

Eine In-vivo-Studie – 3D-gedruckte, nichtinvasive Restaurationen

Therapieoption bei komplexen prothetischen Ausgangssituationen

Ein Beitrag von Dr. Elisabeth Prause und Prof. Dr. Florian Beuer

Übermäßiger Zahnverschleiß durch Erosionen, Attritionen und Abrasionen macht restaurative Maßnahmen erforderlich.¹ Sind ausgedehnte Bereiche des Schmelzes oder Dentins betroffen, kann es zu Hypersensibilitäten, verschlechterter Ästhetik und einer Reduktion der vertikalen Dimension (VD) kommen, deren Wiederherstellung ein zeit- und therapieaufwendiger Prozess ist (Abb. 1).^{1,2}

Die Wahl der klinischen Protokolle und Materialien war schon immer ein Thema bei der Wiederherstellung der VD. Attin et al. beschrieben eine Veränderung der vertikalen Dimension (VD) von stark abgenutzten Zähnen mit direkten Kompositen über einen aktuellen Beobachtungszeitraum von elf Jahren.^{1,4,5}

Computer-aided design und Computer-aided manufacturing (CAD/CAM) sowie die Entwicklung von hochgefüllten Polymeren auf der Basis von hochvernetztem Polymethylmetacrylat (PMMA) bieten neue klinische und technische Möglichkeiten zur Wiederherstellung der VD.^{2,3} Neben der subtraktiven Herstellung von Restaurationen rückt die additive Fertigung zunehmend in den Vordergrund der Entwicklung.

Heutzutage können 3D-gedruckte Restaurationen als Einzelzahnrestaurationen in einem nichtinvasiven Verfahren hergestellt und eingegliedert werden. Mithilfe eines Intraoralscans und eines digitalen Gesichtsbogens^{4,5} wird der Status quo der Okklusion und der Kieferrelation erfasst. Die Daten können anschließend an das Dentallabor versendet und in einen virtuellen Artikulator der Konstruktionssoftware integriert werden. Die neu eingestellte Position des Unterkiefers und

die Kieferbewegungen sowie die individuellen okklusalen Parameter können bei der CAD-Konstruktion zukünftiger Restaurationen berücksichtigt werden. Ästhetische Verbesserungen werden sofort erreicht. Überempfindlichkeiten können beseitigt werden. Eine Präparation der Zähne ist nicht notwendig.

Das Behandlungskonzept mit 3D-gedruckten Hybridrestaurationen wurde jedoch bisher noch nicht in einer klinischen Untersuchung evaluiert. Aufgrund der mechanischen Eigenschaften des Materials werden die Restaurationen in der vorliegenden Studie zunächst über 36 Monate beobachtet. Nach dieser Zeit wird sich zeigen, ob ein Wechsel zu vollkeramischen Restaurationen oder anderen zahnmedizinischen Materialien notwendig wird. Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die klinische Eignung von nichtinvasiven, 3D-gedruckten Hybridrestaurationen zur VD-Wiederherstellung und Okklusionsanalyse unter Verwendung eines vollständigen digitalen Workflows zu testen.

Material und Methoden

Die vorliegende klinische Studie wurde an Patientinnen und Patienten durchgeführt, bei denen eine Veränderung der vertikalen Dimension oder eine okklusale Anpassung einzelner Zähne erforderlich war.

Eingliederung der 3D-gedruckten Hybridrestaurationen

Nach einer professionellen Reinigung wurden die Zähne ohne weitere Präparation gescannt (Primescan, Dentsply Sirona). Beim Scannen wurden alle Zahnober-

flächen erfasst. Der Sulkusbereich war dagegen von untergeordneter Bedeutung. Die Bisslage wurde ebenfalls mithilfe eines intraoralen Scans erfasst. Die Position des Oberkiefers und die Bewegungen des Unterkiefers wurden digital erfasst, um sie bei der Herstellung der 3D-gedruckten Restaurationen mit einem digitalen Gesichtsbogen (Zebris for Ceramill, Amann Girschbach) zu berücksichtigen. Ein virtueller Artikulator (Artex CR, Amann Girschbach) wurde verwendet, um die individuellen Bewegungen des Unterkiefers wiederzugeben.

Die digitalen Informationen wurden im zahntechnischen Labor weiterverarbeitet. Darüber hinaus wurden das digitale Design (DentalCAD 3.0 Galway, exocad) und der 3D-Druck der Restaurationen (Material: VarseoSmile Crown plus, BEGO; Drucker: Varseo XS, BEGO) im Dentallabor durchgeführt. Die Nachbearbeitung erfolgte nach Herstellerangaben mit zweimal 1500 Blitzern (BEGO Otoflash [zwei Xenon-Stroboskoplampen, Blitzfrequenz 10 Hz, Lichtspektrum 300–700 nm]).

Die Restaurationen wurden vor der Eingliederung mit Aluminiumoxid für zehn Sekunden sandgestrahlt und mit einem Universalprimer (Monobond Plus, Ivoclar) konditioniert. Die Zähne wurden, sofern Schmelz vorhanden war, mit 37%iger Phosphorsäure angeätzt. Schmelz und Dentin wurden mit einem selbstätzenden Universaladhäsiv (Scotchbond SE, 3M Espe) vorbehandelt.

Zur Fixierung wurde ein dualhärtender Befestigungskomposit (RelyX Ultimate, 3M Espe) verwendet. Die Approximalkontakte wurden zunächst mit Zahnseide gereinigt.



Abb. 1: Ausgangssituation eines Patienten, der sich hinsichtlich einer prothetischen Rehabilitation bei uns vorstellte. Ein ausgeprägter, pathologischer Verlust der Zahnhartsubstanzen lag vor.

Abb. 2: Zustand nach Eingliederung der 3D-gedruckten, nichtinvasiven Restaurationen. Eine Bisshebung und Bisskalibrierung wurden hiermit durchgeführt.

Nach der Entfernung der Zementreste und Lichthärtung wurde die statische und dynamische Okklusion überprüft. Nach der Feinjustierung der Okklusion wurden die Restaurationen poliert (Sof-Lex XT, 3M Espe).

Bewertung der Restaurationen

Die 3D-gedruckten Restaurationen wurden von einer Zahnärztin eingesetzt (Abb. 2). Die United States Public Health Service (USPHS)-Kriterien dienen als Bewertungsgrundlage für die vorliegende Studie (Tab. 1). Die Bewertung wurde von zwei Zahnärztinnen und Zahnärzten durchgeführt. Sie waren hinsichtlich der Farbe der Restauration verblindet. Eine objektive Farbmessung wurde mit einem Spektralphotometer (VITA Easyshade V, VITA Zahnfabrik) durchgeführt. Diese erfolgte direkt nach der Eingliederung der 3D-gedruckten Restaurationen und wurde bei jeder Nachuntersuchung wiederholt. Um eine reproduzierbare Positionierung des Messkopfes des Spektralphotometers bei jeder Nachuntersuchung zu gewährleisten, wurden für jede/-n Patient/-in Tief-

zihschienen (Erkodur, Erkodent) angefertigt. Die Schienen hatten Öffnungen an der zentralen vestibulären Oberfläche. Die Größe der Öffnungen entsprach der Größe des Messkopfes.

Die Bewertung der Farbunterschiede erfolgte in Anlehnung an die Empfehlungen der Commission Internationale de l'Eclairage⁶ berechnet. Sichtbare Farbunterschiede konnten bei ΔE -Werten von 2,6 und 3,7 nachgewiesen werden.^{7,8} Die klinische Akzeptanz wurde bei ΔE -Werten von 5,5 und 6,8 bewertet.^{7,8} Anhand dieser Werte wurden die folgenden USPHS-Kriterien für die Farbstabilität (ΔE) ausgewählt: „Alpha“: ΔE 0–2,2; „Beta“: ΔE 2,2–3,7; „Charlie“: ΔE 3,7–6,8; „Delta“: ΔE > 6,8.

Nachuntersuchungen

Die Nachuntersuchungen fanden sechs und zwölf Monate nach der Eingliederung der 3D-gedruckten Restaurationen statt. Sie umfassten eine vollständige zahnärztliche und parodontale Untersuchung sowie eine professionelle Zahnreinigung

nach Farbmessungen. Die Restaurationen wurden anhand der modifizierten USPHS-Kriterien^{1,9,10} bewertet (Tab. 1). Als technische Kriterien galten die Oberflächenstruktur, die anatomische Form und die marginale Integrität. Bei den biologischen Komplikationen wurden Randverfärbungen, Sekundärkaries, Randentzündungen und postoperative Sensibilitäten bewertet. Die USPHS-Kriterien „Charlie“ und „Delta“ galten als Misserfolge.

Ergebnisse

Elf Patientinnen und Patienten (zwei Frauen und neun Männer) konnten in die Nachuntersuchung nach zwölf Monaten Tragezeit eingeschlossen werden. 171 3D-gedruckte Restaurationen konnten in die Ergebnisse der vorliegenden Studie einbezogen werden.

Bei den USPHS-Kriterien „Charlie“ und „Delta“ traten insgesamt 22 Komplikationen auf, die als Misserfolge eingestuft wurden. Bei allen aufgeführten Komplikationen handelt es sich um technische Komplikationen. Biologische Komplikationen traten nicht auf. Somit lag die Überlebensrate der 3D-gedruckten Restaurationen nach einem Jahr in klinischer Funktion bei 84,4 Prozent (Kaplan-Meier-Analyse).

Alle Restaurationen wiesen eine Oberflächenbeschaffenheit auf, die mit „Alpha“ bewertet wurde. Außerdem wurden keine Sekundärkaries oder postoperativen Sensibilitäten festgestellt. Was die anatomische Form betrifft, so wurden 148 Restaurationen (87 Prozent) mit „Alpha“ bewertet. Vier Restaurationen wiesen jedoch einen vollständigen oder teilweisen Verlust der Restauration auf und wurden daher mit „Delta“ bewertet. Acht (fünf Prozent) bzw. vier (zwei Prozent) wiesen Frakturen des 3D-druckbaren Materials der Kategorie „Beta“ bzw. „Charlie“ auf. Die marginale Integrität wurde größtenteils mit „Alpha“ bewertet (89 Prozent). Bei 152 Restaurationen (89 Prozent) wurden keine Anzeichen einer marginalen Entzündung festgestellt. Eine beginnende marginale Entzündung mit Blutung wurde bei 22 Restaurationen (13 Prozent) festgestellt. Hinsichtlich der Farbstabilität und Farbpassung wurden 83 Prozent bzw. 73

Prozent aller Restaurationen mit „Alpha“ bewertet.

Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, die klinische Anwendung von nichtinvasiven, 3D-gedruckten Restaurationen als Behandlungsoption für ausgeprägte Zahnhartsubstanzerluste und komplexe prothetische Rehabilitationen sowie okklusale Anpassungen an Einzelzähnen zu bewerten. Die vorliegenden klinischen Daten stellen eine erste Einordnung des druckbaren Materials hinsichtlich der Langzeitstabilität dar. Die vorgestellten Ergebnisse sollten aufgrund der geringen Anzahl der in dieser Studie behandelten Patientinnen und Patienten bisher nicht verallgemeinert werden.

In Anlehnung an die Untersuchungen von Attin et al. wurde auch diese Studie anhand der USPHS-Kriterien ausgewertet.^{1,9,10} Die Anwendung der USPHS-Kriterien scheint insbesondere bei einer kurzen klinischen Tragezeit mit einer reduzierten Anzahl von 3D-gedruckten Restaurationen von Vorteil zu sein. Attin et al. zeigten, dass direkte Kompositmaterialien für eine Veränderung der VD bei stark abgenutzten Zähnen sehr gute funktionelle Überlebensraten von 94,9 Prozent nach elf Jahren Tragezeit aufwiesen.¹⁰ Trotz des manuellen Aufbaus der einzelnen Zähne lag die Erfolgsquote nach fast elf Jahren bei 78,0 Prozent.¹⁰ Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen anderer Studien, in denen die Zähne minimalinvasiv präpariert wurden.^{10–12}

Hinsichtlich der Farbstabilität und Farbpassung des getesteten druckbaren Materials zeigten die Ergebnisse, dass die Farbwerte sehr heterogen ausfielen. Vor der Durchführung des zwölf-Monats-Recalls wurde keine professionelle Zahnreinigung durchgeführt. Die klinische Farbstabilität ist ein entscheidender Faktor für die Langzeitstabilität unter oralen Bedingungen.¹³ Für 3D-gedruckte Materialien liegen keine In-vitro- oder In-vivo-Studien vor. Auf der Grundlage der verfügbaren klinischen Daten der vorliegenden Studie ist zu beachten, dass die Ergebnisse weiterhin mit Vorsicht zu interpretieren sind. Ein übermäßiger Verlust

	ALPHA	BRAVO	CHARLIE*	DELTA**
Oberflächenbeschaffenheit	Einwandfrei	Rau	–	–
Anatomische Form	Einwandfrei	Geringer Verlust der Restauration	Materialverlust bis zur Zahnhartsubstanz	Vollständiger oder partieller (> 50 %) Verlust der Restauration
Marginale Integrität	Einwandfrei	Positive/negative Stufe, entfernbar durch Politur	Negative Stufe, nicht entfernbar durch Politur	Deutliche negative Stufe, größtenteils nicht entfernbar
Marginale Verfärbung	Unauffällig	Leichte Verfärbung, entfernbar durch Politur	Lokale Verfärbung, nicht entfernbar	Generalisierte, deutliche Verfärbung, nicht entfernbar
Sekundärkaries	Unauffällig	Karies	–	–
Marginale Entzündung	Keine Taschen > 3 mm; keine Blutung	Keine Taschen > 3 mm; Blutung	Moderate Taschen, 4–5 mm; Blutung	Ausgeprägte Taschen, ≥ 6 mm; Blutung
Farbstabilität	ΔE 0–2,2	ΔE 2,2–3,7	ΔE 3,7–6,8	ΔE > 6,8
Farbpassung	Einwandfrei	Nicht wahrnehmbar bei Gesprächsentfernung	Wahrnehmbar bei Gesprächsentfernung	Komplett unstimmig
Postoperative Sensibilität (Luft)	Keine	Moderat	Ausgeprägt	–

Tab. 1: Modifizierte USPHS-Kriterien für die Bewertung der 3D-gedruckten Restaurationen nach zwölf Monaten klinischem Einsatz. *Behandlung: reparabel, **Notwendigkeit eines neuen Druckes der Restauration.

von Zahnhartsubstanz aufgrund von Erosionen, Attritionen und Abrasionen und folglich komplexe prothetische Rehabilitationen müssen im Hinblick auf das klinische Ergebnis berücksichtigt werden. Die Langzeitergebnisse dieser klinischen Studien sollten abgewartet werden.

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beschreibt eine Proof-of-Concept-Anwendung von 3D-gedruckten Restaurationen in anfänglich komplexen prothetischen Situationen zur VD-Wiederherstellung und Okklusionsanalyse in Form von Einzelzahnrestaurationen. Es konnte gezeigt werden, dass bei den meisten 3D-gedruckten Restaurationen gute klinische Ergebnisse erzielt wurden. Chippings und Frakturen beeinträchtigten meist die anatomische Form und die marginale Integrität der 3D-gedruckten Restaurationen. Die Farbstabilität und die Farbübereinstimmung fielen heterogen aus. Ob und inwiefern 3D-gedruckte, nichtinvasive Restaurationen als Vorbehandlung von komplexen Ausgangssituationen genutzt werden können, bleibt abzuwarten. Klinische Langzeitdaten stehen noch aus.

Dr. Elisabeth Prause



Prof. Dr. Florian Beuer



Literatur



DR. ELISABETH PRAUSE

Zahnärztin und Spezialistin für Prothetik der DGPro und EPA Charité – Universitätsmedizin Berlin Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre