Phosphat-Zement klinisch Versorgung über Jahrzehnte erfolgreich auf dem Zahnstumpf fixieren [1]. Trotz bescheidener Zug-/Scherfestigkeit versiegeln beide Zemente die Dentinwunde offensichtlich erfolgreich gegen das feindliche feuchte Milieu in der Mundhöhle.

Dentinadhäsive versuchen mit Hilfe der Ausbildung einer Hybridschicht, eine mechanisch mikro-retentive Verzahnung und zum Teil einen chemischen Verbund zwischen Dentinbestandteilen und Adhäsivsystem zu erreichen. Diese Hybridschicht unterliegt aber einer Degradation durch Alterungsprozesse [2]. Diese betreffen die Monomere des Adhäsivs, aber auch die kollagenen Fasern des Dentins.

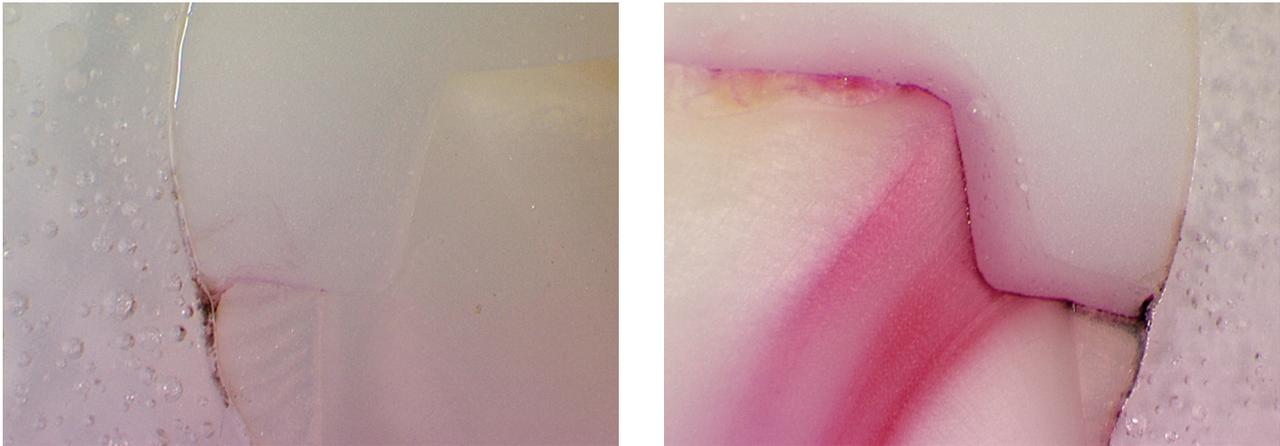
Hydrolyse der Monomermatrix

Hydrolyse ist ein chemischer Prozess, bei dem kovalente Bindungen zwischen den Polymeren durch Wassermoleküle aufgebrochen werden. Anfällig für die hydrolytische Spaltung sind besonders Polymere mit hydrophilen Gruppen. „Primer“ benötigen diese hydrophilen Gruppen, um das Dentin benetzen zu können [7, 10]. Ein-Stufen-Systeme haben besonders zahlreiche hydrophile Polymere, da für die Selbstätzung die Säuren ein wäss-



M. Behr

riges Milieu benötigen. Dies kann dazu führen, dass die „Primerschicht“ zur semi-permeablen Membran wird, in die Wasser nach der Polymerisation eindringen kann. Mittels Silbernitratfärbungen konnten sogenannte „water trees“ in der Hybridschicht von Ein- und Zwei-Stufen-Systemen nachgewiesen werden [7]. Dieses als „Nanoleakage“ beschriebene Phänomen kann auch Drei-Stufen-Systeme betreffen. Ist das kollagene Netzwerk durch den ersten Ätzvorgang freigelegt, muss der „Primer“ in das Netzwerk hinein diffundieren. In der oberen Schicht funktioniert die Diffusion besser als in den unteren Dentin-nahen Schichten, in die die relativ zähen „Primermonomere“ nicht so leicht hinein diffundieren können. Dadurch entstehen Fehlstellen: Das kollagene Netzwerk wird nur unvollständig von Monomeren umschlossen. Auch hier kann „Nanoleakage“ die Folge sein. Trotz der Leckagen kann aber bei „self-



Abbildungen 1a und 1b Zwei Darstellungen zur Farbpenetration: Links ein gutes, rechts ein schlechtes Beispiel für eine Abdichtung des Zements zum Dentin.

(Abb. 1a und 1b: M. Behr)

etch“- wie „etch and rinse“-Systemen die mikro-retentive Verzahnung der Hybrid-schicht so gut sein, dass hohe Zug- oder Scherfestigkeitswerte auftreten können. Daher sagen diese Testverfahren alleine wenig über die „Dichtigkeit“ eines adhäsiven Verbunds aus.

Degradation des exponierten kollagenen Netzwerks

Hauptkomponente der Dentinmatrix sind Kollagen von Typ I und Proteoglykane. Proteoglykane halten die dreidimensionale Struktur des kollagenen Netzwerks aufrecht, in dem sie die Kollagenketten zu räumlichen Strukturen verknüpfen [2]. Längere Ätzungen des Dentins (> 15 s) können zur Koagulation von Chondroitinsulphat, einem Bestandteil der Proteoglykane, führen. Wird dieses strukturell veränderte Kollagen in die Hybrid-schicht eingebunden, so sind die Grundlagen für eine spätere Kollagendegradation bereits gelegt, bevor die Hybrid-schicht richtig ausgebildet worden ist.

Das freigelegte kollagene Netzwerk wird nachfolgend nicht immer vollständig vom „Primer“ eingeschlossen. Bei „etch and rinse“-Systemen ist ein Gradient von oben nach unten zur Dentinbasis beschrieben worden. Während die oberen Schichten des Kollagens fast vollständig penetriert werden, kommen gera-

de im Dentin-nahen Bereich freiliegende exponierte Fasern vor. Zweistufige „self etch“-Systeme zeigen keinen Gradienten.

Die unvollständige Hybridisierung der Dentinoberfläche hinterlässt ungeschützte kollagene Fasern, die zum einen der hydrolytischen Degradation ausgesetzt sind, zum anderen durch im Dentin vorhandene Enzyme angegriffen werden können.

Während der Zahnentwicklung werden im Dentin Matrix Metalloproteinasen (MMP) eingeschlossen. Es wird angenommen, dass durch die Applikation von Säuren der Dentinadhäsive, die MMPs (MMP-2, MMP-9) aktiviert werden [8, 9]. Im partiell demineralisierten Dentin bauen sie die kollagenen Fasern teilweise ab und führen dann wiederum zu „Nanoleakage“. Inaktiviert werden die MMPs durch geringe Konzentrationen von Chlorhexidin [4, 6]. Auch hier gilt, dass eine hohe Zug- oder Scherfestigkeit durch mikro-retentive Verzahnung einen dichten und dauerhaften Dentinverbund vortäuschen kann, obwohl in Wirklichkeit „Nanoleakage“ besteht.

Empfehlungen

Folgende Maßnahmen können dazu beitragen, das Risiko von „Nano-

leakage“ beim adhäsiven Verbund zu verringern:

- Auswaschen der Kavität mit Matrix Metalloproteinase Hemmer wie z. B. Chlorhexidin.
- Sorgfältige Imprägnierung des Dentins mit „Primern“ durch verlängerte Einwirkzeit oder Bürsttechnik
- Zuverlässige Polymerisation durch ausgedehnte Polymerisationszeit
- Einfache zwei- und gar einstufige Dentinadhäsivsysteme sollten zusätzlich mit einem hydrophoben „Bonding“ verarbeitet werden.

Zusammenfassung

Je einfacher die Dentinadhäsivsysteme aufgebaut sind (Ein-/Zwei-Flaschensysteme), desto größer ist die Gefahr eine Hybrid-schicht zu erhalten, die der hydrolytischen und enzymatischen Degradationen nicht standhält. Hohe Zug- oder Scherfestigkeitswerte können über das Problem des „Nanoleakage“ hinwegtäuschen. Sie sind für sich alleine keine zuverlässigen Parameter, um die Dauerhaftigkeit des adhäsiven Verbundes zu beschreiben. DZZ

M. Behr, Regensburg

Literatur

- Behr M, Kolbeck C, Lang R, Hahnel S, Dirschl L, Handel G: Clinical performance of cements as luting agents for telescopic double crown retained removable partial and complete overdentures. *Int J Prosthodont* 22, 479–487 (2009)
- Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E: Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater* 24, 90–101 (2008)
- Carrillho MR, Carvalho RM, Tay FR, Yiu CK, Pashley DH: Durability of resin-dentin bonds related to water and oil. *Am J Dent* 18, 315–319 (2005)
- Carrillho M, Carvalho RM, Goes MF, di Hipolito V, Geraldeli S, Tay FR, Pashley DH, Tjäderhane L: Chlorhexidine pre-serves dentin bond in vitro. *J Dent Res* 86, 90–94 (2007)
- De Munck J, Van Landuyt K, Peumann M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, van Meerbeek B: A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 84, 118–132 (2005)
- Gendron R, Greiner D, Sorsa T, Mayrand D: Inhibition of the activities of matrix metalloproteinases 2, 8 and 9 by chlorhexidine. *Clin Diagn Lab Immunol* 6, 437–439 (1999)
- Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H: In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1- to 3 years. *J Dent Res* 79, 1385–1391 (2000)
- Nishitani Y, Yoshiyama M, Wadganokar B, Breschi L, Mannello F, Mazzoni A, Carvalho RM, Tjäderhane L, Tay FR, Pashley DH: Activation of gelatinolytic/collagenolytic activity in dentin by self-adhesives. *Eur J Oral Sci* 114, 160–166 (2006)
- Pashley DH, Tay FR, Yiu CK, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho R: Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res* 83, 216–221 (2004)
- Santerre JP, Shajii L, Leung BW: Relation of dental composite formulation to their degradation and the release of hydrolysed polymeric resin derived products. *Crit Rev Oral Biol Med* 12, 136–151 (2001)

PRAXIS / PRACTICE

Zeitschriftenreferat / Abstract

Über ein rechnergestütztes Zahnmodell und die entwicklungsbiologischen Ursprünge morphologischer Unterschiede

Salazar-Ciudad, I., Jernvall, J.: A computational model of teeth and the developmental origins of morphological variation. *Nature* 464, 583–586 (2010)

Die Autoren dieser Studie beschäftigen sich mit der Simulation von Zusammenhängen zwischen Genotyp und Phänotyp sowie deren entwicklungsbiologischen Hintergründen. Sie stellen fest, dass sich zur Untersuchung von mikroevolutionären Vorgängen die Höcker von Säugetierzähnen anbieten, da bei diesen vergleichsweise gute empirische Kenntnisse über die Auswirkungen von genetischen und zellulären Parametern auf die Höckergestaltung vorliegen. So zeigt die Dentition bei Ringelrobber (*Phoca hispida ladogensis*) einen hohen Variationsgrad, der typischerweise mit dem Fehlen exakter okklusaler Beziehungen verbunden ist. Dabei sind die Seitenzähne der Robben mit ihren hintereinander angeordneten Höckern relativ regelmäßig geformt, so dass es möglich ist, sie in einem rechnergestützten Modell zu erfassen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde nach der Entwicklung eines entsprechenden Computermodells sichergestellt, dass die Modellzähne den natürlichen Robbenzähnen bezüglich Kriterien wie Höckeranzahl, Höckerform, Höckerhöhe, Höckerneigung usw. gleichen. Anschließend wurden am Computer durch Veränderung von genetischen und zellulären Parametern verschiedene Mutationen systematisch durchgespielt. Die dadurch bewirkten virtuellen Variationen und diejenigen Variationen einer realen Wildrobberpopulation wurden mittels geometrischer Morphometrie analysiert und verglichen. Dabei konnte festgestellt werden, dass die virtuellen Variationen denen in der realen Robberpopulation weitgehend gleichen. Es zeigte sich weiterhin, dass für die Variationen in den Dentitionen vermutlich relativ einfache Ursa-

chen verantwortlich sind. Ein Parameter, der die Signalstoffausschüttung der Schmelzknoten variiert, ist für die Formgebung der Höcker verantwortlich. Ein anderer Parameter, der das Epithelwachstum reguliert, wirkt sich auf die anterior-posteriore Anordnung der Zähne im Kiefer aus. Außerdem konnten viele Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern nachgewiesen werden. So sind beispielsweise rundere Höckerformen in der Regel mit einer größeren Höckeranzahl verbunden.

Die Autoren gehen davon aus, dass mit ihrem Computermodell in Zukunft auch komplexere Genotyp-Phänotyp-Zusammenhänge aufgeklärt werden können. Ihre Ergebnisse könnten außerdem auch im Hinblick auf die Weiterentwicklung der zahnärztlichen Biotechnologie interessant sein. 

H. Tschernitschek, Hannover