

Optische Kohärenztomografie (OCT)

Ein Ausblick

Karies ist nach wie vor die häufigste chronische Erkrankung weltweit¹. Um Karies vorzubeugen oder kausal behandeln zu können, ist eine zuverlässige Diagnose erforderlich. Insbesondere beginnende kariöse Läsionen sollten so schnell wie möglich erkannt werden, um frühzeitige minimalinvasive Behandlungsoptionen zu sichern. Durch eine zeitige Erkennung der Demineralisationsprozesse können Läsionsmanifestationen stabilisiert oder gar eine Remineralisierung ermöglicht werden^{2,3}.

Herkömmliche Methoden wie die visuelle Inspektion und Radiologie weisen Einschränkungen für die Früherkennung und das Monitoring der Karies auf. Obwohl einige innovative Methoden auf Basis von Fluoreszenz- und Impedanzspektroskopie sowie digitaler Infrarottransillumination in die Kariesdiagnose implementiert wurden³, besteht nach wie vor ein medizinischer Bedarf an Verfahren, mit denen Kariesläsionen und deren Progression im Frühstadium diagnostiziert werden können. Darüber hinaus ist nach Füllungslegung (meist mit

Komposit) die klinische Beurteilung der Restaurationen eine Herausforderung, da sich Karies z. B. bei Verfärbungen am Füllungsrand mit den eingeführten diagnostischen Verfahren häufig nicht sicher feststellen lässt. In der Folge kann dies einen nicht indizierten Ersatz einer Füllung bedingen.

Optische Kohärenztomografie

Die optische Kohärenztomografie (OCT, Abb. 1) könnte eine gute Ergänzung zu den etablierten diagnostischen Methoden in der Zahnerhaltung sein. Die Abbildung der Zahnoberfläche mit OCT erfolgt kontaktfrei und nicht-invasiv, da keine ionisierende Strahlung zur Anwendung kommt. Abgebildet wird mit Licht im Wellenlängenbereich des Nahinfrarots. In der Medizin wird das diagnostische Verfahren gegenwärtig hauptsächlich in der Ophthalmologie zur Beurteilung von pathologischen Veränderungen der Netzhautschichten und des Sehnervs eingesetzt. Weitere Anwendungen fin-

den sich in der Dermatologie und Kardiologie. Die sensitiv abbildende Methodik ermöglicht mit hoher örtlicher Auflösung im Mikrometerbereich die Darstellung der Zahnhartsubstanzen, der gingivalen Gewebeschichten, von kariösen Läsionen, nichtmetallischen Füllungswerkstoffen aber auch von Füllungsimperfectionen oder Defekten in den Materialien. Die dreidimensionale Abbildung von Mikrostrukturen ist bis in eine Tiefe von 2 bis 3 mm möglich. In weniger als 20 Sekunden lassen sich Tomogramme von der Objekt Oberfläche aus 300 bis 500 zweidimensionalen Schnittbildern generieren. In-vitro- und In-vivo-Untersuchungen bestätigen, dass die OCT für die Diagnostik und Qualitätsbeurteilung gerade auch auf dem Gebiet der Zahnerhaltung sehr effektiv angewendet werden kann⁵. Hervorzuheben sind hierbei die Ergebnisse klinischer Studien zur Detektion und Bewertung früher kariöser Läsionen und zur Evaluierung von Komposit-Restaurationen, in denen die OCT angewendet wurde⁵⁻⁷.

OCT für die Kariesdiagnostik

Im Gegensatz zur visuellen Inspektion und zur Röntgendiagnostik, ermöglicht die OCT die Detektion kariöser und nichtkariöser Läsionen bereits in einem sehr frühen Stadium, unabhängig von Verfärbungen auf der Zahnoberfläche oder deren Feuchtigkeit. Auch lässt sich die laterale und axiale Ausdehnung der demineralisierten Bereiche sehr gut darstellen⁸. Initiale Demineralisationen erscheinen in den OCT-Schnittbildern als helle Zonen, häufig mit einer darun-

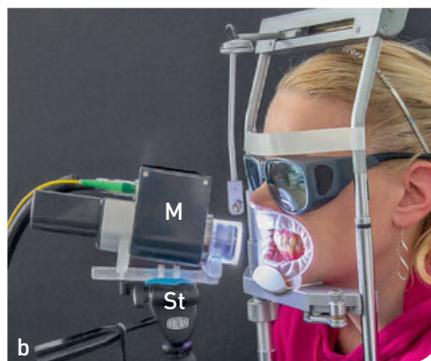
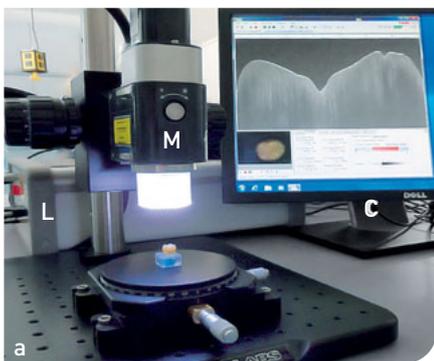


Abb. 1a und b a) Geräteaufbau der Spectral-domain-OCT (Telesto SP II; Fa. Thorlabs GmbH, Dachau), b) In-vivo-Abbildung vestibulärer Zahnoberflächen von Frontzähnen mit dem flexiblen Messkopf. Lasergenerator (L), Messkopf (M), Stativ (St), Computer mit der OCT-Software (C).

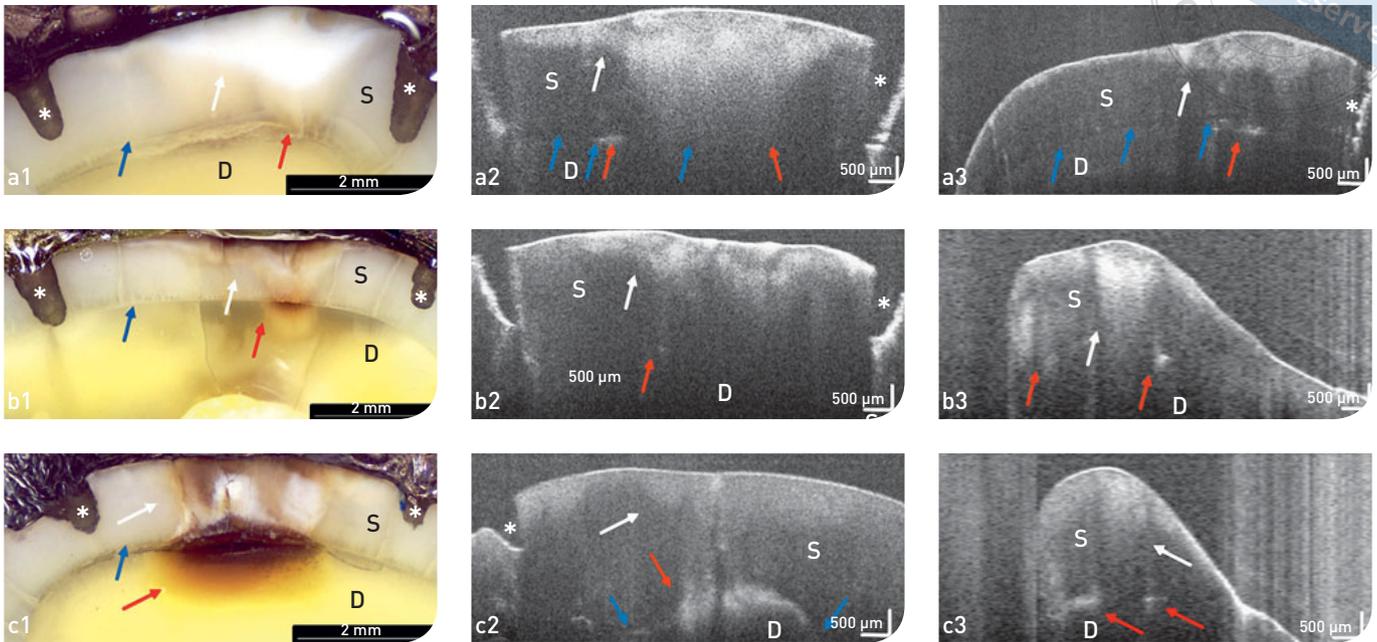


Abb. 2a bis c Extrahierte humane Molaren mit kariösen Glattflächenläsionen (ICDAS-Code 2). In den OCT-Schnittbildern erscheinen helle Zonen (z. T. mit Abschattung), die analog zu den lichtmikroskopischen Abbildungen der Zahnschliffe die kariösen Läsionen repräsentieren (weiße Pfeile). Die Läsionen wurden durch visuelle Inspektion als nichtkavitierte kariöse Läsionen (ICDAS-Code 2) eingestuft, während sowohl in den histologischen Schnittbildern (a1, b1 und c1) als auch in den OCT-Aufnahmen (a2 bis 3, b2 bis 3 und c2 bis 3) eine „Dentin-Beteiligung“ darstellbar ist (rote Pfeile). Bohrungen zur Markierung der Schnittbildebene (*), Schmelz (S), Dentin (D), Schmelz-Dentin-Grenze (blaue Pfeile).

terliegenden Abschattung (Abb. 2). Insbesondere kann die OCT durch wiederholte Abbildung initial-kariöser Läsionen (Monitoring) zu einem evidenzbasierten Kariesmanagement beitragen. Die etablierten Verfahren ergänzend, besitzt die nichtinvasive, bildgebende Methodik daher ein großes Potenzial für die zuverlässige Kariesfrühd Diagnose.

der Grenzfläche zwischen Zahn und Restauration zu beurteilen sowie kariöse Läsionen an Restaurationsrändern zu erkennen (Sekundärkaries). Bisher werden Füllungen nach funktionellen, biologischen und ästhetischen Kriterien beurteilt (FDI-Kriterien)⁹, auf deren Grundlage Aussagen zur klinischen

Bewährung aber erst mehrere Jahre nach der Applikation möglich sind¹⁰. Vor dem Hintergrund dieser Einschränkung scheint die OCT vielversprechend zu sein. So lassen sich Kompositrestaurationen in Echtzeit auch in vivo darstellen und der Verbund (Verbundversagen) zwischen Zahn und Komposit kann quan-

Bewertung von nichtmetallischen Restaurationen

Derzeit gibt es keine geeigneten Methoden, mit denen Zahnärzte in Zwischenschritten die Qualität von nichtmetallischen Restaurationen (gegenwärtig meist Komposit) während und nach deren Platzierung beurteilen können, ganz zu schweigen von einem abbildenden Verfahren. Darüber hinaus ist es wichtig, den Haftverbund sowohl an den Restaurationsrändern als auch entlang

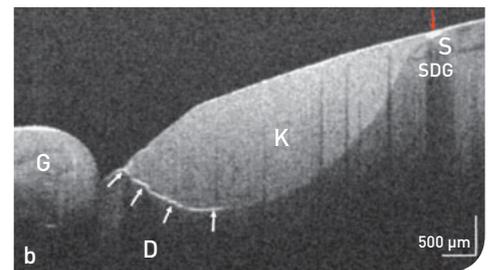


Abb. 3a und b Zahn 14 mit einer vestibulären Komposit Zahnfleischfüllung, a) klinisches Bild 14 Tage nach der Füllungslegung, b) OCT-Schnittbild der Kompositfüllung (K) in der gekennzeichneten Ebene (rote gestrichelte Linie). Ein klinisch nicht sichtbarer ausgedehnter zervikaler interfazialer Spalt zeigt sich als helle Signallinie (weiße Pfeile) zwischen Komposit und Dentin (D) bereits nach 14 Tagen und kennzeichnet ein beginnendes, sehr frühes Dentin-Komposit-Verbundversagen. Auch erscheint am Schmelz (S) das Signal zu einem kurzen Randspalt (roter Pfeil, klinisch ebenfalls nicht darstellbar). Kompositüberschüsse liegen nicht vor, die Materialverteilung in der Füllung ist homogen. Strukturelle Defekte im Komposit und in den Zahnhartsubstanzen sind nicht feststellbar. (Schmelz-Dentin Grenze = SDG, Gingiva = G).

titativ bewertet werden^{6,11} (Abb. 3). Das morphologische Korrelat für die Qualität des Verbundes zwischen Komposit und Restauration sind interfaziale Spalte (adhäsive Defekte). So zeigten etwa die Ergebnisse klinischer Studien, die in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie am Universitätsklinikum Leipzig unter Verwendung von OCT durchgeführt wurden, dass die Methodik gegenüber der klinischen Bewertung eine frühzeitigere und weniger aufwändige Bewertung der Leistung verschiedener Adhäsivsysteme und Komposite in vivo ermöglicht⁶. Der Prototyp einer intraoral anwendbaren OCT-Sonde, die in Kooperation der Poliklinik mit dem Medizinischen Laserzentrum Lübeck GmbH und der Firma orangedental GmbH & Co. KG (Biberach a. d. Riss) entwickelt wurde, trägt dem ausgeprägten Bedürfnis nach bildhafter Frühdiagnose in der Zahnerhaltung Rechnung.

Fazit

Die optische Kohärenztomografie als innovatives noninvasives bildgebendes Verfahren weist ein erhebliches Potenzial für die Kariesdiagnostik und Füllungsbewertung, aber auch für die Qualitätskontrolle nach Therapie auf. Die Methode könnte in Zukunft eine gute Ergänzung zur den in der Zahnerhaltung etablierten diagnostischen Methoden darstellen.

Literatur

1. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB: Dental caries. *Lancet* 2007;369:51-59.
2. Abdullah Z, John J: Minimally Invasive Treatment of White Spot Lesions-- A Systematic Review. *Oral health & preventive dentistry* 2016;14:197-205.
3. Mandurah MM, Sadr A, Shimada Y, Kitasako Y, Nakashima S, Bakhsh TA, Tagami J, Sumi Y: Monitoring remineralization of enamel subsurface lesions by optical coherence tomography. *Journal of biomedical optics* 2013;18:46006.
4. Pretty IA: Caries detection and diagnosis: novel technologies. *Journal of dentistry* 2006;34:727-739.
5. Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA: Optical coherence tomography. *Science* 1991;254:1178-1181.
6. Haak R, Schmidt P, Park K-J, Häfer M, Krause F, Ziebolz D, Schneider H: OCT for early quality evaluation of tooth-composite bond in clinical trials. *Journal of dentistry* 2018;76:46-51.
7. Park K-J, Schneider H, Ziebolz D, Krause F, Haak R: Optical coherence tomography to evaluate variance in the extent of carious lesions in depth. *Lasers in medical science* 2018;33:1573-1579.
8. Ngaotheppitak P, Darling CL, Fried D: Measurement of the severity of natural smooth surface (interproximal) caries lesions with polarization sensitive optical coherence tomography. *Lasers in surgery and medicine* 2005;37:78-88.
9. Hickel R, Peschke A, Tyas M, Mjör I, Bayne S, Peters M, Hiller K-A, Randall R, Vanherle G, Heintze SD: FDI World Dental Federation - clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations. Update and clinical examples. *The journal of adhesive dentistry* 2010;12:259-272.
10. Häfer M, Schneider H, Rupf S, Busch I, Fuchß A, Merte I, Jentsch H, Haak R, Merte K: Experimental and clinical evaluation of a self-etching and an etch-and-rinse adhesive system. *The journal of adhesive dentistry* 2013;15:275-286.
11. Park K-J, Schneider H, Haak R: Assessment of interfacial defects at composite restorations by swept source optical coherence tomography. *Journal of biomedical optics* 2013;18:76018.



Dr. Kyung-Jin Park

Universitätszahnmedizin Leipzig
Poliklinik für Zahnerhaltung und
Parodontologie
E-Mail: KyungJin.Park@medizin.
uni-leipzig.de