

Diplomarbeit

**Einfluss von Druckänderungen auf die Randdichtigkeit
standardisierter mod Kompositfüllungen in extrahierten
Molaren – eine experimentelle Laborstudie**

eingereicht von

Sabine Haider

Mat.Nr.0310555

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnheilkunde

(Dr.med.dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Klinische Abteilung für Zahnersatzkunde

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. Gerwin Arnetzl

Univ.-Ass. Dr. Susanne Platzer

Graz, 13.7.2011

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 13.7.2011

Unterschrift

Danksagungen

Besonderen Dank möchte ich Herrn Prof. Dr. Gerwin Arnetzl für die Überlassung des Diplomarbeitsthemas aussprechen. Bei Ihm sowie bei meiner Betreuerin Dr. Susanne Platzer möchte ich mich für die das Heranführen an wissenschaftliches Arbeiten und die Unterstützung während der Bearbeitung meiner Diplomarbeit bedanken.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und auf deren moralische Unterstützung ich stets zählen konnte, ganz herzlich bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung	3
1.1 Definition	3
1.2 Physikalische Grundlagen	4
1.3 Ätiologie	7
1.4 Inzidenz	14
1.5 Diagnostik	14
1.6 Prävention und Therapie	15
2 Material und Methoden	17
2.1 Vorbereitung der Proben	18
2.2 Statistische Auswertung	27
3 Ergebnisse	28
4 Diskussion	32
4.1 Diskussion von Material und Methoden	32
4.1.1 Zahnproben	32
4.1.2 Untersuchungsmethoden	33
4.1.3 Randspalten und Mikroleakage	36
5 Konklusion	39
6 Literaturverzeichnis	40
7 Lebenslauf	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Im Gegensatz zum Schweredruck in Flüssigkeiten (a) nimmt der Luftdruck nach oben hin exponentiell ab (b).....	4
Abbildung 2: Versuchsablauf.....	17
Abbildung 3: Präparation der Kavitäten.....	19
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Inkremente in ihrer Applikationsreihenfolge	20
Abbildung 5: Versuchskammer für Temperaturwechselbelastung zur künstlichen Alterung der Versuchsproben.....	22
Abbildung 6: Versuchsdruckkammer mit Pressluft für simulierte Tauchfahrten bis 44 Meter und Bergbesteigungen bis rund 3500 Höhenmeter.	23
Abbildung 7: Isometsäge zur Zerteilung der Versuchsproben in zwei Hälften	25
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Farbpenetrationsgrade	26
Abbildung 9: Schematische Darstellung der statistischen Auswertung für das Kriterium Randspalt mit und ohne Druckexposition (Mann-Whitney U-Test)	29
Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung des prozentualen Ausmaßes der Kopsitfüllungen an den Grenzflächen zur natürlichen Zahnschmelze mit und ohne Druckexposition	30
Abbildung 11: Prozentuale Häufigkeit von Randspalten an der Grenzfläche zur natürlichen Zahnschmelze mit und ohne Druckexposition	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der direkten und indirekten Barodontalgie {{Zadik 2009}}	11
Tabelle 2: Einteilung der Barodontalgien nach Ferjentsik und Aker.	12
Tabelle 3: Behandlungsempfehlung für druckexponierte Personen {{Zadik 2009}}	15
Tabelle 4: Parameter für die Simulation unterschiedlicher Umgebungsdrück.....	23
Tabelle 5: Erläuterung der Parameter.....	24
Tabelle 6: Auswertung der Versuchsproben	28

Zusammenfassung

Unter Barodontalgie versteht man das Auftreten starker Zahnschmerzen, bei sonst asymptomatischen Zähnen durch eine plötzliche Änderung des atmosphärischen Drucks.

Ziel der Untersuchung war es zu zeigen, dass es nach adhäsiver Versorgung mittels Säureätztechnik und plastischen Restaurationen zu einem druckdichten Verschluss der mod Kavitäten kommt, der den Bedingungen von Tauchern und Höhenbergsteigern standhalten kann und somit für druckexponierte Personen als Standardversorgung zu empfehlen ist.

Material und Methoden:

40 füllungsfreie extrahierte humane Molaren wurden mit standardisierten mod Kompositfüllung versorgt. Die Versuchsproben wurden einer künstlichen Alterung ausgesetzt. Es erfolgte die randomisierte Zuteilung der Proben zu einer Testgruppe (Druckexposition) und einer Kontrollgruppe (keine Druckexposition.) zu jeweils 20 Zähnen.

Die Versuchsgruppe wurde einer Höhendifferenz von 66-340 kPa ausgesetzt. Dies entspricht einer Höhe von rund 3500 Metern und einer Tauchtiefe von 44 Metern. Die Proben wurden insgesamt 15 Zyklen mehrmaliger Kompression und Dekompression unterzogen. Die Kontrollgruppe wurde in der Zwischenzeit in Ringerlösung gelagert.

Mit dem anschließenden Farbstoffpenetrationstest und der vertikalen Zerteilung der Zähne mit einer Isometsäge, konnte die Randedichtigkeit der Kompositfüllung mit und ohne Druckexposition eruiert werden.

Ergebnis:

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den mod Kompositfüllungen mit und ohne Druckexposition.

Konklusion:

Die marginale Adaptation im Dentin ist nach wie vor problembehaftet. Dadurch ist derzeit keine eindeutige Empfehlung für die Verwendung von Komposit als Füllungsmaterial bei druckexponierten Personen abzugeben.

Abstract

Barodontalgia is a strong dental pain evoked by a sudden change of atmospheric pressure, in otherwise asymptomatic teeth. The aim of the present study was to demonstrate that after adhesive restoration using total etch system and sculptural restorations to a pressure-tight closure of the mod cavities is capable of withstanding the conditions of divers and high altitude mountaineers and recommended therefore for pressure-exposed persons as standard supply.

Materials and methods:

40 extracted human molars were free filling supplied with standardized mod composite fillings. The test samples were subjected to artificial aging. The samples were divided randomly into a test group (pressure exposure) and a control group (no exposure to pressure), each group comprising 20 teeth.

The experimental group was exposed to an altitude difference of 66-340 kPa. This corresponds to an altitude of about 3500 meters and a depth of 44 meters. Cycles of repeated compressing and decompressing were performed 15 times. In the meantime the control group was stored in Ringer's solution.

With the subsequent dye penetration test and the vertical dispersion of the teeth using an Isometsaw, the marginal integrity of composite materials could be elicited with and without exposure to pressure.

Result:

There were no significant differences between the mod composite restorations with and without exposure to pressure.

Conclusion:

The marginal adaption of composite fillings in dentin is still an unsolved problem. Currently it's not possible to make an unambiguous recommendation for the use of composite as filling material for pressure-exposed persons.

1 Einleitung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war die Barodontalgie als „Aerodontalgie“ bekannt und wurde als physiologisches und pathologisches Flugphänomen dokumentiert. Erst 1940 mit dem bekannt werden des Tauchens mit Hilfe von Atemgeräten, assoziierte man die Aerodontalgie mit den auftretenden Zahnschmerzen durch Druckänderungen der Taucher. Somit wurde die Vorsilbe „aero“ auf „baro“ geändert {{Zadik, Y. 2009}}.

Strohaver {{1972}} beschrieb den Rückgang der Inzidenz der Barodontalgie bei Piloten seit dem zweiten Weltkrieg. Er vermutete, dass dies die Folge der besseren zahnärztlichen Versorgung und Prävention unter den Piloten sei. Auch die Verbesserungen der Druckregulierung im Cockpit als auch im Passagierabteil, insbesondere die Anpassung des Kabinendruckes trägt zur geringeren Inzidenz bei {{Stohaver, R.A. 1972}}.

Trotzdem hat sich in den letzten Jahrzehnten die Anzahl der verschiedenen Druckschwankungen ausgesetzten Personen, beispielsweise Hobbytaucher, Berufstaucher, Bergsteigen, Skydiver, Kunstflugpiloten, etc. deutlich zugenommen. Die Aufgabe der Zahnärzte ist eine umfassende Aufklärung über Ätiologie und Prävention von gefährdeten Patienten, sowie die Durchführung einer adäquaten Therapie.

Ziel des Versuchsaufbaues war es zu zeigen, dass es nach adhäsiver Versorgung mittels Säureätztechnik und plastischen Restaurationen zu einem druckdichten Verschluss kommt, der den Bedingungen von Tauchern und Höhenbergsteigern standhalten kann.

1.1 Definition

Unter Barodontalgie versteht man akute Zahnschmerzen, welche durch Änderungen des atmosphärischen Drucks, in einem sonst asymptomatischen Zahn, ausgelöst werden können. Die Schmerzen zeigen sich häufig plötzlich auftretend, scharf, lokalisiert oder aber dumpf, schmerzhaft und schwer zu lokalisieren {{Carlson, O.G. 1983}}.

In Extremfällen kann die Barodontalgie zu Schwindel, Ermüdung bis hin zur vorzeitigen Beendigung des Fluges, der Bergbesteigung, des Tauchganges etc. führen{{Zadik, Y. 2010}}.

Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Expositionszeit sowie die Höhe der Druckdifferenz. Beim Fliegen im zivilen Flugverkehrsbetrieb kommt es nur zu einer geringen Druckdifferenz jedoch ist die Dauer der Exposition im Vergleich zu Militär- und Kunstflugpiloten relativ lang. Beim Tauchen hingegen treten aufgrund der höheren Dichte des Wassers sehr hohe Außendrucke auf, die Expositionszeit ist aber gegenüber dem Flugpersonal kürzer {{Constantin von See et al. 2010}}.

1.2 Physikalische Grundlagen

Adaptiert aus Seibt-Physik für Mediziner:

Der Druck p ist definiert als die wirkende Kraft F pro Angriffsfläche A .

$$F = p \cdot A$$

D.h. an einer bestimmten Stelle der Erde ist die Gewichtskraft der darüber liegenden Luftsäule verantwortlich für den dort herrschenden Luftdruck. Er kann somit mit dem Schweredruck des Wassers verglichen werden, der durch das Eigengewicht der Flüssigkeit, das auf die jeweils darunter liegenden Flüssigkeitsbereiche wirkt, definiert ist. Der Schweredruck einer Flüssigkeit hängt somit von der Dichte der Flüssigkeit und der Tiefe unter der Oberfläche an. Der Unterschied zwischen Luftdruck und Schweredruck ist in Abbildung 1 zu sehen.

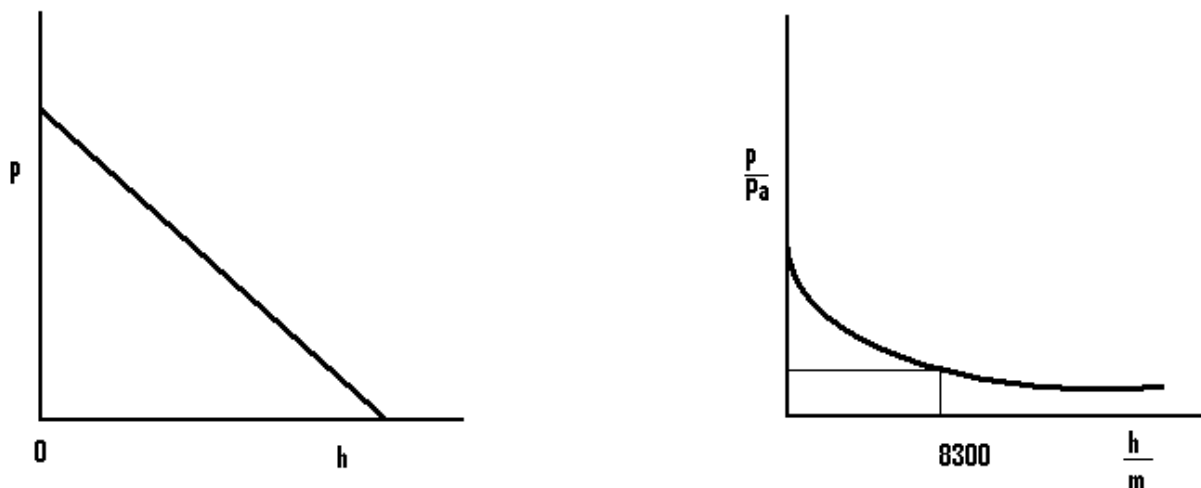


Abbildung 1: Im Gegensatz zum Schweredruck in Flüssigkeiten (a) nimmt der Luftdruck nach oben hin exponentiell ab (b).

Mit abnehmender Tiefe des Wassers nimmt der Schweredruck linear ab, da er bei konstanter Dichte nur von der Höhe der Wassertiefe abhängt. Anders ist es bei der Luft. Da Gase sich leicht komprimieren lassen, werden die unteren Luftschichten, die einem höheren Druck ausgesetzt sind, stärker komprimiert und haben somit einen entscheidenden Einfluss auf den Luftdruckes in der Atmosphäre. Das bedeutet, dass die Druckabnahme nicht wie beim Wasser konstant ist, sondern proportional zum Druck abnimmt. Der Luftdruck nimmt somit nach oben hin exponentiell ab. Der mittlere Luftdruck der Atmosphäre auf Meereshöhe beträgt 101,325 kPa und sinkt mit der Höhe um etwa 1 hPa je 8 Meter ab. Dieser mittlere Luftdruck wird auch als Normdruck bezeichnet.

Umgekehrt ist dieses Phänomen beim Tauchen. Im Wasser nimmt der Schweredruck je 10 Meter Tiefe um etwa 100 kPa (= 1bar) zu. Auf 10 m Tiefe ist also der äußere Druck auf den Taucher doppelt so groß wie an der Wasseroberfläche, in 20 m bereits dreimal so groß.

Die Gesetze von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und das Pascal'sche Gesetz spielen eine wesentliche Rolle in Bezug auf den hydrostatischen Druck.

Das Gesetz von **Boyle-Mariotte** besagt, dass bei konstanter Temperatur und Masse der Druck idealer Gase umgekehrt proportional zum Volumen ist. Erhöht man den Außendruck auf ein Gas, kommt es durch diese Druckzunahme zu einer Volumenabnahme des Gases. Verringert man den Druck hingegen, so dehnt es sich aus.

$$V \cdot p = \textit{konstant}.$$

Im menschlichen Körper kann man diese Druckdifferenzen beobachten, wenn ein luftgefüllter Hohlraum nicht mit der Umgebung in Verbindung steht und es somit zu keinem Druckausgleich kommt. Klinisch kann dies unter anderem zu Schmerzen, Ödemen und Gasembolien führen. Die betroffenen Gewebe sind hauptsächlich die Lunge, das Mittelohr oder der Sinus maxillaris {{Zadik, Y. 2009}}.

Das Gesetz von **Gay-Lussac** beschreibt, dass das Volumen idealer Gase bei gleich bleibendem Druck und gleich bleibender Stoffmenge direkt proportional zur Temperatur ist. Ein Gas dehnt sich also bei einer Erwärmung aus und zieht sich bei Abkühlung wieder zusammen.

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Der hydrostatische Druck berechnet sich nach dem **Pascal'schen Gesetz**:

$$p(h) = \rho \cdot g \cdot h$$

$p(h)$ - Hydrostatischer Druck als Funktion der Wasserhöhe; $[p] = \text{Pa}$

g - Erdbeschleunigung $[g] = \text{m/s}^2$

ρ - Dichte (für Wasser: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$); $[\rho] = \text{kg/m}^3$

h - Höhe der Flüssigkeitssäule; $[h] = \text{m}$

Das Gesetz von Pascal besagt, dass sich in ruhenden idealen Flüssigkeiten der Druck in alle Richtungen gleichmäßig ausbreitet.

Wenn wir diese drei Gesetze zusammenfügen, kann man erkennen, dass wenn eine Gasblase sich in einer Flüssigkeit befindet und der Umgebungsdruck in dieser Flüssigkeit ansteigt, breitet sich dieser Druck in der Flüssigkeit gleichmäßig aus und wirkt auf diese Gasblase ein, sodass der Innendruck gleich ist dem Umgebungsdruck und die Blase wird sich verkleinern oder verschwinden aufgrund der Komprimierbarkeit des Gases {{Wingo, H.H. 1980}}.

Die barometrische Höhenformel

Bei der barometrischen Höhenformel handelt es sich um die Abhängigkeit des Luftdrucks von der Höhe. Wegen der hohen Wetterdynamik innerhalb der unteren Atmosphäre kann sie nur mit Näherungen auf mathematischem Wege beschrieben werden. Vereinfacht gesagt nimmt der Luftdruck in der Nähe des Meeresspiegels um ein Hektopascal je acht Meter Höhenzunahme ab.

$$p(h) = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{288,15} \right)^{5,255} \text{ hPa.}$$

Diese Formel ermöglicht die Berechnung des Luftdrucks in einer bestimmten Höhe, ohne dass Temperatur und Temperaturgradient bekannt sind.

Die Bestimmung des Luftdrucks ist in der Praxis mithilfe eines Barometers möglich.

Ein für die Höhenbestimmung ausgelegtes Barometer bezeichnet man als Höhenmesser oder Altimeter.

1.3 Ätiologie

Die physiologischen und pathologischen Phänomene der Barodontalgie, welche mit Druckschwankungen zusammenhängen, können sowohl während des Fluges, beim Tauchen, bei der Besteigung eines Berges, in einer Druckkammer, während einer hyperbaren Sauerstofftherapie oder anderen Situationen mit Veränderungen des Umgebungsdruckes auftreten.

Wie bereits oben erwähnt, kommt es infolge des Boyle-Mariott'schen Gesetzes bei einer Erhöhung des Außendruckes auf ein Gas zu einer Volumenabnahme. Verringert man den Druck hingegen, so dehnt es sich aus. Folglich kann die Veränderung des atmosphärischen Drucks zu zahlreichen Nebenwirkungen im menschlichen Körper führen. Können im menschlichen Körper gasgefüllte Hohlräume nicht mit der Umgebung kommunizieren, kommt es zu Druckdifferenzen mit insuffizientem Druckausgleich. Dieser Effekt ist als Barotrauma bekannt {{Stewart T.W. Jr. 1979.

Die extraoralen Barotraumen des Kopf- und Gesichtsbereiches zählen zu den vier Ausnahmen, in welchen die Barodontalgie kein Symptom einer bereits existierenden Erkrankung ist, sondern ein durch Druckveränderungen entstandenes pathologisches Zustandsbild. Diese vier extraoralen Barotraumen sind für die Diagnostik der Barodontalgie insofern relevant, da sie sich als Zahnschmerzen nach Druckschwankungen manifestieren können und unbedingt als Differentialdiagnosen beachtet werden müssen (indirekte Barodontalgie) {{Zadik, Y. 2009}}. Zu den Barotraumen des Kopf- und Gesichtsbereich zählen das äußere otitische Barotrauma, die Barotitis media, Barosinusitis, sowie das dentales Barotrauma.

Das *externe otitische Barotrauma* wird verursacht durch Verletzungen der Mukosa des äußeren Gehörganges aufgrund des luftdichten Raumes zwischen einem Objekt (häufig Ohrstöpsel) im Gehörgang und dem Trommelfell. Während des Abstiegs im Flugzeug ist der Druck in diesem Zwischenraum negativ im Vergleich zu dem äußeren Luftdruck. Demzufolge kann das Epithel der äußeren Trommelfellmembran oder das Epithel des äußeren Gehörganges oder auch beides vom darunterliegenden Gewebe angesaugt werden. Durch das Einreißen der epithelialen Schichte können subepitheliale Einblutungen und begleitende Schmerzen auftreten {{Zadik, Y. 2009}}.

Die *Barodontitis media* ist eine akute oder chronisch traumatische Entzündung des Mittelohrs, verursacht durch Druckschwankungen zwischen Luft in der Paukenhöhle und der umgebenden Luft. Die starre Höhle des Mittelohrs ist in einer Richtung belüftet durch die Eustachische Röhre. Jedoch bei schnellem Absinken des Luftdrucks kann der entstandene negative Druck im Mittelohr nicht spontan gelöst werden. Dadurch entsteht ein Unterdruck und eine Barodontitis media mit eingezogenem Trommelfell tritt auf. In weiterer Folge kann es zu Einblutungen und sogar zu einer Thrombenbildung kommen. Durch das Austreten von Serum wird der Druckgradient schließlich abgeflacht. Die Symptome der Barotitis media reichen von leichten Ohrenbeschwerden bis zu starken Schmerzen, Tinnitus, Schwindel mit Übelkeit oder Gehörschäden {{Stewart, T.W. 1979, Zadik, Y. 2009}}.

Eine Infektion der oberen Atemwege kann die belüftende Funktion der Eustachischen Röhre beeinflussen, und stellt somit einen prädisponierenden Faktor für die Entstehung eines extraoralen Barotraumas dar {{Zadik, Y. 2009}}.

Barosinusitis ist eine akute oder chronische Entzündung der Nasennebenhöhlen, verursacht durch die auftretenden Druckschwankungen zwischen der Luft in den Nebenhöhlen und dem

äußeren Luftdruck. Normalerweise herrscht in den Nebenhöhlen atmosphärischer Luftdruck. Wenn aber der Ausfluss zum Beispiel durch eine Entzündung der oberen Atemwege beeinträchtigt ist, entsteht ein Druckgefälle zwischen den Nebenhöhlen und dem Umgebungsdruck, welcher ein Vakuum erzeugen kann und somit die Sinusschleimhaut verletzt. Durch das entstandene Vakuum kann ein Schleimhautödem, ein serös-blutiges Exsudat oder ein submuköses Exsudat entstehen, wodurch wiederum Schmerzen oder Nasenbluten hervorgerufen werden können. Die Inzidenz der Barosinuitis ist während des Sinkfluges doppelt so hoch wie während des Aufstiegs {{Zadik, Y. 2009}}

Das *dentale Barotrauma* bezieht sich auf Veränderungen des atmosphärischen Drucks wodurch es zu einer Fraktur eines Zahnes (=Barodontocrexis) oder einer verminderten Retention der Restauration oder aber auch zu einer Füllungsfraktur kommen kann. Diese mechanischen Veränderungen im Zahn bzw. der Restauration führen zu einer Schmerzentstehung {{Zadik, Y. 2009}}. Als prädisponierende Faktoren gelten bereits existierende undichte Restaurationen und/oder Sekundärkaries unter den betroffenen Versorgungen {{Calder und Ramsey, 1983}}.

Das Auftreten von flugbedingter Barodontalgie konnte aufgrund des Ausgleichs des Kabinendrucks, im Vergleich mit der Inzidenz während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, deutlich reduziert werden. Trotzdem kann das Phänomen der Barodontalgie auftreten, da der Kabinendruck immer noch einer Höhe von 1500 bis 3000 Meter entspricht (~0,73 bar). Schnelle Aufstiege bei welchen sich der Organismus nicht schnell genug anpassen kann, stehen häufiger in Verbindung mit der Barodontalgie als langsame {{Ritchey, B. 1946, Lyons et al 1999, Gonzalez et al 2004}}.

Üblicherweise manifestieren sich Symptome der Barodontalgie bei Tauchern ab einer Wassertiefe von 10 bis 25m {{Robichaud, R. 2005; Kollmann, W. 1993}} und bei Fliegern in Höhen von 600 bis 1500m {{Robichaud, R. 2005; Ferjentsik, E. 1982}}. Während beim Fliegen theoretisch mögliche Druckschwankungen von 1 Atmosphäre (am Meeresspiegel) bis zu 0 Atmosphären (im Weltraum) reichen, steigt der Druck signifikant unter Wasser um 1 Atmosphäre je 10m {{Zadik, Y. 2009}}.

Ob jedoch die Schmerzen der Barodontalgie (während des Ab- oder Aufstiegs sowohl beim

Fliegen als auch beim Tauchen) auftreten, hängt letztlich von der Pathologie ab. Treten die Zahnschmerzen beim Aufstieg auf, weist dies auf eine Pulpitis hin. Treten die Symptome jedoch beim Abstieg auf, ist eine Pulpanekrose oder aber ein extraorales Barotrauma wahrscheinlich.

Periapikale Entzündungen können sowohl beim Abstieg als auch beim Aufstieg auftreten {{Rauch, J.W. 1985}} (siehe Tabelle 1).

In den meisten Fällen verschwinden die Symptome bei der Rückkehr zur Ausgangshöhe, Ausnahmen stellen periapikale Geschehen oder Barotraumen des Gesichtes dar {{Zadik, Y. 2006}}.

	Direkte Barodontalgie (verursacht durch eine Pulpitis mit oder ohne periapikaler Beteiligung)	Indirekte Barodontalgie
Ursache	Pulpitis mit oder ohne periapikalem Geschehen	Barosinusitis, Barotitis media
Auftreten	<i>Pulpitis</i> : Auftreten der Schmerzen während des Aufstiegs. <i>Periapikale Parodontitis</i> : Schmerzen während des Anstiegs oder beim Landen	Während des Landens. Die Schmerzen dauern meist am Boden noch weiter an.
Symptome	<i>Irreversible Pulpitis</i> : plötzliche scharfe anhaltende Schmerzen <i>Reversible Pulpitis</i> oder <i>Pulpanekrose</i> : pulsierende dumpfe Schmerzen <i>Periapikale Parodontitis</i> : anhaltende starke schmerzen und Schwellung	Zahnschmerzen im Bereich der unteren Prämolaren oder Molaren
Anamnese	Eine vorangegangene zahnärztliche Behandlung. Kürzlich aufgetretene dentale Hypersensitivität auf heiss/kalt oder Klopfempfindlichkeit	Eine akut bestehende Infektion der unteren Atemwege oder eine vorangegangene Sinusitis.
Klinische Symptome	Ausgedehnte kariöse Läsion oder Sekundärkaries. Akute Reaktion auf Kälte- oder Perkussionstest	Palpationsschmerzen der Nebenhöhlen. Auftreten von Schmerzen bei rascher Veränderung der Kopfposition.
Radiologische Auffälligkeiten	Tiefreichende kariöse Läsionen und/oder ausgedehnte Restauration. Periapikale Aufhellung. Inadäquate Wurzelkanalfüllung	Verschattung der Kieferhöhle.

Tabelle 1: Vergleich der direkten und indirekten Barodontalgie {{Zadik, Y. 2009}}.

Die zurzeit anerkannte Klassifikation der Barodontalgie wurde von Ferjentsik und Aker (1982) aufgestellt. Sie beinhaltet vier Gruppen und ist auf sowohl klinischen als auch radiologischen Parametern der Pulpa und dem periapikalen Zustand begründet. (Tabelle 1).

Einteilung	Ursache	Symptome
Klasse I	Irreversible Pulpitis	Spitzer Schmerz bei Druckanstieg
Klasse II	Reversible Pulpitis	Dumpfer Schmerz bei Druckanstieg
Klasse III	Nekrotische Pulpa	Dumpfer Schmerz bei Druckabfall
Klasse IV	Apikale Parodontitis	Persistierender starker Schmerz bei Druckabfall und -anstieg

Tabelle 2: Einteilung der Barodontalgien nach Ferjentsik und Aker.

Die Barodontalgie ist eher ein Symptom als eine eigene pathologische Erkrankung. Meistens ist es ein Aufflammen einer bereits existierenden subklinischen maxillofacialen Erkrankung verursacht durch eine Veränderung des Umgebungsdruckes. Die meisten der gängig auftretenden oralen Erkrankungen können eine mögliche Ursachen für das Auftreten der Barodontalgie sein: kariöse Läsionen, defekte Restaurationen, Pulpitis, Pulpanekrose, apikale Parodontitis (Knochenzysten und Granulome), parodontale Taschen oder impaktierte Zähne. Auch defekte Restaurationen wie zum Beispiel Frakturen oder undichte Versorgungen können für die Entstehung einer Barodontalgie verantwortlich sein {{Kennebeck et al, 1946; Kollmann, W. 1993; Zadik et al, 2007; Boggia, R. 1998; Zadik, Y. 2006; Senia et al, 1985}}.

Eine Ausnahme stellt die Barodontalgie, welche ich als ausstrahlender Schmerz einer Barosinusitis oder Barotitis media manifestiert. Diese beiden Zustände werden eher durch Druckschwankungen als durch Druckschwankungen bedingtes Aufflammen einer bereits existierenden Entzündung hervorgerufen {{Zadik, Y. 2009}}.

Aus Daten von 1940 geht hervor, dass die häufigste Ursache für die Barodontalgie die Pulpitis ist. Es werden zahlreiche Entstehungshypothesen für die der Barodontalgie zugrundeliegenden Pulpitis diskutiert:

1. Eine direkte Ischämie verursacht durch die Entzündung selbst {{Kennebeck et al 1946}}.
2. Eine indirekte Ischämie entstanden durch steigenden Druck in der Pulpa, aufgrund der Vasodilatation und Flüssigkeitsdiffusion in das umliegende Gewebe {{Harvey W. 1947}}.
3. Das Resultat einer intrapulpalen Gasexpansion durch Gaseinschlüsse als Nebenprodukte von Säuren, Basen und Enzyme im entzündeten Gewebe {{Levy, B.M. 1943}}.
4. Als Ergebnis von Gasdiffusion durch die Gefäße aufgrund von druckbedingter herabgesetzter Gaslöslichkeit. Diese Theorie entstand nach einer histologischen Untersuchung von Gasblasen an auseinander geschnittenen Zähnen, welche nach dem Auftreten der Barodontalgie extrahiert wurden {{Orban, B. und Ritchey, B.T. 1943}}. Lyon et al widerlegte 1999 diese Theorie, da die Autoren diese Gasblasen in nur 6 von 75 Zähnen feststellen konnten.
5. Eine Hyperämie der Pulpa bedingt durch eine Dekompression {{Orban, B. und Ritchey, B.T. 1943}}.
6. Durch Druckschwankungen kann es bei defekten restaurierten Zähnen zu einem Eindringen von Mundflüssigkeit in die Dentintubuli kommen. Dies führt zu einer Hypersensitivität oder Schmerzen in der Pulpenkammer. Außerdem können defekte Restaurationen zu einer Pulpitis führen, welche indirekt eine Barodontalgie auslösen.

Fakt ist, dass es derzeit keine einheitliche Meinung über den Entstehungsmechanismus gibt. Jedoch eine gesunde Pulpa wird durch Veränderungen des atmosphärischen Drucks nicht beeinträchtigt {{Zadik, Y. 2009}}.

1.4 Inzidenz

Die Studie von Zadik in der israelischen Luftwaffe ergab ein Auftreten der Barodontalgie in ungefähr einem Fall pro hundert Flüge im Jahr {{Zadik et al, 2007}}.

Ein Barotrauma des Kopf- oder Gesichtsbereiches ist nur in 7-9% verantwortlich für das Auftreten der Barodontalgie {{Kennebeck et al, 1946; Kollmann, W. 1993; Zadik, Y. 2007}}.

1.5 Diagnostik

In zahlreichen Studien wird eine definitive Diagnose für die zugrundeliegende Pathologie der Barodontalgie sehr kontrovers diskutiert {{Senia et al 1985, Kennebeck et al 1946}}. Die Schwierigkeit liegt in der eindeutigen Identifikation des ursächlichen Zahnes, da jeder Zahn mit einer Restauration oder Wurzelkanalfüllung und/oder benachbarter anatomischer Strukturen (z.B.: Kieferhöhle) verantwortlich für die Schmerzentstehung sein kann. Darüber hinaus kann der Arzt den auslösenden Faktor für die Schmerzen (Veränderungen des atmosphärischen Drucks) nicht reproduzieren {{Zadik, Y. 2009}}.

Deshalb sind historische Daten von umso größerer Bedeutung für die Diagnostik (siehe Tabelle 2).

Bis zu 86% der Barodontalgien weisen mindestens einen beteiligten Zahn mit einer defekten Restauration auf {{Ferjentsik et al 1982}}.

Diese Daten sind ein guter Anhaltspunkt für eine dentale Diagnosefindung {{Zadik, Y. 2009}}.

1.6 Prävention und Therapie

Wie bereits oben erwähnt, ist die Hauptursache für die Barodontalgie das Aufflammen von bereits existierenden subklinischen Veränderungen der Zähne durch Veränderungen des Umgebungsdruckes. Wesentlich für die Prävention der Barodontalgie ist die frühzeitige Diagnose von initialen Läsionen und deren sorgfältige Behandlung (Tabelle.2) {{Zadik, Y. 2009}}.

Disziplinen	Grundsätze
Prävention	<input type="checkbox"/> <i>Ausgewogene Ernährung</i>
Regelmäßige Kontrollen	<input type="checkbox"/> <i>Jährliche Vitalitätsprüfung der Zähne</i> <input type="checkbox"/> <i>Überprüfung von Restaurationen auf Randspaltenbildung und Frakturen</i> <input type="checkbox"/> <i>Ausschließen von Bruxismus</i> <input type="checkbox"/> <i>Panoramaröntgen</i>
Konservierende Versorgung	<input type="checkbox"/> <i>Vollständige Entfernung der kariösen Zahnschubstanz</i>
Endodontie	<input type="checkbox"/> <i>Vermeidung einer direkten Überkappung</i>
Prothetik	<input type="checkbox"/> <i>Gute Retention</i> <input type="checkbox"/> <i>Gute Aufklärung</i> <input type="checkbox"/> <i>Befestigung mittels kunststoffverstärktem Zement</i>
Orale Chirurgie	<input type="checkbox"/> <i>Ausschließen einer Mund-Antrum-Verbindung</i>
Dokumentation	<input type="checkbox"/> <i>Sorgfältige Dokumentation</i>

Tabelle 3: Behandlungsempfehlung für druckexponierte Personen {{Zadik, Y. 2009}}

Zadik{{2009}} appelliert in seinen Studien ein besonderes Augenmerk bei den regelmäßigen Kontrollen auf defekte, frakturierte oder undichte Restaurationen, Restaurationen mit schlechter Retention und Sekundärkaries zu legen. Kältetest und Kleinbildröntgenstatus sollten auf jeden Fall bei Zähnen mit großen Restaurationen durchgeführt werden um eine versteckte Pulpanekrose auszuschließen. Panoramaröntgen sind sinnvoll um zusätzliche versteckte Pathologien zu erkennen sowie für eine sorgfältige forensische Dokumentation {{Zadik, Y. 2006}}.

Gonzales- Santiago empfiehlt in seiner Studie eine frühzeitige Entfernung potentieller Entzündungsherde wie z.B. retinierte Weisheitszähne.

Erst nach Abschluss einer adäquaten Inspektion und gegebenenfalls suffizienten Restauration von sämtlichen kariösen Läsionen und Sanierung von allen entzündlichen Prozessen, ist eine Druckexposition von zahnärztlicher Sicht zu empfehlen.

Die Fédération Dentaire Internationale empfiehlt ein Abwarten von mindestens 24 Stunden nach der Durchführung einer Zahnbehandlung und sogar eine Woche nach einem chirurgischen Eingriff, bevor man sich wieder an Bord eines Flugzeuges oder auf einen Tauchgang begibt. Weiteres wird eine jährliche zahnärztliche Kontrolle als auch eine professionelle Zahnreinigung mit umfangreicher Hygieneinstruktion bei Tauchern, U-Bootfahrern und Piloten unbedingt empfohlen.

Der Schlüssel für die Vermeidung der Barodontalgie, ist laut Kieser und Holborow das Vorhandensein einer guten oralen Gesundheit {{Kieser, J. und Holborow, D. 1997}}.

2 Material und Methode

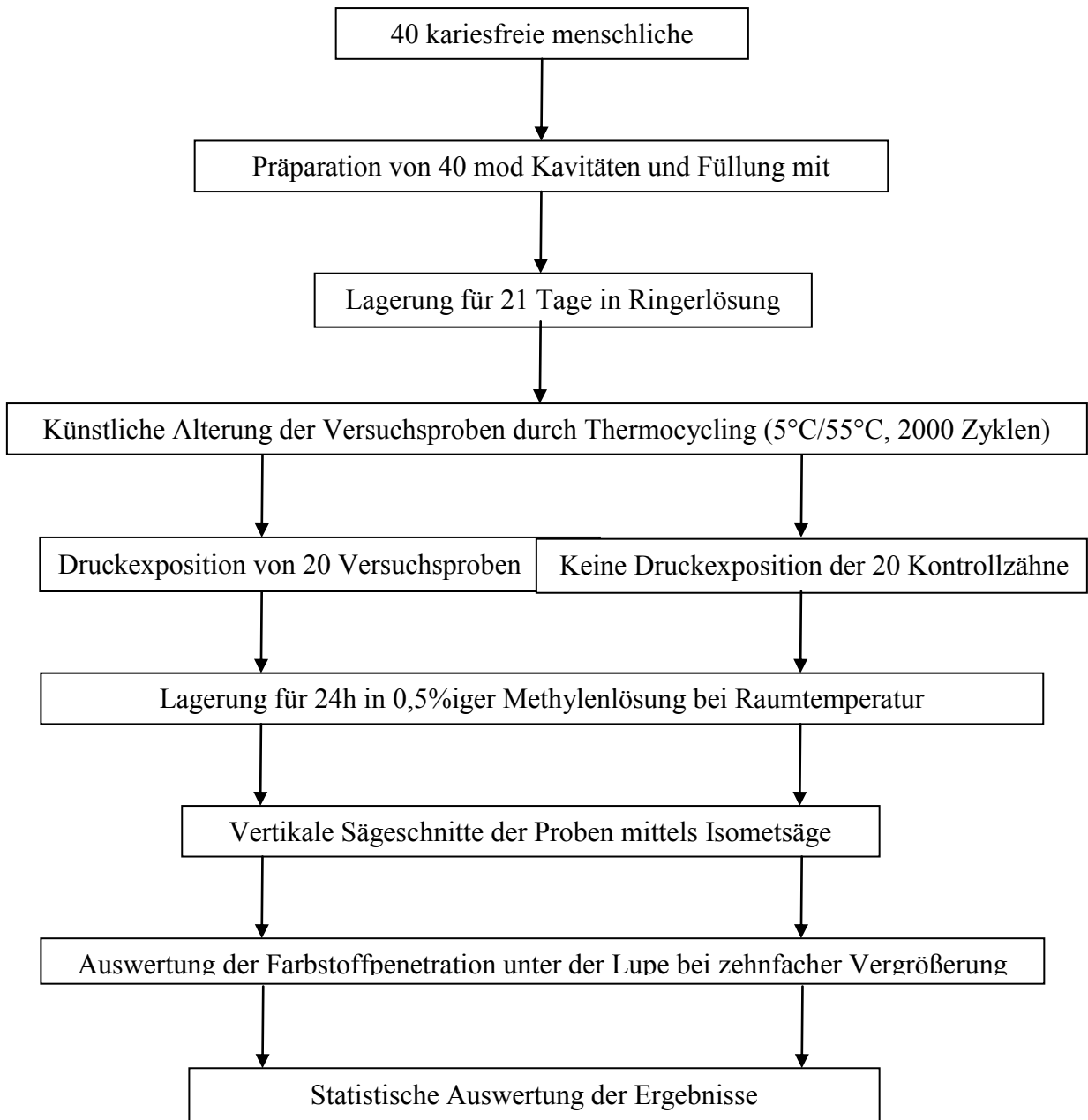


Abbildung 2: Versuchsablauf

2.1 Vorbereitung der Proben

Vorbereitung und Lagerung der Zähne

40 extrahierte, karies- und füllungsfreie Molaren aus der Ambulanz des Departments für orale Chirurgie der Zahnklinik Graz wurden für diese Studie verwendet. Die Zähne wurden nach der Extraktion unter fließendem Wasser gereinigt und in 3% Wasserstoffperoxid für ungefähr 24 Stunden eingelegt. Um eine klinische Situation zu simulieren, wurden die Testzähne zuerst für 21 Tage in Ringerlösung gelagert, da es zu einer hygroskopischen Expansion des Kunststoffes kommt, was durch die Wasseraufnahme des Komposits bedingt ist. Die Versuchsproben wurden zwischen jedem Arbeitsschritt wieder in Ringerlösung gelegt, um eine Austrocknung der Zähne zu verhindern

Präparation der Kavitäten

Es wurden mittels eines Diamantenbohrers unter ständiger Wasserkühlung 2mm der Apices der Molaren entfernt. Die Wurzelkanäle wurden mit IRM Zement der Fa Dentsly von retrograd gefüllt und in einem zweiten Schritt zusätzlich mit Komposit der Fa Ivoclar abgedichtet um ein Eindringen des Farbstoffes von apikal zu Verhindern

Die Präparation der mod Kavitäten erfolgte unter direkter Sicht, um eine möglichst einheitliche Kavitätengröße zu gewährleisten. Die Klasse II Kavitäten wurden mittels eines KaVo Winkelstückes bei hoher Drehzahl (200000 Umdrehungen pro Minute) unter maximaler Wasserkühlung präpariert. Für die Grobpräparation wurde ein zylindrischer Diamantbohrers mit 80 µm Korngröße verwendet.

Die Kavitätenwände liegen parallel zur Zahnachse und weisen leicht divergierende Wände auf. Die Präparationsgrenzen des mesialen und distalen Kastens ist dentinbegrenzt und liegt rund 1-1,5 mm zervikal der Schmelz- Zement-Grenze.

Die Kavität wurde mit einem leicht konischen Finierdiamanten mit abgerundeter Spitze und einer

Korngröße von 25 µm nachbearbeitet und geglättet. Grenze. Die approximalen Schmelzränder wurden im Winkel von 45 Grad auf einer Breite von rund 0,5mm angeschnitten.



Abbildung 3: Präparation der Kavitäten

Konditionieren und Füllen der Kavitäten

Die Kavitäten wurden mit 37%iger Phosphorsäure, nach dem Total Etch Prinzip angeätzt. (Total Etch der Fa Ivoclar Vivadent). Anschließend erfolgte eine vorsichtige Trocknung mit dem Luftspray. Um die Überätzung des Dentins zu vermeiden, wurde mit dem Ätzelgel zuerst der Schmelz für 15 Sekunden benetzt und anschließend für weitere 15 Sekunden das freiliegende Dentin. Anschließend wurde die Kavität sorgfältig mit dem Wasserspray für 30 Sekunden gespült und mit dem Luftbläser getrocknet.

Als Dentinadhäsiv wurde der lichthärtende Einkomponenten-Haftvermittler (Heliobond der Fa Ivoclar Vivadent) verwendet. Der Dentinhaftvermittler besteht aus 60% Bisphenol-Glycidil-Methacrylat (Bis-GMA) und 40% Triethylenglycoldimethacrylat (TEG-DMA).

Die Applikation des Dentinhaftvermittlers erfolgte mittels Einmalapplikatorbürstchen, welches auf die gesamte Kavitätenoberfläche aufgetragen und einmassiert wurde. Danach wurde das Adhäsiv leicht mit dem Luftbläser verblasen.

Nach der Konditionierung der 40 Zähne wurde eine erste Schichte fließfähiges Komposit auf den Kavitätenboden aufgebracht und ausgehärtet. Anschließend werden die Kavitäten mit Hilfe der Inkrementtechnik mit Hybridkomposit gefüllt. Die einzelnen Inkremente wurden mit einem Heidemannspatel und Stopfinstrumenten sorgfältig adaptiert. Jedes Kompositinkrement wurde mit der Polymerisationslampe einzeln für 40 Sekunden ausgehärtet.

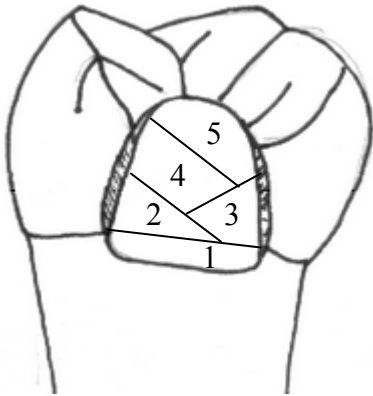


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Inkremente in ihrer Applikationsreihenfolge

Die Versuchsproben wurden mit folgenden Kompositen der Fa Ivoclar gefüllt:

A) Tetric EvoFlow

Zuerst wurde eine etwa 1mm dünne Schichte Tetric EvoFlow der Fa Ivoclar Vivadent aufgetragen und ausgehärtet. Tetric EvoFlow ist ein fließfähiges, lichthärtendes Nanohybrid Komposit bestehend aus:

38% Dimethacrylaten, Füllstoffe aus Bariumglas, Ytterbiumtrifluorid, hochdisperses Siliciumoxid, Mischoxid und Copolymer (62 Gew.%). Zusätzlich enthalten sind Additive, Katalysatoren, Stabilisatoren und Pigmente (< 1.0 Gew.%).

Der Gesamtgehalt an anorganischem Füller beträgt 57.5 Gew.% bzw. 30.7 Vol.% . Die Partikelgröße der anorganischen Füllstoffe liegt zwischen 40 nm (0.04 µm) und 3000 nm (3 µm) bei einer mittleren Korngröße von 550 nm (0,55µm).

B) Tetric EvoCeram

Tetric EvoCeram wurde mittels Inkrementtechnik in die Kavitäten appliziert.

Bei Tetric Evo Ceram handelt es sich um ein Feinpartikel Hybridkomposit bestehend aus:

Einer Monomermatrix aus Dimethacrylaten (17–18 Gew.%) mit Füllstoffe bestehend aus Bariumglas, Ytterbiumtrifluorid, Mischoxid und Präpolymer (82–83 Gew.%). Zusätzlich enthalten sind Additive, Katalysatoren, Stabilisatoren und Pigmente (<1.0 Gew.%).

Der Gesamtgehalt an anorganischem Füller beträgt 75–76 Gew.% bzw. 53–55 Vol.%. Die Partikelgröße der anorganischen Füllstoffe liegt zwischen 40 nm und 3000 nm bei einer mittleren Größe von 550 nm.

Ausarbeitung und Politur

Die grobe Ausarbeitung der Füllungen erfolgte mit den Dura-Green- und Dura-White-Steinen aus dem Composite Finishing Kit der Fa. Shofu. Mit dem Dura-Green-Stein wurde die grobe, mit dem Dura-White-Stein die feine Ausarbeitung der Kompositrestaurationen unter maximaler Wasserkühlung durchgeführt. Die anschließende Oberflächenglättung und Politur erfolgte durch die Silikonpolierer Ceramisté Polishers der Fa. Shofu. Die Polierer wurden in absteigender Reihe (Standard, Ultra, Ultra II) verwendet.

Thermocycling

Die Zähne wurden mit dem Labcycler der Fa Sensoquest einer Temperaturwechselbelastung (Thermocycling) von 5° und 55° Celsius ausgesetzt. Der Vorgang wurde 2000 Mal wiederholt. Die Verweildauer betrug jeweils 30s. Diese Temperatur-Wechselbelastungen führten zu einer künstlichen Alterung der Füllungsmaterialien. Dieses Vorgehen ermöglichte es, die natürliche Materialermüdung im menschlichen Gebiss zu simulieren.



Abbildung 5: Versuchskammer für Temperaturwechselbelastung zur künstlichen Alterung der Versuchsproben

Nach diesem Verfahren wurden die Zähne wieder in Ringerlösung bis zum Zeitpunkt der qualitativen Randanalyse gelagert.

Druckexposition

Die Versuchsproben wurden randomisiert in zwei Gruppen mit jeweils 20 Zähnen aufgeteilt. Die Versuchsgruppe wurde mittels des Autoklaven DB-23 der Fa Systec unterschiedlichen Umgebungsdrücken ausgesetzt, um eine Höhendifferenz von 66-340 kPa zu simulieren. Die Kontrollgruppe wurde in der Zwischenzeit in Ringerlösung gelagert. Der Autoklav wurde modifiziert um die speziellen Bedürfnisse und Anwendungen für die Simulation verschiedener Umgebungsdrücke zu ermöglichen.



Abbildung 6: Versuchsdruckkammer mit Pressluft für simulierte Tauchfahrten bis 44 Meter und Bergbesteigungen bis rund 3500 Höhenmeter.

Für den Versuch wurden folgende Parameter gewählt:

Parameter	Prog.1: Unterdruck
Pulses	2
PulseVac 1 [kPa]	66
PulseVac T1 [Sek.]	5
PulsePress 1 [kPa]	100
PulseVac 2 [kPa]	66
PulseVac T2 [Sek.]	180
PulsePress 2 [kPa]	340
PulseVac 3 [kPa]	180
Pulse Vac T3 [Sek.]	180
PulsePress 3 [kPa]	340
CycleCount	15
CycleCounterTime [min]	1

Tabelle 4: Parameter für die Simulation unterschiedlicher Umgebungsdrücke

PulseVac 1	Wert des Unterdrucks (Vakuum) in kPa.
PulseVac 2	PulseVac 1 für den ersten Zyklus, PulseVac 2 für alle folgenden Zyklen und PulseVac 3 für den letzten Zyklus.
PulseVac 3	
PulsePress 1	
PulsePress 2	PulsePress 1 für den ersten Zyklus, PulsePress 2 für alle folgenden Zyklen und PulsePress 3 für den letzten Zyklus.
PulsePress 3	
PulseVac T1	
PulseVac T2	Diese Werte geben die Haltezeit nach einem Puls in Sekunden an.
PulseVac T3	
CycleCount	
CycleCountTime	Anzahl der Programmwiederholungen
	Pausenzeit zwischen den Läufen

Tabelle 5: Erläuterung der Parameter

Mit diesen Einstellungen geht der Druck bis auf 66 kPa hinunter, was einer Höhe von rund 3500 Metern entspricht, die Vakuumpumpe läuft für 5 Sekunden nach, dann steigt der Druck auf den eingestellten „PulsePress 1“ von 100 kPa, welcher dem Druck auf Meeresniveau entspricht.

Nach 1 Minute sinkt der Druck erneut auf 66 kPa und steigt wieder auf 340 kPa. 340 kPa entsprechen 3,4 bar und somit einer Tauchtiefe von 44 Metern. Dieser Druck wird für 30 Sekunden gehalten und danach wird der Druck wieder auf Atmosphärendruck abgelassen. Bei PulseVac 3 sinkt der Druck wieder auf 66 kPa ab und steigt nach einer Haltedauer von 180 Sekunden wieder an auf 340 kPa, bis sich danach der Druck erneut auf Atmosphärendruck einstellt.

Dieser beschriebene Zyklus wurde 15 Mal wiederholt, wobei zwischen jedem Zyklus 1 Minute lag.

Die Kontrollgruppe blieb in der Zwischenzeit in Ringerlösung gelagert.

Quantitative Randanalyse

Ein gutes Randverhalten von Kompositen ist eine wichtige Voraussetzung für die Vermeidung der Barodontalgie.

Die quantitative Randanalyse erfolgte mit Hilfe des Farbpenetrationstests: Die Zähne wurden bei Zimmertemperatur für 24 Stunden in 0,5% Methylenblaulösung bei Raumtemperatur eingelegt. Danach wurde die überschüssige Farbe von den Zähnen unter fließendem Leitungswasser abgespült. Die retrograde apikale Füllung der Pulpa mittels IRM Zement der Firma Dentsply und anschließende apikale Abdichtung mittels Komposit der Fa Ivoclar (TetricEvoCeram) soll das Eindringen der Farblösung in die Pulpa verhindern.

Alle Zähne wurden durch einen vertikalen Sägeschnitte in mesio-distaler Ausrichtung, welcher parallel zur Achsenausrichtung des Zahnes und mittig zur gelegten Füllung ausgerichtet war, mittels einer wassergekühlten Isometsäge der Fa Buhler getrennt. Die zerteilten Zähne konnten nun mit je zwei approximalen Messpunkten analysiert werden. Insgesamt wurden n=80 Messwerte erhoben (40 Zähne mit je 2 Messstellen).

Anschließend erfolgte die Farbstoffpenetrationsanalyse mit einer Lupe der Fa Eschenbach (Präzisionsfadenzähler) unter zehnfacher Vergrößerung.



Abbildung 7: Isometsäge zur Zerteilung der Versuchsproben in zwei Hälften

Die Eindringtiefe der Penetrationsflüssigkeit wurde direkt nach dem Anfertigen der Sägeschnitte und unter folgenden Kriterien beurteilt:

Gradeinteilung zur Beurteilung der Farbstoffpenetration:

Grad 0: farbdichter Verschluss

Grad I: Eindringen des Farbstoffes bis maximal zur Hälfte der zerviko-approximalen Stufe

Grad II: Eindringen des Farbstoffes bis maximal zu Gänze der zerviko-approximalen Stufe

Grad III: Eindringen von Farbstoff bis maximal zur Hälfte der axialen Kavitätenwand

Grad IV: Eindringen von Farbstoff bis maximal zur Gänze der axialen Kavitätenwand

Grad V: Eindringen von Farbstoff in den okklusalen Kavitätenboden



Abbildung 8: Schematische Darstellung der Farbpennetrationsgrade

2.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte für den Farbstoffpenetrationstest mittels Microsoft Excel 2003 und des Statistikprogramms PASW Statistics 18 für Windows. Um vergleichen zu können, ob es zu Unterschieden zwischen den beiden Versuchsgruppen (*mit Druckexposition* und *ohne Druckexposition*) kommt, wurde für *mesial* und *distal* jeweils der *Mann-Whitney U Test* getrennt berechnet.

Die gesammelten Daten der Randspaltvermessung, wurden in die 5 definierten Kriterien für die marginale Randbeurteilung eingeteilt (Grad 1-5: 1 perfekter Randschluss, 2 Eindringen des Farbstoffes bis maximal zu Gänze der zerviko-approximalen Stufe, 3 bis maximal zur Hälfte der axialen Kavitätenwand, 4 bis maximal zur Gänze der axialen Kavitätenwand, 5 Eindringtiefe bis in den okklusalen Kavitätenboden). Die Bereiche Schmelz und Dentin wurden nicht getrennt beurteilt

3 Ergebnisse

Für die Datenanalyse der Untersuchung standen 40 Proben zur Verfügung. Nachdem die Versuchszähne einer künstlichen Materialalterung ausgesetzt wurden, wurden die 40 Zähne in zwei Gruppen mit jeweils 20 Zähnen zufällig aufgeteilt. Sowohl die Versuchsgruppe, welche unterschiedlichen Druckschwankungen ausgesetzt wurde, als auch die Kontrollgruppe ohne Druckschwankungen, wurden durch vertikale Sägeschnitte in der Mitte zerteilt. So entstanden pro Zahnhälfte zwei Messstellen (mesial und distal). Dadurch ergaben sich insgesamt 160 zu beurteilende Flächen. Bei der Auswertung der Daten wurden die Kriterien „mesial“ von der Zahnhälfte eins und zwei und „distal“ von den beiden Zahnhälften zusammengefasst, da keine signifikanten Unterschiede zu erwarten waren.

Mit Druckexposition					Ohne Druckexposition				
	Hälfte eins		Hälfte zwei			Hälfte eins		Hälfte zwei	
	mesial	distal	mesial	distal		mesial	distal	mesial	distal
1	II	IV	IV	III	1	II	V	II	III
2	0	II	0	II	2	V	I	V	I
3	0	IV	I	IV	3	IV	II	V	I
4	V	III	V	III	4	0	V	0	V
5	0	III	0	V	5	0	0	0	0
6	IV	IV	IV	IV	6	V	V	V	V
7	0	0	I	IV	7	V	III	V	III
8	IV	V	V	III	8	V	V	V	V
9	0	V	0	V	9	0	III	0	III
10	V	IV	IV	IV	10	III	IV	III	IV
11	IV	IV	V	I	11	III	III	III	IV
12	II	IV	II	I	12	0	0	0	0
13	I	0	I	0	13	III	III	III	III
14	IV	III	V	IV	14	IV	III	IV	III
15	II	III	II	III	15	IV	IV	IV	IV
16	0	IV	0	IV	16	V	II	V	I
17	II	III	II	III	17	0	0	0	0
18	II	0	II	0	18	0	IV	0	IV
19	0	IV	0	III	19	IV	II	IV	II
20	0	II	0	II	20	V	V	V	V

Tabelle 6: Auswertung der Versuchsproben

Bei der Datenanalyse ergab der statistische Test **keinen** signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

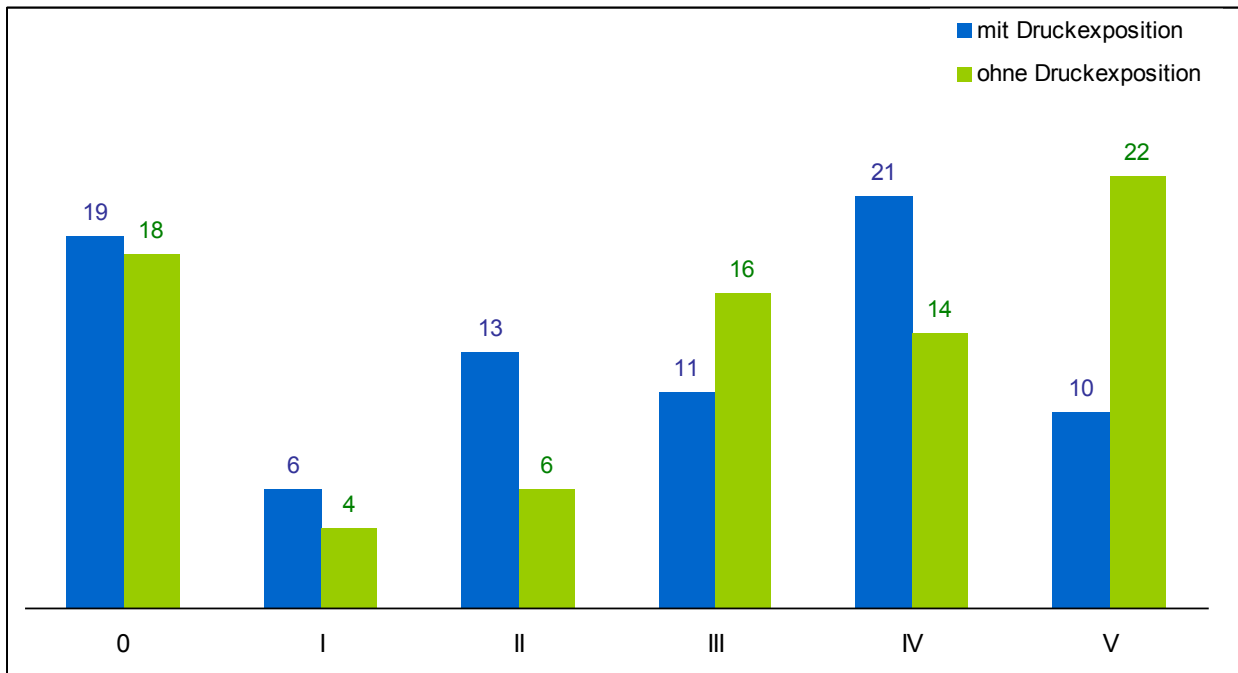


Abbildung 9: Schematische Darstellung der statistischen Auswertung für das Kriterium Randspalt mit und ohne Druckexposition (Mann-Whitney U-Test).

Bei 19 der 40 Zähhälften der Versuchsgruppe (mit Druckexposition) zeigte sich eine optimale marginale Adaptation der Kompositfüllung, bei der Kontrollgruppe waren es 18 Zähhälften. Für das Kriterium „Eindringen des Farbstoffes bis maximal zur Hälfte der zerviko-approximalen Stufe“ zeigt sich eine Aufteilung von 6 Zähhälften mit Druckexposition zu 4 Zähhälften ohne Druckexposition. Ein Eindringen des Farbstoffes bis maximal zu Gänze der zerviko-approximalen Stufe war bei 13 Versuchszähhälften zu erkennen und bei 6 der Kontrollhälften. 11 Zähhälften die den Druckschwankungen ausgesetzt wurden, zeigten ein Eindringen bis maximal zur Hälfte der axialen Kavitätenwand und bei 16 Zähhälften ohne Druckexposition war dies zu erkennen. Für das Kriterium „Eindringen von Farbstoff bis maximal zur Gänze der axialen Kavitätenwand“ ist eine Verteilung von 21 zu 14 festzustellen. Überraschenderweise drang der Farbstoff in den okklusalen Kavitätenboden bei 10 Zähhälften der Versuchsgruppe ein und sogar bei 21 der Kontrollzähhälften.

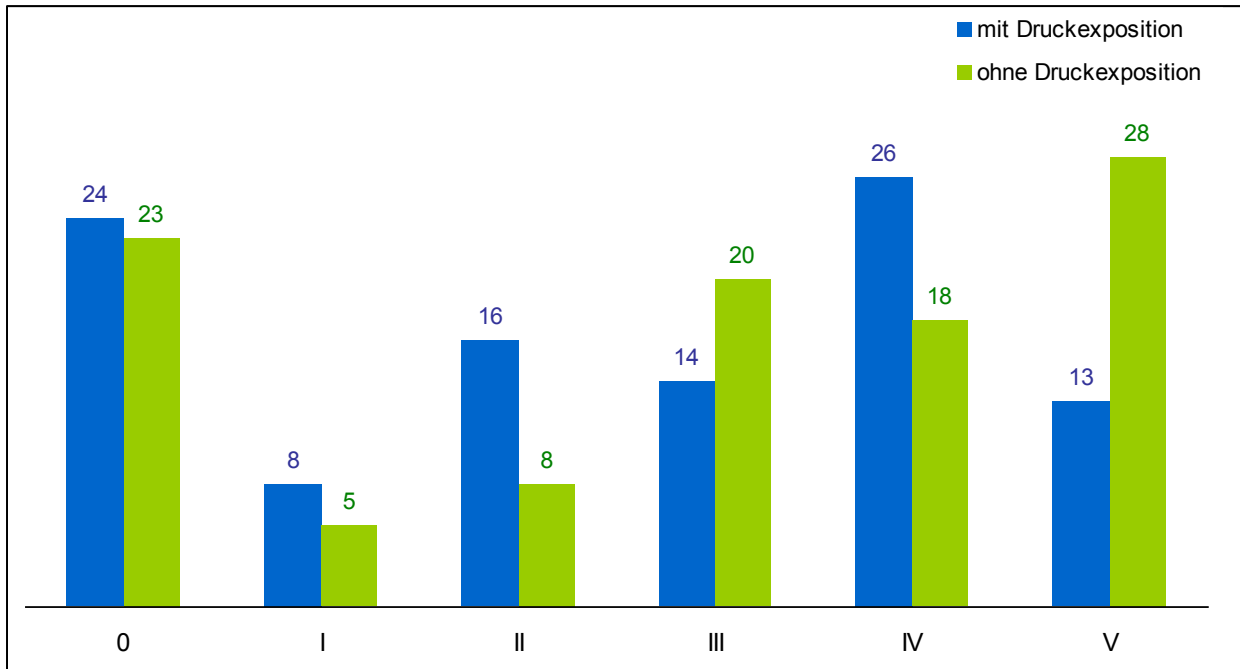


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung des prozentualen Ausmaßes der Kompositfüllungen an den Grenzflächen zur natürlichen Zahnschubstanz mit und ohne Druckexposition

Bei der Betrachtung der prozentualen Häufigkeiten von Randspalten bei mod Kompositfüllungen an den Grenzflächen zwischen Komposit und natürlicher Zahnschubstanz zeigte sich, dass 23% der Versuchszahnhälften ohne Druckexposition und 24% der Zahnhälften ohne Druckexposition einen perfekten Randschluss aufwiesen. Bei Grad I ergab sich ein prozentualer Unterschied bei den Zahnhälften mit und ohne Druckexposition von 2%. Ein Eindringen des Farbstoffes bis maximal zu Gänze der zerviko-approximalen Stufe war bei 16% der Zahnhälften mit und bei nur 8% der Zahnhälften ohne Druckexposition zu erkennen. 14% der Versuchszahnhälften und 20% der Kontrollzahnhälften fielen unter die Kategorie Grad III. Bei der Auswertung der Daten des Farbstoffpenetrationstestes war ein „Eindringen von Farbstoff bis maximal zur Gänze der axialen Kavitätenwand“ bei 26% ohne und bei 18% der Zähne mit Druckexposition feststellbar. Ein deutlicher Unterschied zeigte sich bei Grad V. 13% der Versuchszahnhälften und sogar 28% der Kontrollzahnhälften fielen unter diese Kategorie.

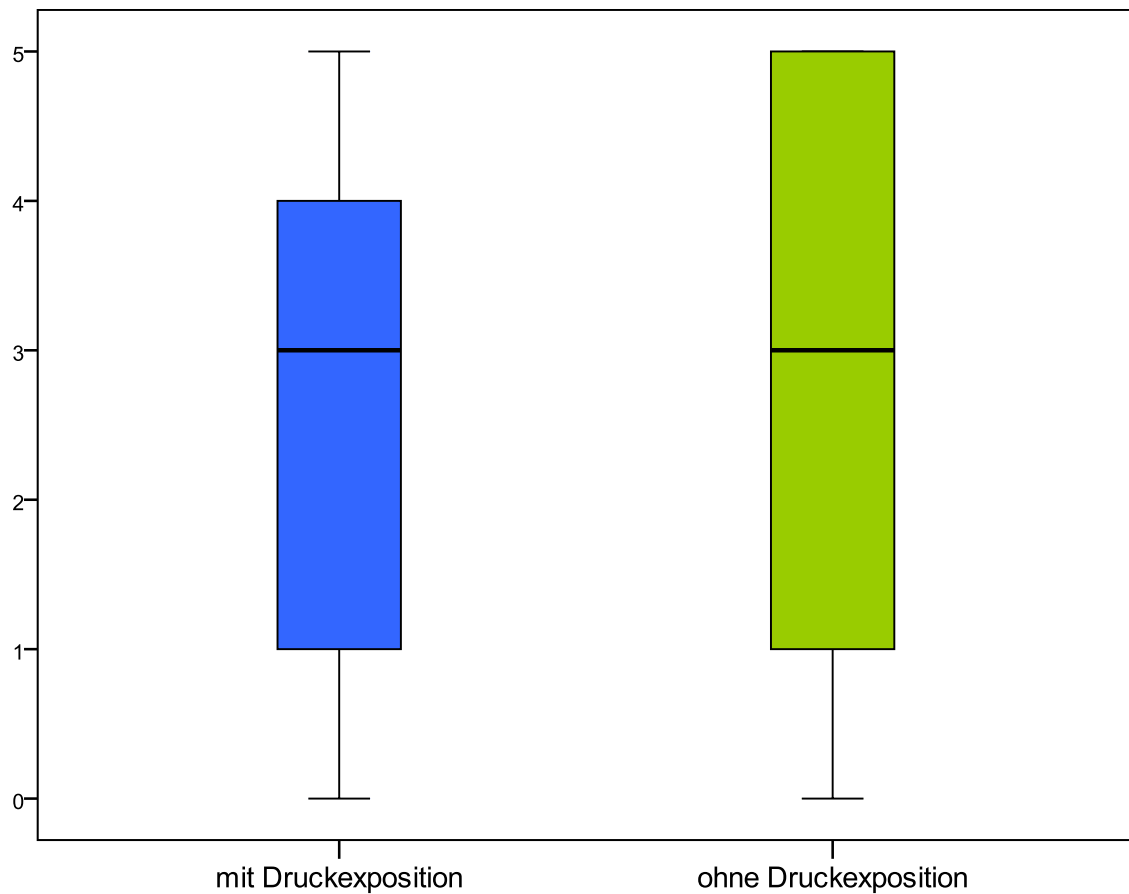


Abbildung 11: Prozentuale Häufigkeit von Randspalten an der Grenzfläche zur natürlichen Zahnschubstanz mit und ohne Druckexposition.

In Abbildung 11 graphisch dargestellt sind die Medianwerte der Füllungsrandanalyse die die beiden Gruppen mit und ohne Druckexposition mit Maximum und Minimum als Boxplot. Die Mittelstriche geben die Medianwerte an, die Boxen zeigen die mittleren 25% Quartile.

Der marginale Verbund zwischen Zahnschubstanz und Füllungsmaterial zeigt mit und ohne Druckexposition im Median keinen signifikanten Unterschied.

4 Diskussion

4.1 Diskussion von Material und Methoden

4.1.1 Zahnproben

Die angewandten Verfahren simulieren nur annähernd die natürlichen Bedingungen der Mundhöhle, können diese aber nicht vollständig nachempfinden.

In Versuchsreihen mit humanen Zähnen werden unterschiedliche Lagerungszeiten ab dem Zeitpunkt der Extraktion angegeben. Blunk et al konnte 1990 in seiner Untersuchung keinen signifikanten Einfluss zwischen Extraktionszeitpunkt und der Lagerung feststellen. Auch in der vorliegenden Untersuchung verging eine unterschiedliche Zeit von der Extraktion der Molaren bis zu ihrer Bearbeitung.

Die Zähne wurden vor und zwischen den Versuchen immer in Ringerlösung {{Kunzelmann et al, 1993; Manhart et al, 2001}} gelagert, um eine vorzeitige Denaturierung der Kollagenstrukturen sowie eine Entstehung von Mikrorissen in den Versuchsproben zu verhindern{{Schröder, H.E. 1992; Pilecki et al, 2005}}.

Weitere in der Literatur anerkannte Lagerungsmedien für extrahierte Zähne sind isotone Kochsalzlösung {{Mehl et al, 1997; Sorensen und Dixit, 1991}}, 15%ige Chloraminlösung {{Glockner et al, 1998; Haller et al, 1993}} oder 1%ige Chloramin B-Hydratlösung {{Ernst et al, 2000}}.

In-vitro-Untersuchungen ermöglichen es, die Füllungen unter optimalen Bedingungen zu legen (keine Feuchtigkeit durch Speichelfluss, keine Blutkotamination, direkte Sicht etc), was unter natürlichen Bedingungen der Mundhöhle nur schwer möglich ist. Somit sind bei In-vitro-Untersuchungen annähernd gleiche Voraussetzungen für die Verarbeitung der verschiedenen Materialien gegeben. Eine große Erleichterung einer in vitro Studie kommt durch die Unabhängigkeit der Patientenadhärenz zustande, wodurch aussagekräftige Ergebnisse in kürzerer Zeit zu erzielen sind.

Ein weiterer erheblicher Vorteil der *in vitro* Studie ist unter anderem die Möglichkeit zur Standardisierung der Testmethoden oder die Anwendung von destruktiven Verfahren wie z.B. der Farbstoffpenetrationstest, wobei zur Auswertung der Proben die Zähne zerstört werden müssen {{Perdigao et al, 1999}}.

4.1.2 Untersuchungsmethoden

Um die natürliche Situation in der Mundhöhle zu simulieren, werden bei *In-vitro*-Versuchen häufig die Methoden der mechanischen oder thermischen Wechselbelastung herangezogen. Die Randqualität wird erst nach Durchlaufen dieser Verfahren beurteilt {{Braem et al, 1995}}.

Für die künstliche Alterung der Kompositrestaurationen können unterschiedliche Methoden herangezogen werden. Schon die **Lagerung** der Versuchsproben über einen gewissen Zeitraum in einer wässrigen Lösung, bedeutet eine Belastung für die Zähne {{Haller et al, 1993}}. Durch diese Lagerung kann es zu einem Herauslösen von Füllungsbestandteilen oder zu einer Quellung des Komposits kommen, wie es auch unter natürlichen Bedingungen in der Mundhöhle vorkommt {{Wendt et al, 1992}}.

In einigen Studien wurde kein Einfluss von **thermischen Wechselbelastungen** auf die Farbstoffpenetration an Füllungsrandern festgestellt {{Eakle 1986; Wendt et al, 1992}}. Andere Autoren fanden jedoch, dass diese Vorgehensweise durchaus zur Nachahmung der natürlichen Alterung im Mund geeignet ist, da sie teilweise statistisch signifikant höhere Farbstoffpenetrationen nach Thermowechselbelastungen erkennen konnten {{Schuckar, M. und Geurtsen, W. 1995; Burger et al, 1992,}}.

Für den vorliegenden Versuchsaufbau wurde die Temperaturwechselbelastung gewählt, da der Zahn und das Restaurationsmaterialmaterial in der Regel einen unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, wodurch es durch die thermische Expansion des Komposits zu einer Spaltbildung an der Restaurationsgrenze kommen kann {{Bännström et al, 1991; Wendt et al, 1992}}.

Die Versuchsanordnung der Temperaturwechselbelastung wird in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben. Die Temperaturen reichen von 5°C/55°C, 6°C/60°C bis zu 8°/48°C und die Zyklenanzahl wurde von den meisten Autoren zwischen 500 und 2500 gewählt {{Gallo et al, 2000; Leevailj C. 2001; Meiers et al, 2001; Perdigao et al, 1999}}. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Temperaturwechselbelastung zwischen 5 und 55° Celsius gewählt, da dies den minimal und maximal tolerierbaren Werten entspricht, die in der Mundhöhle durch das Einnehmen von heißen und kalten Speisen verursacht werden {{Wendt et al, 1992}}. Die Zyklenanzahl wurden zugunsten der härteren Belastung mit 2000 Zyklen gewählt.

Die Werte für die **Druckexposition** der Versuchszähne wurden zwischen 66 und 340 kPa gewählt. Dies entspricht ungefähr dem Über- und Unterdrücken, welchen druckexponierte Personen maximal ausgesetzt sind. Außerdem liegen die Drücke bei welchen die Barodontalgie auftritt innerhalb dieser Werte {{Robichaud, R. und McNally, M.E. 2005}}. (Wie bereits oben erwähnt, manifestieren sich Symptome der Barodontalgie üblicherweise bei Tauchern ab einer Wassertiefe von 10 bis 25m und bei Fliegern in Höhen von 600 bis 1500m).

Zu den standardisiert angewandten Untersuchungsmethoden zur Visualisierung der Randidchtigkeit gehört der **Farbstoffpenetrationstest** {{Hilton, T.J. 1998}}. Mit diesem ist es möglich sehr kleine Spalten nachzuweisen. Dafür wurde in der vorliegenden Untersuchung eine 5% Methylenblaulösung mit einer Einwirkdauer von 24 Stunden bei Zimmertemperatur gewählt. Weitere in der Literatur angewandte Farbstoffe sind Anillin, Eosin, basisches Fuchsin, Hämatoxylin, Kristallviolett, Methylviolett oder Quecksilberchlorid {{Roulet et al, 1985}}. Die Einwirkzeit der Farbstofflösungen variiert bei unterschiedlichen Studien sehr stark und hat scheinbar keinen Einfluss auf die Eindringtiefe {{Hilton, T.J. 1998}}.

Jedoch ist eine Beurteilung des gesamten Randspaltes nicht möglich, da dafür eine unendlich hohe Anzahl von Sägeschnitten erforderlich wäre {{Going, R.E. 1972; Gale et al, 1994}}. In zahlreichen Studien wurden keine großen Unterschiede an den verschiedenen Schnittflächen eines Zahnes gefunden. Ein einmaliger Schnitt durch die Restauration scheint demnach ausreichende Informationen über die Farbstoffpenetrationstiefen geben zu können {{Mixson

et al 1990}}.

Um das Ende der Farbstoffpenetration gut erkennen zu können werden in der Literatur unterschiedliche Hilfsmitteln zur Vergrößerung der einzelnen Strukturen angewandt. Schuckar und Geurtsen verwendeten für ihre Messung der Farbstoffeindringtiefe ein Stereomikroskop {{1995}}. In dieser Untersuchung erfolgte die Auswertung mit einer Lupe bei zehnfacher Vergrößerung. Bei dieser Vergrößerung war es gut möglich, zwischen den einzelnen Strukturen (Schmelz, Dentin und Komposit) zu differenzieren.

Bei einigen Zähnen war es jedoch sehr schwierig, die Eindringtiefe des Farbstoffes zu erkennen, da hier ein Farbschleier vorlag. Sano et al führt diese Tatsache auf das Einlagern von kleinen Farbstoffpartikel in intakte Verbindungen zurück {{Sano et al. 1995}}. Zusätzlich konnte in der Literatur nachgewiesen werden, dass eine Diffusion von kleinen Ionen oder Molekülen stattfinden kann, obwohl ein spaltfreier Verbund vorliegt. Hier findet die Penetration zwischen dem demineralisierten Dentin und der Hybridschicht statt. Diese Hohlräume werden als „Nanoleakage“ bezeichnet.

Die quantitativen Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstest sollten jedoch nicht überbewertet werden, da Sorensen et al in seiner Untersuchung 1991 die klinische Relevanz der Randspalten, die durch eingedrungenen Farbstoff dargestellt werden in Frage stellt. Dies ist bis heute noch ungeklärt {{ Schuckar, M. und Geurtsen, W. 1995}}.

Die **Beurteilung der internen Adaptation** erfolgt in der Literatur entweder durch Zuteilung von Penetrationsgraden oder durch direktes Vermessen der Penetrationsstrecken entlang der zu untersuchenden Grenzfläche zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz erfo {{Dietrich et al, 2000}}. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Qualität des Randschlusses durch Eindringtiefe der Farbstofflösung mit einer Gradeinteilung beurteilt.

Eine Bewertung durch mehrere Untersucher wird in der Literatur beschrieben {{Prati, C. 1989; Mathis et al, 1990}}. In dieser Studie wurde darauf verzichtet, wodurch es zu einer subjektiven Komponente hinsichtlich der Auswertung kommt.

Die Füllungsrandanalyse wurde auf den approximalen Bereich begrenzt, weil die durch Belastung verursachte marginale Desintegration von mod Kompositfüllungen hauptsächlich am approximalen Rand auftreten. Vor allem der Verbund zwischen Komposit und Dentin

erweist sich als problematisch {{Glockner et al, 1998, Davidson und Abdalla 1993; Hanning und Bott 2000}}.

4.1.3 Randspalten und Mikroleakage

Der Vergleich der vorliegenden Resultate zu anderen mod Kompositstudien bei Druckexposition ist schwierig, da kaum vergleichbare Daten in der Literatur zur Verfügung stehen.

Randspalten und Mikroleakage sind die Hauptursachen für das Scheitern von adhäsiven Restaurationen. Selbst Spaltbildungen von nur 2µm an der Restaurationsgrenze können eine bakterielle Besiedelung ermöglichen {{Brännström, M. 1991}}. Symptome der Barodontalgie können durch Infektionen der Pulpa durch den fehlerhaften Verbund entstehen. Bei Kompositfüllungen ist ein dichter Randschluss besonders wichtig, da die Materialien keine eigene bakteriostatische oder bakterizide Wirkung aufweisen {{Airoldi et al, 1992}}.

Die Entstehung von Randspalten und somit der Verlust des adhäsiven Verbundes wird mitverursacht durch physikalische Eigenschaften der Zahnschmelze und des Befestigungsmaterials, wie z.B. dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten und dem E-Modul. Eine wesentliche Rolle spielt auch die Polymerisationsschrumpfung des Komposits und die Art der Applikation {{Feilzer et al,1990}}.

Klinisch haben sich einige Verfahren zur Verminderung der Polymerisationsschrumpfung entwickelt. Eine davon ist die Inkrementtechnik Hierbei werden wie oben beschrieben mehrere Inkremente in die Kavität eingebracht und einzeln auspolymerisiert, wobei jede nachfolgende Schichte die vorangegangene Schrumpfung ausgleicht {{Hickel et al, 1994}}. Hellwig et al plädiert 1991 in seiner Untersuchung über die Auswirkung der Schichttechnik auf die Polymerisation von Komposit, für eine maximale Schichtdicke der einzelnen Inkremente von höchstens 2mm. Dies wurde bei der vorliegenden Untersuchung versucht mit Sichtkontrolle einzuhalten.

Die Auswertung der Ergebnisse in der vorliegenden Studie konnte für keine der untersuchten Gruppen einen absolut dichten Komposit-Zahnschmelz-Verbund aufzeigen.

Für zukünftige Untersuchungen wäre eine zusätzliche Beurteilung der marginalen Adaptation mittels eines Rasterelektronenmikroskops anzuraten, da dabei sowohl die Qualität als auch die Quantität des Füllungsrandes beurteilt werden kann {{Glockner et al, 1998}}.

In der vorliegenden Untersuchung wurde zur Reduktion von Randspalten ein modernes Dentinadhäsiv angewandt. Dies führte wie in der Literatur von Schuckar und Geurtsen beschrieben zwar zu einer Verbesserung der Randqualität im Dentin, trotzdem erreichte sie nicht die marginale Adaptation im normal strukturierten Schmelz {{Schuckar, M. und Geurtsen, W. 1995}}.

Nach wie vor ist unbekannt, bei welcher Länge und Breite der Randspalten bzw. bei welchem Grad der Farbstoffpenetration es zur Eindringung von Toxinen und Bakterien, d.h. zur Schädigung der Pulpa und zur Entstehung von Sekundärkaries kommt {{Haller, B. 1992}}. Der Abstand der Präparationsgrenze zur Schmelz-Zement-Grenze hat einen wesentlichen Einfluss auf die Randqualität von Kompositfüllungen. Für einen dichten Randschluss ist ein ausreichendem Abstand zu dieser Grenze bzw. eine gewisse Schmelzbreite von Nöten {{Schuckar, M. und Geurtsen, W. 1995}}. Tiefe Klasse II Kavitäten sind somit wesentlich anfälliger für die Bildung von Randspalten {{Eakle, W.S. und Ito, R.K. 1990; Dietschi et al, 1995}}.

Die Studie von Schuckar und Geurtsen zeigte, dass die geringste Farbstoffpenetration und somit die beste Randschließung bei einem zervikalen Kavitätenrand, 1 mm oberhalb der Schmelz-Zement-Grenze zu erzielen ist. Am stärksten war die Farbstoffpenetration direkt an der Schmelz-Zement-Grenze {{1995}}. Dies bestätigt die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung.

Durch Unterschiede in der Zahnanatomie und das Handling des Behandlers können minimale Unterschiede in der Ausdehnung der einzelnen Kavitäten verursacht haben.

Für weitere Untersuchungen wäre eine standardisierte Präparation der Kavitäten mittels einer Fräsvorrichtung empfehlenswert.

Auch beim Füllen der Kavitäten können Fehler auftreten, denn jede einzelne Füllung ist trotz Einhaltung identischer Applikationstechnik, individuell unterschiedlich.

Mehl und Kern fanden in ihrer Studie 2007 über Keramik und Kompositinlays heraus, dass Keramikinlays bei ausgedehnten mod Kavitäten nach thermischer und mechanischer Dauerbelastung signifikant weniger Randspalten (ca. 11% bei Cerec Inlays und 48% bei Kompositinlays bei jeweils einer Restwandstärke von 1,3 mm) aufweisen. {{Mehl, A. und Kern, M. 2007}}.

Bei der Versorgung von ausgedehnten mod Kavitäten bei druckexponierten Personen ist die Verwendung von Keramikinlays den Kompositinlays vorzuziehen, da das Auftreten von Randspalten in diesen Fällen geringer ist.

Lyons et al konnte in seiner Studie zeigen, dass die Anwendung von Befestigungskompositen bei Kronen bei druckexponierten Personen zu empfehlen ist, da es in seiner Studie zu keiner Bildung von Mikroleakage nach Druckexposition kam. Die Befestigung der Kronen mittels Zinkphosphat oder Glasionomerzementen führte bei einer Aussetzung der Proben von Druckschwankungen zu einer verminderten Retention. {{Lyons et al, 1999}}. Auch Musajo et al stellte in ihrer Untersuchung fest, dass nach Exposition mit Überdruck die Abzugskräfte prothetischer Versorgung nach der Befestigung mit Zinkphosphatzementen und Glasionomerzementen deutlich reduziert waren. Musajo et al führten dies auf eingeschlossene Luftblasen in den Zementen, welche durch die Druckschwankungen zu Mikrorissen zurück. Es sollte deshalb bei prothetischen festsitzenden Versorgung von druckexponierten Personen eine adhäsive Befestigung gewählt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen mit Klasse II Kompositfüllungen bestätigen andere Untersuchungen mit traditionellen Kompositen, die genauso zeigen, dass die marginale Adaptation im Dentin nach wie vor problembehaftet ist {{Dietschi et al, 1995; Friedrichs et al, 1999}}.

Die meisten klinischen Studien zur Komposit-Dentinhaftung wurden an Klasse V-Füllungen durchgeführt; dokumentierte klinische Erfahrungen bei Klasse II-Restaurationen mit zervikalen Dentinrändern liegen nicht vor. Zur Beantwortung der zahlreichen offenen Fragen besteht nach wie vor ein dringender Bedarf an kontrollierten klinischen Untersuchungen.

5 Konklusion

Komposite sind sehr einfache und kostengünstige Materialien und bieten die Möglichkeit ästhetisch anspruchsvolle Versorgungen zu gestalten. Damit jedoch dentale Kompositfüllungen routinemäßig in größeren dentinbegrenzten Klasse II Kavitäten und bei druckexponierten Personen eingesetzt werden können, müssen die Materialeigenschaften und auch klinische Verarbeitungstechniken weiter optimiert werden. Die Polymerisationsschrumpfung von Kompositen und die dadurch entstehende Randspaltbildung ist bis heute noch ein ungelöstes Problem.

Eine sichere Lösung des Problems ist derzeit weder mittels spezieller Insert-Techniken noch mittels passgenauer Keramikinlays zu erreichen. Somit besteht nach wie vor Bedarf für verbesserte Materialien und Applikationstechniken.

Weiter experimentelle Studien mit größerer Probenzahl werden benötigt um eine eindeutige Empfehlung für die Verwendung von Kompositen bei mod Füllungen bei druckexponierten Personen abgeben zu können.

6 Literaturverzeichnis

- Airoldi R.L, Krejci B, Lutz F. 1992, „In vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed class V cavity preparations.“, *Quintessence Int*, vol. 23, pp. 355-362.
- Braem MJ, Lambrechts P, Gladys S, Vanherle G 1995, “In vitro fatigue behavior of restorative composites and glass ionomers”, *Dent Mater Mar*, vol 11, pp.137-41.
- Brännström M., Mattson B., Torstenson B. 1991, “Materials techniques for lining composite resin restorations : a critical approach”, *J Dent*; vol. 19, pp.71-79.
- Blunck U, Pohl M, Dieker A. 1990, „Extraktionszeitpunkt und Kavitätenlage bei der In-vitro-Prüfung von Dentinhaftmitteln.“, *Dtsch Zahnärztl Z*,vol. 45, pp. 639-642.
- Boggia R. 1998, „The ups and downs of barodontalgia“, *British dental journal*, vol 184, pp 99.
- Burger K M, Cooley R L. 1992, “Effect of thermocycling times on dentin bond strength.” *J Esthet Dent*, vol. 4, pp. 197-198.
- Calder I.M, Ramsey J.D. 1983 “Odontocrexsis – the effects of rapid decompression on restored teeth.”, *J Dent*, vol. 11, pp. 318-323.
- Carlson O, Halverson B, Triplett R. & Kizer K.W. 1983, "Dentin permeability under hyperbaric conditions as a possible cause of barodontalgia", *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, vol. 25, no. 11, pp. 838.
- Davidson C.L, Abdalla A.I. 1993, “Effect of thermal and mechanical load cycling on the marginal integrity of Class II resin composite restorations.”, *Am J Dent*, vol. 6, pp.39.
- Dietschi D, Siebenthal G, Neveu–Rosenstand, Holz J. 1995, “Influence of the restorative technique and new adhesives on the dentin marginal seal and adaptation of resin composite class II restorations: An in vitro evaluation”, *Quintess Int*, vol. 26, pp. 717-727
- Dietrich T, Kraemer M, Lösche GM, Wernecke KD, Roulet JF. 2000, „Influence of dentin conditioning and contamination on the marginal integrity of sandwich Class II restorations.“, *Oper Dent*, vol. 25, pp. 401-410.
- Eakle W. S. 1986, “Effect of thermal cycling on fracture strength and microleakage in teeth restored with a bonded composite resin”, *Dent Mater*, vol. 2, pp. 114-117.

- Eakle W.S, Ito R.K: 1990, "Effekt of insertion technique on microleakage in mesioocclusodistal composite resin restorations", *Quintess Int*; vol. 21, pp. 369-374
- Ernst C.P, Cortain G, Spohn M, Willershausen B. 2000, "In-vitro Randspaltuntersuchung an verschiedenen Kompositfüllungsmaterialien im Seitenzahnbereich unter zusätzlicher Verwendung von Flo-Kompositen", *Dtsch Zahnärzte Kalender* pp. 239-246, Deutsche Zahnärzterverlag.
- Feilzer A.J, De Gee A.J. Davidson C.L. 1990, „Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion“, *J Dent Res*, vol 69, pp. 36-39.
- Ferjentsik E. & Aker, F. 1982, "Barodontalgia: a system of classification", *Military medicine*, vol. 147, no. 4, pp. 299, 303-4.
- Friedrichs C, Hannig M. 1999, „Vergleichende In- vivo / In- vitro Untersuchung zur initialen Wirksamkeit von Dentinadhäsiven.“, 13. *Jahrestagung DGZ, Saarbrücken*
- Gale M.S, Darvell B.W, Cheung G.S. 1994, "Three – dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique", *J Dent*, vol. 22, pp.370-375.
- Gallo J. R, Henderson M, Burgess J. O. 2000, "Shear bond strength to moist and dry dentin of four dentin bonding systems." *Am J Dent*, vol. 13, pp. 267-270.
- Going R.E. 1972, "Microleakage around dental restorations: a summarizing review", *J Am Dent*, vol. 84, pp. 1349-1357.
- Glockner K, Reich ME, Kos S, Keil C, Ebeleseder K, Städtler P. 1998, „Randadaptation von verschiedenen zahnfarbenen Klasse-II-Restaurationen. Eine in- vitro- Studie mit 10 verschiedenen Materialien.“ *Dtsch Zahnärztl Z* , vol 53, pp. 775.
- Gonzalez Santiago Mdel M., Martinez-Sahuquillo Marquez A. & Bullon-Fernandez P. 2004, "Incidence of barodontalgias and their relation to oral/ dental condition in personnel with responsibility in military flight", *Medicina oral : organo oficial de la Sociedad Espanola de Medicina Oral y de la Academia Iberoamericana de Patologia y Medicina Bucal*, vol. 9, no. 2, pp. 98-105, 92-8.
- Haller. B. 1992, "Aktueller Stand der Komposit-Dentinhaftung.", *Zahnärztl Mitt*, vol. 18, pp. 86-97.
- Haller B, Hoffmann N, Klaiber B, Bloching U. 1993, „Effect of storage media on mikroleakage of five bonding agents” *Dent Mater*, vol 9, pp. 191-197.

- Hannig M, Bott B. 2000, „Randschlußverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten.“ *Dtsch Zahnärztl Z*, vol.55, pp. 134-138.
- Harvey W. 1947, „Dental pain while flying or during decompression tests“, *British dental journal*, vol. 82, pp. 113.
- Hellwig E, Klimek J, Achenbach K. 1991, „Auswirkung der Schichttechnik auf die Polymerisation von zwei lichthärtenden Komposit-Füllungsmaterialien.“, *Dtsch Zahnärztl Z*, vol. 46, pp. 270-273.
- Hickel R, Kunzelmann K-H, Obermeier T. 1994, „Die Kompositfüllung im Seitenzahnbereich-Teil I“, *ZWR*, vol.103, pp. 610-618.
- Hilton T.J. 1998, „Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations“, *Transactions Academy of Dental Materials*, vol. 12, pp. 21-71.
- Jang K. T, Mejia F. A, Garcia-Godoy F. 2000, „Dentin bond strength of packable composites using one-bottle adhesives.“ *Am J Dent*, vol. 13, pp. 308-310.
- Kennebeck R, Knudtzon K.F, Goldhush A.A. 1946, „Symposium on problems of aviation dentistry“, *J am dent assoc*, vol 33, pp. 827-844.
- Kieser J, Holborow D. 1997, „The prevention and management of oral barotraumas.“, *N Z Dent*, vol. 93, pp. 114-116.
- Kollmann, W. 1993, „Incidence and possible causes of dental pain during simulated high altitude flights“, *Journal of endodontics*, vol. 19(3), pp. 154-159.
- Kunzelmann K.H., Krause F., Hickel R. 1993, „Dentinhaftung von Kompositfüllungen und Keramikinlays in Klasse II Kavitäten“, *Dtsch Zahnärztl Z.*, vol 48, pp.724-727.
- Leevailoj C, Cochran M. A, Matis B. A, Moore B. K, Platt J. A. 2001, „Mikroleakage of posterior packable resin composites with and without flowable liners.“, *Oper Dent*, vol. 26, pp. 302-307.
- Levy B.M. 1943, „Aviation dentistry“, *Am J orthodont oral surgery*, vol. 29, pp. 92-95.
- Lyons K.M., Rodda, J.C. & Hood, J.A. 1999, "Barodontalgia: a review, and the influence of simulated diving on microleakage and on the retention of full cast crowns", *Military medicine*, vol. 164, no. 3, pp. 221-227.
- Manhart J, Schmidt M, Chen J.Y, Kunzelmann K.H, Hickel R. 2001, „Marginal quality of tooth-colored restorations in class II cavities after artificial aging“, *Oper Dent*, vol 26, pp. 357.366.

- Mathis R.S, DeWald J.P, Moody C.R, Ferrance J.L. 1990, "Marginal leakage in class V composite resin restorations with glass ionomer liners in vitro.", *J Prosthet Dent*, vol. 63, pp. 522-525.
- Mehl A, Hickel R., Kunzelmann K.H. 1997, „Physical properties and gap formation of light cured composites with and without softstart polymerization”, *J Dent*, vol 25, pp. 321-330.
- Mehl A, Kern M. 2007, „Keramik oder Komposit – „Welches Material eignet sich besser zur Versorgung von Defekten mit geschwächten Höckern?“, *Cosmetic dentistry*, vol 2., pp. 51-55.
- Meiers J C, Young D. 2001, "Two-year composite/dentin bond stability.", *Am J Dent*, vol. 14, pp. 141-144.
- Mixson J, Eick J, TiraD, Spencer P, Moore D. 1990, "Comparison of two surface and multiple surface scoring methodologies for in vitro microleakage studies", *J Dent Res*, vol 69, 129 (Abstr 161).
- Orban B, Ritchey B.T. 1945, "Toothache under conditions simulating high altitude flight", *J am dent assoc*, vol 32, pp. 145-180.
- Perdigao J, Swift E J, Lopes G C. 1999, "Effects of repeated use on bond strengths of onebottle adhesives.", *Quintessence Int*, vol. 30, pp. 819-823
- Pilecki P., Stone D.G, Sherriff M, und Watson T.F. 2005, „Microtensile bond strengths to enamel of self-etching and one bottle adhesive systems.“, *J Oral Rehabil*, vol. 32(7), pp. 531-540
- Prati C. 1989, "Early marginal microleakage in class II resin composite restorations." *Dent Mater*, vol.5, pp.298-392.
- Rauch J.W. "Barodontalgia — dental pain related to ambient pressure change", *Gen Dent* 1985; 33(4):313–5.
- Ritchey B., Orban, B. 1946, "Toothache at altitude", *Journal of endodontics*, vol 1, pp. 13-7.
- Robichaud R. & McNally, M.E. 2005, "Barodontalgia as a differential diagnosis: symptoms and findings", *Journal (Canadian Dental Association)*, vol. 71, no. 1, pp. 39-42.
- Roulet J.F., R. 1985, "Das Problem des randschlusses bei Kunststofffüllungen.", *Schweiz Mschr Zahnheilk*, vol. 85, pp. 1039-1053.

- Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner J.A, Matthews W.G, Pashley D.H. 1995, „Nanoleakage: leakage within the hybrid layer.“, *Oper Dent*, vol.20, pp.18-25.
- Schröder H.E. 1992, „Orale Strukturbiologie“, *Thieme Verlag*
- Schuckar M, Geurtsen W. 1995, „Die approximal-zervikale Randdichte von Klasse-II-Kompositfüllungen nach Temperaturwechselbelastung.“, *Dtsch Zahnärztl Z*, vol. 50, pp. 164-166.
- Senia E.S., Cunningham, K.W. & Marx, R.E. 1985b, "The diagnostic dilemma of barodontalgia: Report of two cases", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, vol. 60, no. 2, pp. 212-217.
- Stewart T.W.Jr. 1979, "Common otolaryngologic problems of flying" *Am Fam Physican*, vol 19, pp.113-119.
- Strohaver R.A. 1972 "Aerodontalgia: dental pain during flight", *Med Serv Dig*, vol 23, pp. 35-41.
- Wendt S.L., McInnes P.M., Dickinson G.L. 1992, "The effect of thermocycling in microleakage analysis", *Dent Mater*, vol 8, pp. 181-184.
- Wingo H.H. 1980, "Barodontalgia: etiology and treatment", *Journal of the Kentucky Dental Association*, vol. 32, no. 4, pp. 13-15.
- Zadik, Y. 2010, "Barodontalgia: what have we learned in the past decade?", *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, vol. 109, no. 4, pp. e65-9.
- Zadik, Y. 2009, "Barodontalgia", *Journal of endodontics*, vol. 35, no. 4, pp. 481-485.
- Zadik, Y., Chapnik, L. & Goldstein, L. 2007, "In-flight barodontalgia: analysis of 29 cases in military aircrew", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 78, no. 6, pp. 593-596.
- Zadik, Y. 2009, "Aviation dentistry: current concepts and practice", *British Dental Journal*, vol 206, pp 11-16.
- Zadik, Y. 2006, "Barodontalgia due to odontogenetic inflammation in the jawbone", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, vol. 77, pp. 864-866.

7 Lebenslauf

Name: Sabine Haider

Geburtsdatum: 14. November 1984

Geburtsort: Wien

Staatsbürgerschaft: Österreich

Schulbildung: 1991-1993 Volksschule Greiseneggergasse, Wien
1993-1995 Volksschule Söding, Steiermark
1995-2003 Bundesgymnasium Oeversee, Graz

Studium: seit 10/2003 Studium der Zahnmedizin an der medizinischen Universität Graz