

8 Zusammenfassung

Das Versagensrisiko von endodontisch behandelten, oberen mittleren Frontzähnen, die mit Stiften, plastischen Aufbauten und Kronen rekonstruiert wurden, ist aufgrund der hauptsächlich horizontal angreifenden Kräfte besonders hoch. Bezogen auf Festigkeit, Elastizität, Korrosionsresistenz und Materialermüdung bieten faserverstärkte Kompositstifte für diese Indikation eine interessante Alternative zu Metallstiften. Die Intension ist dabei, einen Aufbaustift mit dentinähnlichem Elastizitätsmodul (E-Modul) zu verwenden, der nach adhäsiver Zementierung eine gleichmäßigere Kraftverteilung als bei Metallstiften entlang der Wurzel bewirken soll. Im Fall des Misserfolgs werden in der Regel klinisch günstigere, d. h. wiederversorgbare Frakturmuster beobachtet. Zudem unterstützen zahnfarbende konfektionierte Aufbaustifte die Ästhetik vollkeramischer Kronenversorgungen und sollen mit konfektionierten Metallstiften vergleichbare Belastbarkeiten bieten.

Belastungs- bzw. Frakturreistenzprüfungen von mit Aufbaustiften rekonstruierten, endodontisch behandelten Frontzähnen (EBZ) geben Aufschluss über das simulierte klinische Verhalten verschiedener Stiftstumpfaufbausysteme. Sie sind eine anerkannte Methode, wobei kontinuierlich steigende (statische Belastung) oder intermittierende (dynamische Belastung) Kräfte appliziert werden. Ermüdungsversuche sind als Untersuchung für die Testung adhäsiver Restaurationen etabliert, da sie mit physiologischen Belastungen vergleichbare zyklische Belastungsschemata reproduzieren. In jüngeren Studien wurden unterschiedliche thermomechanische Ermüdungbelastungen von Aufbaustiften angewendet und die Bedeutung der statischen Belastung in Frage gestellt. Bislang gibt es keinen Beleg für den Einfluss der verschiedenen Belastungsmethoden (statisch oder dynamisch) auf die Belastbarkeit und das dabei zu beobachtende Frakturverhalten von Aufbaustiftsystemen.

In dieser In-vitro-Studie wurden die Belastbarkeit und das Frakturverhalten von endodontisch behandelten oberen mittleren Frontzähnen nach adhäsivem Aufbau mit konfektionierten Aufbaustiften, Kompositaufbauten und Vollkeramikronen in Abhängigkeit vom Stiftmaterial und der Belastungsmethode untersucht. In den Versuchsgruppen wurde für die Aufbauretention ein konfektionierter Titanstift und drei verschiedene glasfaserverstärkte Kompositstifte verwendet und diese nach den Parametern maximale

Belastbarkeit [N] und Frakturmuster verglichen. Für die gleichen Parameter erfolgte die Evaluation der Belastungsmethoden linearer Belastung mit oder ohne vorherige thermomechanische Wechsellast (Kausimulation) und einem neuen dynamischen Belastungsprotokoll. Ein weiterer Focus war es, den Einfluss der Steifigkeit (E-Modul) des Stiftes auf die Steifigkeit der adhäsiv restaurierten EBZ zu bestimmen, welcher als Mehrstoff-Verbundsystem betrachtet werden kann. Ergänzend wurde die Abhängigkeit der Belastbarkeit von zwei Befestigungskompositen (dual- vs. chemischhärtend) für die Stiftzementierung untersucht.

Es wurden 132 menschliche, obere mittlere Schneidezähne auf Höhe der Schmelz-Zementgrenze (SZG) in mesio-distaler und vestibulo-oraler Dimension vermessen und entsprechend dem Produkt dieser Werte randomisiert auf 11 Versuchsgruppen verteilt ($n = 12$). Alle Probenzähne wurden 3 mm oberhalb des inzisalsten Punktes der SZG senkrecht zur Zahnachse dekapitiert und nach endodontischer Aufbereitung mit einer lateral kondensierten Wurzelkanalfüllung versehen. Es kamen die glasfaserverstärkten konfektionierten Kompositaufbaustifte (GFRC) DentinPost, FibreKor, Luscent Anchor und ein konfektioniertes Titanstiftsystem zur Anwendung. Alle Glasfaserstifte und die Titanstifte für den Vergleich der Stiftmaterialien sind mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit adhäsiv eingesetzt worden. Für den Vergleich der Befestigungszemente und der Belastungsmethoden erfolgte die Insertion der Titanstifte mit einem chemischhärtenden Befestigungskomposit. Als negative Kontrolle diente eine Versuchsgruppe mit einem erweiterten Kompositaufbau ohne Stiftversorgung. Unmittelbar nach der Stiftinsertion wurden die Zähne mit direkten Aufbauten aus Komposit versorgt und mit der anschließenden Präparation wurde eine 2 mm hohe Dentinmanschette angelegt. Die Vollkeramikronen wurden für jeden Zahn entsprechend der ursprünglichen Kronenform angefertigt und adhäsiv mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit zementiert.

Für den Vergleich der Belastungsmethoden wurden die linear steigende Belastung, die linear steigende Belastung mit vorheriger Kausimulation und eine zyklisch steigende Belastung durchgeführt. Die computergestützte Kausimulation (Willitec, SD Mechatronik, Deutschland) erfolgte für $1,2 \times 10^6$ Zyklen mit 0 bis 30 N und simultaner Temperaturwechselbadbelastung (TWB) für 10.000 Zyklen zwischen 5°C und 55°C. Im Anschluß wurden die Probenzähne in einer Universalprüfmaschine im Winkel von 135° palatinal zur Zahnachse, bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 1 mm/min, bis zum Bruch be-

lastet. Für die erste Kraftstufe der zyklisch steigenden Belastung betrug die Standardkraft 50 N für Stufe 1 und 0 N für Stufe 2. In jeder Kraftstufe wurden 200 Stufen (100 Zyklen / Kraftstufe) mit einem Inkrement von $\Delta F = 50$ N gefahren. Zuvor erfolgte für diese Probenzähne eine TWB von 5 °C und 55 °C für 2,000 Zyklen. Zur Auswertung kamen die maximale Belastung [N], die koronale und apikale Auslenkung der Zähne während der Bruchlastuntersuchung [μm], der kalkulierte E-Modul [GPa] und die beobachteten Frakturmuster.

Für die statistischen Auswertungen der maximalen Belastungen des E-Moduls wurden der H-Test nach Kruskal und Wallis und der U-Test nach Mann und Whitney durchgeführt. Die Auswertung zum Einfluss der Belastungsmethode wurde mit einer zweifaktoriellen, nicht-parametrischen Varianzanalyse vorgenommen. Die Frakturmuster wurden als nominal skalierte Merkmale mit dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit 5 % festgelegt.

Die Probenzähne für den Vergleich der Stiftmaterialien zeigten nicht signifikant unterschiedliche maximale Belastungen (F_{max}) für die Stiftmaterialien und die Kontrollgruppe zwischen 305 N (FibreKor) und 501 N (Titan) [$p > 0,05$]. Für die Gruppen der zwei untersuchten Befestigungszemente wurden vergleichbare F_{max} vor und nach Kausimulation bestimmt. Ein signifikanter Unterschied für F_{max} wurde für die Belastungsmethoden festgestellt. Während für die Titanstifte signifikant höhere F_{max} als für die GFRC-Stifte nach linear steigender Belastung ermittelt wurden [$p = 0,04$], zeigte der Vergleich der Stiftmaterialien nach linear steigender Belastung mit vorheriger Kausimulation und nach zyklisch steigender Belastung vergleichbare F_{max} -Werte. Die dynamischen Belastungen führten jedoch nicht zu einer Verringerung der Belastbarkeiten. Für die Gesamtsteifigkeit des Kronen-Aufbau-Zahn-Komplexes wurden vergleichbare Werte zwischen 2,3 und 2,95 GPa ermittelt.

Die Häufigkeit von Aufbaufrakturen für Titanstifte war signifikant geringer, während der prozentuale Anteil an Wurzelfrakturen im Vergleich zu den Glasfaserstiften doppelt so hoch war. Ein Frakturlinienverlauf unterhalb des Limbus alveolaris ereignete sich ausschließlich in den Titanstiftgruppen. Im Vergleich der Belastungsmethoden wurde eine signifikante Häufung dieser Frakturen mit klinisch infauster Prognose für die Methode der linear steigenden Belastung nach Kausimulation bestimmt.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung lassen sich folgende Schlussfolgerungen für adhäsiv rekonstruierte endodontisch behandelte Frontzähne ableiten:

Nach adhäsiver Zementierung der Vollkeramikkrone ist die maximale Belastbarkeit unabhängig vom Stiftmaterial und dem für die Zementierung des Aufbaustiftes verwendeten Befestigungskomposit.

Die Steifigkeit des Aufbaustiftes hat keinen Einfluss auf die Gesamtsteifigkeit des Zahn-Stift-Kronen-Komplex, der unter diesen Bedingungen eine kohäsive Einheit bildet.

Für den Vergleich der maximalen Belastbarkeit verschiedener Aufbaustiftmaterialien besteht eine Abhängigkeit von der Belastungsmethode. Nach linearer Belastung ergeben sich materialabhängige signifikante Unterschiede, die mit den beiden dynamischen Belastungsmethoden nicht bestehen. Die linear steigende Belastung ohne vorherige simulierte Alterung ist kein empfehlenswertes Behandlungsprotokoll im Hinblick auf die klinische Verwendbarkeit von Aufbaustiften. Eine dynamische Belastungsmethode, zyklisch steigend oder Kausimulation, ist zu bevorzugen. Das entwickelte Prüfprotokoll für die zyklische Belastungstestung kann für die In-vitro-Testung restaurierter EBZ empfohlen werden.

Das Stiftmaterial und die Belastungsmethode haben einen signifikanten Einfluss auf die Frakturmuster der EBZ. Die Häufigkeit von nicht wiederversorgbaren Wurzelfrakturen ist für glasfaserverstärkte Kompositstifte signifikant geringer als für Titanstifte.