

Aus den Kliniken und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Entwicklung eines Simulationsmodells für die Intraligamentäre Anästhesie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von Yves Anke

aus Weingarten

Mainz, 2020

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 06.07.2021

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung/ Ziel der Dissertation

- 1.1 Definition der primären Fragestellung
- 1.2 Definition der sekundären Fragestellung

2. Literaturdiskussion

- 2.1 Geschichte der ILA
- 2.2 Grundsätzliche Technik der ILA
- 2.3 Verteilung der Anästhesielösung
- 2.4 Indikationen der ILA
- 2.5 Kontraindikationen der ILA
- 2.6 Vorteile der ILA
- 2.7 Nachteile der ILA
- 2.8 Histologische Auswirkungen nach der ILA
- 2.9 Erzeugte Kräfte und Drücke während einer ILA
- 2.10. Injektionssysteme für die ILA
 - 2.10.1 Pistolen-Typ Spritzen ohne Druckkraftbegrenzung
 - 2.10.2 Pistolenspritze mit Druckkraftbegrenzung
 - 2.10.3 Dosierhebel-Spritzen
 - 2.10.4 Dosierrad-Spritzen
 - 2.10.5 Elektronisch gesteuerte Injektionssysteme
- 2.11 Ausbildungssituation der intraligamentären Anästhesie
- 2.12 Der Schweinekiefer als Übungsmodell der ILA
- 2.13 Sinn und Bedeutung von Simulationen in der Ausbildung

3. Material und Methoden

- 3.1 Dentalmodell
- 3.2 Injektionssystem
- 3.3 Künstliches parodontales Ligament
- 3.4 Geräte zur Anmischung und Verarbeitung der Silikone
- 3.5 Geräte zur Modellvorbereitung
- 3.6 Modellbearbeitung
- 3.7 Einbringen des jeweiligen Silikons und bearbeiten des künstlichen Parodontalspalt
- 3.8 Ablauf der Injektion
- 3.9 Ermittlung des geeigneten Silikons
- 3.10 Datenerhebung
- 3.11 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

4. Ergebnisse

- 4.1 Statistische Auswertung
 - 4.1.1 Tabellarische Darstellung zur primären Fragestellung
 - 4.1.1.1 Vorversuche von Silikonen verschiedener Shore-Härten
 - 4.1.1.2 Tabellarische Darstellung der Drücke der einzelnen Zähne am Oberkiefermodell
 - 4.1.1.3 Tabellarische Darstellung der Drücke der einzelnen Zähne am Unterkiefermodell
 - 4.1.1.4 Tabellarische Darstellung aller gemessenen Drücke im Oberkiefer
 - 4.1.1.5 Tabellarische Darstellung aller gemessenen Drücke im Unterkiefer
 - 4.1.1.6 Tabellarische Darstellung aller mesial gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer
 - 4.1.1.7 Tabellarische Darstellung aller distal gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer
 - 4.1.1.8 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 1. Quadranten

- 4.1.1.9 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 2. Quadranten
- 4.1.1.10 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 3. Quadranten
- 4.1.1.11 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 4. Quadranten
- 4.1.1.12 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23
- 4.1.1.13 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27
- 4.1.1.14 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43
- 4.1.1.15 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 43 bis 47

4.1.2 Tabellarische Darstellung zur sekundären Fragestellung

- 4.1.2.1 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte von Oberkiefer zum Unterkiefer
- 4.1.2.2 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte des 1. Quadranten zu den Werten des 2. Quadranten
- 4.1.2.3 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte des 3. Quadranten zu den Werten des 4. Quadranten
- 4.1.2.4 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte der Frontzähne des Oberkiefers zu den Werten der Seitenzähne des Oberkiefers
- 4.1.2.5 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte der Frontzähne des Unterkiefers zu den Werten der Seitenzähne des Unterkiefers

4.2 Auswertung der primären Fragestellung

- 4.2.1 Ergebnisse bezüglich der Vorversuche des potentiell geeigneten Silikons
- 4.2.2 Ergebnisse bezüglich der distal und mesial gemessenen Drücke

- mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty der einzelnen Zähne im Oberkiefer
- 4.2.3 Ergebnisse bezüglich der distal und mesial gemessenen Drücke mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty der einzelnen Zähne im Unterkiefer
- 4.2.4 Ergebnisse bezüglich aller gemessenen Drücke im Oberkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.5 Ergebnisse bezüglich aller gemessenen Drücke im Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.6 Ergebnisse bezüglich aller mesial gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.7 Ergebnisse bezüglich aller distal gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.8 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 1. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.9 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 2. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.10 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 3. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.11 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 4. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty
- 4.2.12 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23
- 4.2.13 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27
- 4.2.14 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43
- 4.2.15 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 44 bis 47

4.3 Auswertung der sekundären Fragestellung

- 4.3.1 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des Oberkiefers im Vergleich zu den Werten des Unterkiefers
- 4.3.2 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des 1. Quadranten im Vergleich zu den Werten des 2. Quadranten
- 4.3.3 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des 3. Quadranten im Vergleich zu den Werten des 4. Quadranten
- 4.3.4 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte der Frontzähne des Oberkiefers im Vergleich zu den Werten der Seitenzähne des Oberkiefers
- 4.3.5 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte der Frontzähne des Unterkiefers im Vergleich zu den Werten der Seitenzähne des Unterkiefers

5. Diskussion

6. Zusammenfassung

7. Literaturverzeichnis

8. Danksagung

9. Lebenslauf

Abkürzungsverzeichnis

ADEE	Association for Dental Education in Europe
CCLADS	Computer-controlled anesthetic delivery system
DPS™	dynamische Drucksensortechnologie
ILA	Intraligamentäre Anästhesie
N.	Nervus
STA™	Single Tooth Anesthesia

1. Einleitung

Die intraligamentäre Anästhesie (ILA) ist bereits seit ca. 100 Jahren bekannt. Infolge stetiger Weiterentwicklung geeigneter Instrumentarien konnten anfängliche Probleme immer weiter reduziert und die ILA für den Behandler praktikabel gemacht werden(1). Gemäß ADEE (Association for Dental Education in Europe) sollte ein Zahnarzt in Europa in der Lage sein, ein Schmerzmanagement im orofazialen System durchzuführen. Hierzu zählen die Anwendung der Infiltrationsanästhesie sowie die der enoralen Leitungsanästhesie (2).

In den Ausführungen der ADEE wird jedoch die Technik der ILA nicht erwähnt. Nach wie vor nimmt diese Technik an Universitäten eine untergeordnete Rolle ein, obgleich es durchaus starke europaweite Unterschiede in der Erlernung der verschiedenen Anästhesietechniken gibt (3).

In Deutschland werden in der Regel die zahnärztlichen Anästhesietechniken im ersten klinischen Semester gelehrt (4). Die Studenten erlernen hier die verschiedenen Techniken der zahnärztlichen Anästhesie an ihren Kommilitonen. Jedoch beschränken sich die Techniken vor allem auf die Infiltrationsanästhesie im Oberkiefer sowie die Leitungsanästhesie der nervus alveolaris inferior. Seltener werden an den Fakultäten andere Leitungsanästhesien, wie z.B. die des nervus infraorbitalis gelehrt. An deutschen Universitäten wird die ILA kaum bis gar nicht praktisch geschult. Als Grund wird vor allem das Fehlen ausreichender Spritzensysteme für die ILA genannt, gleichwohl die theoretische Vermittlung dieser Technik im Rahmen der Vorlesungen durchaus als Standard zu betrachten ist (4, 5). Auch gibt es von keinem dentalen Hersteller ein Übungsmodell, welches den anatomischen Verhältnissen, insbesondere dem Widerstand des Parodonts, entspricht.

1.1 Definition der primären Fragestellung

Primäres Ziel dieser Arbeit war es, ein schon auf dem Markt befindliches Dentalmodell so umzuarbeiten, um damit die Technik der intraligamentären Anästhesie durchführen zu können. Entsprechend dem menschlichen Vorbild musste außerdem ein Material zur Nachahmung des Widerstandes vom natürlichen Parodontalspalt gefunden werden. Idealerweise sollte der Versuchsaufbau so gestaltet werden, dass wenige Modifikationen des Dentalmodells bzw. der darin befestigten künstlichen Zähne durchzuführen waren und das Material zur Nachahmung des menschlichen parodontalen Ligaments nicht von Grund auf neu hergestellt werden musste.

1.2 Definition der sekundären Fragestellung

Zur primären Fragestellung kamen zusätzlich vergleichende Auswertungen zur Anwendung. Bei diesen Auswertungen ging es zudem um die Frage, ob sich nach Ermittlung des geeigneten Silikons die Injektionsstellen und die damit ermittelten Werte untereinander statistisch signifikant unterscheiden oder nicht. Hierzu wurden alle Werte des Oberkiefers mit denen des Unterkiefers verglichen, zudem der 1. Quadrant mit dem 2. Quadrant wie auch der 3. Quadrant zum 4. Quadrant verglichen. Abschließend wurde ausgewertet, ob es statistisch signifikante Unterschiede der Front verglichen mit den Seitenzähnen jeweils innerhalb von Oberkiefer und Unterkiefer gibt.

2. Literaturdiskussion

2.1 Geschichte der ILA

Die ILA wurde zum ersten Mal im frühen 20. Jahrhundert in Frankreich beschrieben und durchgeführt (1). 1925 veröffentlichte Bourdain in seiner Promotionsarbeit „L'Anesthésie par l'injection intra-ligamentaire pour l'extraction des dents“ die Technik von Dr. Granjeon, der 1903 damit begonnen hatte das Anästhetikum in den Desmodontalspalt zu applizieren (6). Hierbei wurde lediglich der gewünschte Zahn bzw. dessen Pulpa anästhesiert. Da zur damaligen Zeit kein geeignetes Instrumentarium für eine adäquate, standardisierte ILA zur Verfügung stand, konnte sich diese Art der Einzelzahnanästhesie noch nicht etablieren (1). Kurzzeitig stieg das Interesse für die ILA im Jahre 1969 infolge der Konstruktion eines hydraulischen Spritzensystems von Lafargue mit Fußbetätigung. Das System verlor jedoch wieder an Aufmerksamkeit, da es als zu unpraktikabel galt (7). Der hohe Druck zur Überwindung des parodontalen Widerstandes konnte erst mit der Einführung der Peripress-Spritze (Resistax) 1976 für den täglichen Gebrauch erreicht werden (8). Durch ihre Bauart, die an eine Pistole erinnert, wurde der Injektionsdruck über ein Hebelsystem verstärkt, um gegen den parodontalen Widerstand die Anästhesielösung zu applizieren. Diese Pistolen-Typ Spritze hatte jedoch keine Möglichkeit der Druckkontrolle bzw. eine Druckbegrenzung. Mit ihr war es dem Behandler möglich, die Anästhesielösung sehr schnell und dadurch mit hohem Druck in den sulcus circulaire zu injizieren. Elongationsgefühl, Druckschmerz und Vorkontakt des anästhesierten Zahnes waren die Erfahrungen der Patienten (1). Infolgedessen wurde die Peripress-Spritze 1983 von Giovannitti und Nique als nicht praktikabel bewertet (9). Daraufhin entwickelte die Firma Henke-Sass (Tuttlingen) Mitte der 80er Jahre erstmals ein Spritzensystem mit Druckbegrenzung. Bei dieser Spritze wurde pro Durchzug des Hebels 0,2 ml Anästhesielösung appliziert und je nach Modell wurden Drücke von 90-120 N nicht überschritten (10). Die Firma Farbwerke Hoechst (heute Sanofi-Aventis) entwickelte wenig später die Pistolen-Spritze Ultraject mit 120 N Druckbegrenzung.

Ebenfalls Mitte der 1980er Jahre führte Bayer (heute Heraeus-Kulzer) die Dosierhebel-Spritze Citoject ein. Hierbei befindet sich der Auslösehebel seitlich am Griff in Form eines Dosierflügels. Über ein mehrstufiges integriertes Hebelsystem wird die Kraft des Behandlers verstärkt. Der natürliche Gewebswiderstand des Parodonts kann relativ leicht überwunden werden. Es werden pro Betätigung des

Dosierflügels mittels Zeigefinger jeweils 0,06 ml Anästhesielösung abgegeben (1). Nachteil dieses Systems ist, dass der Behandler nicht auf anatomische Gegebenheiten des Ligamentums reagieren und den Injektionsdruck somit steuern kann.

Mit Einführung der Dossierrad-Spritzen, wie der SoftJect (Henke-Sass Wolf, Tuttlingen), Ende der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts war es dem Behandler möglich, den Gegendruck des Periodonts zu spüren (11, 12). Durch Drehen mit dem Daumen oder Zeigefinger wird ein Dosierrad betätigt, welches die aufgebrachte Kraft im Verhältnis 5,5:1 verstärkt und auf die Kolbenstange überträgt. Es wird pro Drehbewegung 0,1 ml Anästhetikum appliziert.

Heute stehen dem Behandler außerdem elektronisch gesteuerte Injektionshilfen zur Verfügung (13). Als erstes „computer-controlled local anesthetic delivery system“ (CCLADS) wurde 1997 „The Wand®“ (Milestone Scientific) eingeführt. Durch Weiterentwicklung dieses Systems kam im Jahr 2006 das „STA™-System“ (Single Tooth Anesthesia System) mit dem STA™-Wand-Handstück von Milestone Scientific auf den Markt (14). Neuerung war bei diesem System die dynamische Drucksensor-Technologie (DPS™) (15), mit der es möglich wurde, den aktuellen Widerstand im Parodontalspalt während der Injektion zu ermitteln. Hierdurch erhält der Behandler ein Feedback über die anatomischen Gegebenheiten während der Injektion und kann darauf reagieren (14, 15).

Während die ILA in der Vergangenheit überwiegend noch als Ergänzung und Komplettierung zur Leitungsanästhesie und Infiltrationsanästhesie und weniger als Anästhesie der ersten Wahl angewendet (16) wurde, gehört die ILA heutzutage auch zu einer der primären Formen der zahnärztlichen Anästhesie (17) .

2.2 Grundsätzliche Technik der intraligamentären Anästhesie

Bei der ILA wird unter hohem Druck das Lokalanästhetikum in den Desmodontalspalt des zu anästhesierenden Zahnes injiziert. Die Anästhesielösung verteilt sich entlang des umgebenden spongiösen Knochens über Gewebsspalten bis hin zum Apex des Zahnes (18, 19). Idealerweise sollte ein spezielles Instrumentarium zur ILA verwendet werden, auch wenn grundsätzlich jede Art von zahnärztlichen Aspirationsspritzen verwendet werden können. Generell wird eine kurze, und dadurch steifere Kanüle mit dem Durchmesser von 27G bzw. 30G empfohlen, um ein

Abknicken bzw. Brechen der Kanüle beim Verschieben in das Parodont und während der Applikation zu verhindern (20). Injektionsnadeln für die ILA sollten zwölf Millimeter Länge nicht unter- und 16 Millimeter Länge nicht überschreiten (12). Die Kanüle wird ca. 2 mm tief in den Sulcus eingeführt (21). Die Angulation der Kanüle sollte idealerweise 30° zur Zahnängsachse betragen (22). Der Schliff der Nadel sollte vom Zahn bzw. der Wurzel weg in Richtung spongiösen Knochen positioniert werden, um den Fluss des Anästhetikums zu erleichtern (20) (Abbildung 2.1). Pro Zahnwurzel werden 0,2 ml Anästhesielösung in einem Zeitraum von mindestens 20 Sekunden appliziert (23), bei einwurzligen Zähnen bevorzugt in die distale Seite, entsprechend der leichten Distalkrümmung der Wurzel und somit der von distal kommenden Innervation (20). Bei zweiwurzligen Zähnen erfolgt der Einstich mesial und distal, bei dreiwurzligen zusätzlich palatinal (12). Bei nicht ausreichender Anästhesietiefe sind auch zusätzliche Injektionspunkte indiziert (21) (Abbildung 2.2). Die langsame Injektion in das Periodont soll unbedingt eingehalten werden. Zu schnelles Applizieren und dem damit verbundenen hohen Druck kann zu postoperativen Beschwerden führen (20). Deshalb sollte stets ein geeignetes Instrumentarium mit Druckkraftbegrenzung und kontrollierbarer Flussrate des Anästhetikums verwendet werden.

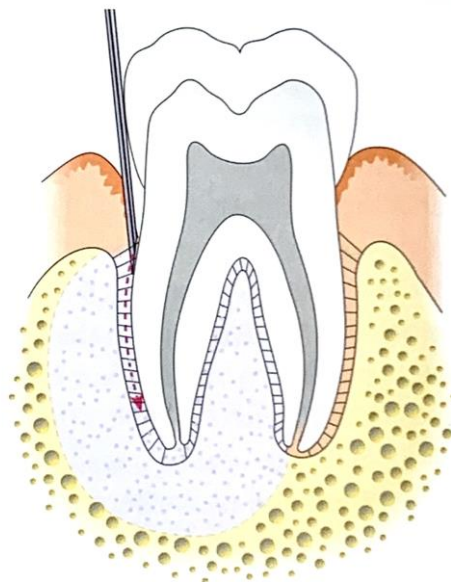


Abbildung 2.1: Position der Nadel während einer ILA (Daubländer M., Kämmerer P. W. (2014): Lokalanästhesie in der Zahnmedizin.(24), S. 91)

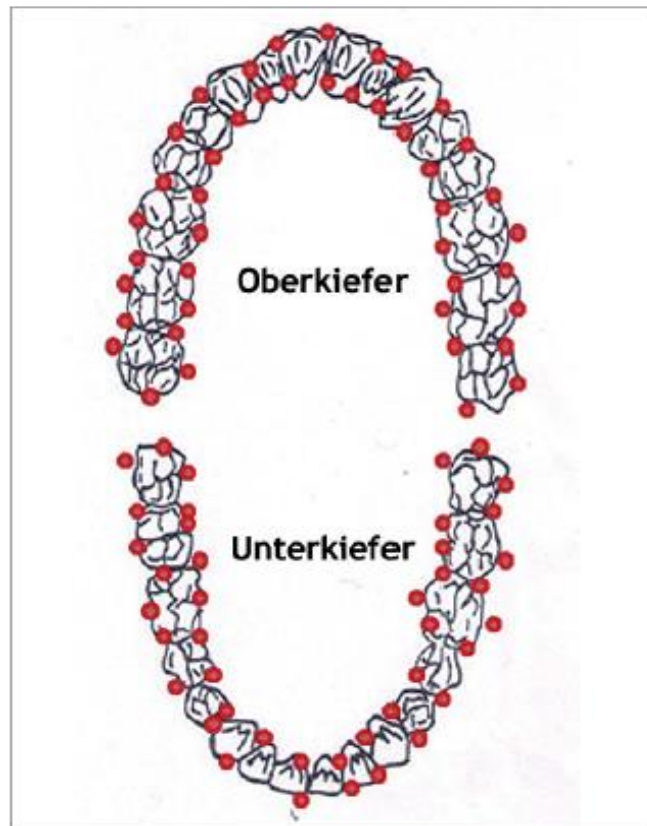


Abbildung 2.2: Injektionspunkte für die ILA (Zugal, W. (2001): Die intraligamentäre Anästhesie in der zahnärztlichen Praxis In: Zahnärztliche Mitteilungen Heft Nummer 6 (12), S. 49)

2.3 Verteilung der Anästhesielösung

Zur Verteilung der Anästhesielösung bei einer ILA gibt es etliche verschiedene, experimentelle Studien. Die Ergebnisse dieser meist an Tierversuchen durchgeführten Arbeiten variieren zum Teil stark voneinander, je nachdem, um welche Art der Markierung der Lösung, z.B. Tusche, Quecksilber oder auch Kontrastmittel es sich handelte (25).

Im Jahr 1991 veröffentlichten F. Sitzmann und M. Prinz eine Studie an Beaglehunden zur Untersuchung der Korrelation zwischen Injektionsdruck und Verteilung eines radioaktiv markierten Anästhetikums. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Anästhesielösung nicht entlang des Parodontiums ausbreitet, sondern direkt den Weg des geringsten Widerstandes durch Gewebsspalten bzw. den umgebenen

Knochen, bis hin zum Apex, geht. Ein Zusammenhang zwischen Injektionsdruck und Ausbreitung der Radioaktivität wurde nicht festgestellt. Auch gab es keinen Unterschied in der Verteilung der Lösung, ob mit oder ohne Vasokonstriktor injiziert wurde (25).

M. Tagger et al. veröffentlichten 1994 eine Studie über die Verteilung der Anästhesielösung beim Hund. In dieser Studie wurde ein Drittel der Injektionslösung mit Tinte ersetzt und markiert. Zum Einsatz kamen zum einen 2% Lidocain, 1:100000 Epinephrin sowie 3% Mepivacain. Nach histologischer Auswertung konnte auch in dieser Studie nachgewiesen werden, dass sich die markierte Injektionslösung mit Vasokonstriktorzusatz vorwiegend im umgebenden Knochen ausgebreitet hat und nicht entlang des parodontalen Ligaments. Die Lösung breitete sich entlang von Gefäßkanälen innerhalb des Knochens und im spongiösen Knochen selbst aus. Im Unterkiefer konnte der Marker bis in den Mandibularkanal detektiert werden. Die Injektionslösung ohne Adrenalinzusatz bot ein ähnliches, wenn auch etwas diffuseres Ausbreitungsmuster. Somit ist auch der Begriff der intraligamentären Anästhesie nicht exakt treffend, da es sich mehr um eine intraossäre Verteilung der Lösung handelt. Das gesunde Parodont weist eine zu hohe Resilienz zur Ausbreitung der Lösung innerhalb des Ligaments auf (26). Jedoch ist eine rückwärtige Penetration des Anästhetikums vom umgebenden Knochen zurück in das Parodont möglich (27). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Anästhesielösung bei der ILA weniger entlang des Ligaments ausbreitet vielmehr im umgebenden Knochen und entlang von anatomischen Strukturen wie Nervkanälen bzw. Gefäßkanälchen, weshalb bei der ILA auch von einer Form der intraossären Anästhesie gesprochen werden kann (28).

2.4 Indikationen der ILA

Die ILA ist vor allem bei kürzeren Zahnbehandlungen (~ 20 Minuten) indiziert (20, 29). Die Eingriffe beinhalten einzelne Kronen- und Kavitätenpräparationen, Extraktionen, wie auch endodontische Behandlungen (21, 30). Insbesondere bei Behandlungen der zweiten Dentition im Unterkiefer zur Vermeidung des Taubheitsgefühls von Zunge und Lippe im Rahmen einer Leitungsanästhesie des nervus alveolaris inferioris (20) bietet sich diese Technik an, sowie bei Kindern im Milchgebiss (31), (32). Als Methode der Wahl kann die ILA bei Risikopatienten angesehen werden, wie Menschen mit Behinderungen, Patienten mit

hämorrhagischen Diathesen oder auch älteren Menschen mit degenerativen Erkrankungen (11, 22). Ebenso bei Patienten mit Antikoagulationstherapie ist die ILA der Leitungsanästhesie bzw. Infiltrationsanästhesie vorzuziehen (33).

2.5 Kontraindikationen der ILA

Besonders bei Patienten mit vorliegender Endokarditis, Z.n. bakterieller Endokarditis sowie Erkrankungen oder Ersatz von Herzklappen ist die ILA kontraindiziert. Hier kann es durch Eindringen von Bakterien über den Desmodontalspalt in die Blutbahn zu einer Bakteriämie und Absiedelung dieser am Endokard zu einer Endokarditis kommen (34).

Auch bei gesunden Menschen mit bestehender Gingivitis, Parodontitis oder einem Parodontalabszess ist die ILA kontraindiziert. Erreger können sich in diesen Fällen durch das Einführen der Nadel in den Sulcus mittels der Anästhesielösung im Periodont und dem umgebenden Knochen verteilen.

Bei einer zahnärztlichen Therapie, die eine Dauer von 20 Minuten deutlich überschreitet, sollte auf eine ILA verzichtet werden (20).

2.6 Vorteile der ILA

Als Vorteile der ILA wird in der Literatur vor allem der fehlende bzw. geringe Einstichschmerz (35), wie auch die Beschränkung der Anästhesie auf nur einen Zahn und die kurze Dauer der Anästhesie beschrieben (32, 36) (37). Durch die enge Begrenzung des Anästhesiebereiches ist die Gefahr einer Bissverletzung der Lippe oder Zunge im Vergleich zur Leitungsanästhesie, vor allem des Nervus alveolaris inferior, nach der zahnärztlichen Behandlung minimiert. Auch ist die Artikulation im Vergleich zur Leitungsanästhesie kaum bzw. nicht eingeschränkt. Es können mehrere Einzelzahnanästhesien in verschiedenen Quadranten in einer Sitzung durchgeführt werden (38). Dies gilt besonders für die Vermeidung einer beidseitigen Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior bei kleineren, kürzeren Eingriffen (19). Die schnelle Anflutung (30s) bietet einen weiteren Vorteil der ILA (22, 39). Nicht eingeplante Patienten mit Schmerzen können so schneller im Zahnarztalltag behandelt werden und vereinfachen das Zeitmanagement der Praxis bzw. die Wartezeit der Patienten mit Termin. Auch wird bei der ILA weniger Anästhetikum

benötigt (35), verglichen mit einer Leitungsanästhesie bzw. Infiltrationsanästhesie und dadurch systemische Komplikationen verringert (40). Des Weiteren sind bei korrekter Anwendung der ILA Nervläsionen praktisch ausgeschlossen.

Studien belegen, dass auch die Anzahl der Anästhesieversager bei der ILA geringer ausfällt als bei der Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior (11, 37).

2.7 Nachteile der ILA

In der Literatur werden postoperative Effekte, wie z.B. Klopfempfindlichkeit oder ein pulsierender Schmerz am behandelten Zahn, beschrieben, welche aber im Verlauf von 24 Stunden wieder abklingen. Diese Beschwerden werden jedoch ausschließlich bei Patienten mit gesunden parodontalen Verhältnissen beobachtet, so dass eine Schädigung der parodontalen Fasern nicht auszuschließen ist (32). Des Weiteren werden Elongationsgefühl des Zahnes bzw. Okklusionsbeschwerden auf Grund der Ödembildung durch die Traumatisierung des Parodontalapparates nach der ILA von Patienten berichtet (13, 41, 42). Auch werden lokale Ischämien der Schleimhaut um den zu anästhesierenden Zahn berichtet. Je schneller die Anästhesielösung dabei in den Parodontalspalt appliziert wird, desto mehr unerwünschte Nebeneffekte sind zu verzeichnen (20). Folglich sollte bei der ILA unbedingt die empfohlene Applikationsdauer eingehalten werden, bzw. mittels der sehr langsamen vorprogrammierten Flussraten von Computer gesteuerten Injektionssystemen injiziert werden.

Ein entscheidender Nachteil dieser Anästhesiemethode stellt die Bakteriämie nach ILA dar. In einer Studie von Roberts et al. konnte bewiesen werden, dass es bei einer ILA mit Zugang direkt in den Desmodontalspalt zu einer Bakteriämie bei über 96% der Patienten kam (43). Es wird angenommen, dass es zu einer Verschleppung der Bakterien auf der Zahnoberfläche und im gingivalen Sulkus über die Nadelspitze in den Parodontalspalt kommt. Durch das Trauma des parodontalen Ligamentes und der Applikation der Anästhesielösung unter hohem Druck gelangen die Bakterien in den Blutkreislauf. Bei der bukkalen Infiltrationsanästhesie kam es nur bei 16% der Probanden zu einer Bakteriämie. Zu den Haupterregern zählen vorwiegend orale Streptokokken. Des Weiteren konnte die Studie eine Reduzierung der Bakteriämie auf 50% nachweisen bei der modifizierten ILA. Bei dieser Technik der ILA wird die Nadel nicht direkt in den Parodontalspalt geführt. Vor dem Eindringen der Nadel in

das parodontale Ligament wird diese durch die Gingiva gestochen. Dadurch wird das Einbringen der Erreger auf der Zahnoberfläche minimiert (43). Trotz alledem darf die ILA bei Patienten mit erhöhter Endokarditisgefahr nicht durchgeführt werden (34).

Rahn et al. konnten mit ihrer Arbeit aus dem Jahre 1987 außerdem belegen, dass die Häufigkeit einer Bakteriämie mit zunehmendem Injektionsdruck signifikant zunahm (44).

2.8 Histologische Auswirkungen nach der ILA

Histologische Untersuchungen am Tiermodell haben eine Reihe von zum Teil unterschiedlichsten Ergebnissen hervorgebracht, von keiner Schädigung bis hin zu irreversiblen Schädigungen der anatomischen Strukturen nach einer ILA (22, 45).

Eine 1982 von Brännström et al. veröffentlichte Studie an Affen zeigte, dass alle Schädigungen nach einer ILA reversibel sind. Als Injektionslösungen wurden hier Kochsalzlösung und Prilocain mit Octapressin gegenübergestellt. Die Tests ergaben eine Stunde post injectionem eine Schädigung des parodontalen Kollagens sowie Läsionen der Alveolarwand und der Wurzeloberfläche. 24 Stunden nach der Injektion konnten kleine nekrotische Bereiche detektiert werden. Nach einer Woche war das geschädigte Gewebe durch gefäßreiches Granulationsgewebe ersetzt und eine hohe osteoklastische Aktivität zu verzeichnen. Zwei Wochen nach der Applikation der Lösungen normalisierte sich das Gewebe. Die Injektion mit Kochsalz zeigte eine leicht weniger destruktive Veränderung der anatomischen Strukturen (46). Walton und Garnick kamen 1982 ebenfalls in ihrer Studie an Affen zu dem Ergebnis, dass es nach einer ILA lediglich zu leichten, reversiblen parodontalen Schädigungen kommt (47).

Auf der anderen Seite zeigte eine Studie von Roahen und Marshall 30 Tage nach 88 Injektionen an 55 Zähnen von Hunden externe Wurzelresorptionen infolge einer ILA mit Kochsalzlösung, jedoch keine Langzeitschädigungen der Pulpa (48).

2.9 Erzeugte Kräfte und Drücke während einer ILA

Zur Untersuchung der bei einer ILA aufgebrachten Kräfte bzw. Drücke müssen grundsätzlich diese zwei physikalischen Größen unterschieden werden. Zum einen gibt es in der Literatur Untersuchungen der aufgebrachten Kraft (physikalische

Größe F) auf den Stempel der Spritze während einer Injektion, gemessen in Newton (N) (10, 21, 49, 50). Diese Größe wird bei druckkraftbegrenzten Injektionssystemen als Maximum vom Hersteller angegeben, z.B. eine Druckkraftbegrenzung von 100N bzw. 120N der Pistolenspritze Ultraject (21).

Auf der anderen Seite dient der zur Injektion benötigte Druck (physikalische Größe p), gemessen an der Nadelspitze, zur Überwindung des Gewebswiderstandes des dichten Parodontalgewebes (25, 51). Angegeben wird der Druck in Pascal (Pa) bzw. in psi (pound per square inch).

Hochman et al. haben in Untersuchungen am Menschen einen maximalen mittleren Injektionsdruck von 293,98 psi im Zuge einer ILA gemessen. Unter der Fließrate von 0,005 ml/s wurde eine ganze Karpule (1,8 ml) Xylocain 1:100000 Epinephrin verabreicht. Es wurden 50 Messungen durchgeführt und der jeweils erzeugte Maximaldruck mittels einem computergesteuerten Applikationssystem für Lokalanästhetika (CompuFlo™, Milestone Scientific) ermittelt (51).

In einer weiteren Studie an Beaglehunden wurde das Ergebnis der Hunde von 2,7 MPa durchschnittlicher Maximaldruck bei einer ILA, einem Wert von 1,85 MPa beim Menschen gegenübergestellt (25). 1,85 MPa entsprechen ca. 268,32 psi.

Die von vielen Herstellern gewählte Druckkraftbegrenzung von 100 N auf den Spritzenstempel entspricht einem Druck an der Nadelspitze von ca. 2,7 MPa (391,6 psi) (52). Das in dieser Studie verwendete STA™-System wird mit einem Maximaldruck von 450 psi angegeben. Wird dieser erreicht, stoppt das Gerät die weitere Abgabe des Anästhetikums und der akustische Blockierungsalarm wird ausgelöst (15).

2.10. Injektionssysteme für die ILA

Generell können intraligamentäre Injektionen mit allen Spritzensystemen für dentale Lokalanästhesie durchgeführt werden. Jedoch bedarf es spezieller Systeme zur adäquaten Überwindung des parodontalen Widerstandes während einer ILA.

2.10.1 Pistolen-Typ Spritzen ohne Druckkraftbegrenzung

1976 wurde mit der Peripress-Spritze der Firma Resista (Abbildung 2.3) eine Pistolen-Typ Spritze auf den Markt gebracht, mit der es über ein Hebelsystem möglich war, den parodontalen Widerstand zu überwinden. Gleiches Prinzip galt auch für die Ligmaject-Spritze (Abbildung 2.4) der Firma Henke-Sass Wolf.



Abbildung 2.3: Peripress-Spritze vom Pistolentyp (Resista, 28891 Cesara Italien; <https://www.resista.it>)



Abbildung 2.4: Ligmaject-Spritze vom Pistolentyp (Henke-Sass Wolf, 78532 Tuttlingen; <https://www.henkesasswolf.de>)

2.10.2 Pistolenspritze mit Druckkraftbegrenzung

Mitte der 1980er Jahre entwickelte die Firma Hoechst (heute Sanofi-Aventis) die Pistolenspritze Ultraject (Abbildung 2.5) mit Druckkraftbegrenzung von 100N bzw. heute 120N.



Abbildung 2.5: Pistolen-Spritze Ultraject mit Druckbegrenzung (Sanofi-Aventis GmbH, 65926 Frankfurt; <https://www.sanofi.de>)

2.10.3 Dosierhebel-Spritzen

Ebenfalls Mitte der 1980er Jahre wurde von Bayer (heute von Heraeus-Kulzer vertrieben) die Dosierhebel-Spritze Citoject (Abbildung 2.6) eingeführt. Hier wird über den seitlich angebrachten Auslösehebel mittels Zeigefinger das Anästhetikum freigesetzt.



Abbildung 2.6: Dosierhebel-Spritze Citoject (Kulzer GmbH, 63450 Hanau; <https://www.kulzer.de>)

Als weitere Dosierhebel-Spritze mit Druckbegrenzung ist die VarioJect INTRA (Abbildung 2.7) der Firma Pajunk® GmbH Medizintechnologie (78187 Geisingen, Deutschland) zu nennen.



Abbildung 2.7: VarioJect INTRA (Pajunk® GmbH Medizintechnologie, 78187 Geisingen; <http://pajunk-gmbh.de>)

2.10.4 Dosierrad-Spritzen

Ende der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde dann die Dosierrad-Spritze Soft-Ject (Abbildung 2.8) (Henke-Sass Wolf, 78532 Tuttlingen) eingeführt. Hierbei wird die Anästhesielösung mittels Daumen oder Zeigefinger über ein Dosierrad abgegeben.



Abbildung 2.8: Dosierradspritze Soft-Ject (Henke-Sass Wolf, 78532 Tuttlingen; <https://www.henkesasswolf.de/>)

2.10.5 Elektronisch gesteuerte Injektionssysteme

Das im Jahr 2006 eingeführte „STA™-System“ (Single Tooth Anesthesia System) mit dem STA™-Wand-Handstück von Milestone Scientific (Abbildung 2.9) ist eine Weiterentwicklung des 1997 eingeführten Computer gesteuerten Injektionssystem „The Wand®“ (Milestone Scientific) (14).

Das „STA™-System“ besteht aus einer tragbaren Geräteeinheit sowie dem STA™-Wand-Handstück bzw. dem STA™-SafetyWand-Handstück mit Sicherheits-

kanülenschutz. Die Applikation des Anästhetikums erfolgt computergesteuert über Betätigung eines Fußschalters (15).

Das System verfügt über drei verschiedene Bedienmodi mit unterschiedlichen Flussraten der Injektionslösung, dem STA™-Modus mit einer Flussrate von 0,005 ml/s, dem Standardmodus mit zwei Flussraten von 0,005 ml/s bzw. 0,03 ml/s sowie dem Turbomodus mit drei Flussraten von 0,005 ml/s, 0,03 ml/s bzw. 0,06 ml/s (14).

Das STA™-System ist das weltweit einzige elektronisch gesteuerte Lokalanästhesiesystem mit DPS™-Technologie (dynamische Drucksensortechnologie). Hierbei wird in Echtzeit eine dynamische Widerstandsmessung während des Injektionsprozesses an der Kanülenspitze erfasst. Mit Hilfe dieser Technologie ist es dem Behandler möglich, Rückmeldung über aktuelle Gewebeeigenschaften bzw. den interstitiellen Druck zu erhalten. Dies ermöglicht eine Rückmeldung über die optimale Position der Kanüle im Desmodontalspalt (15).



Abbildung 2.9: STA™-System (Milestone Scientific, Livingston, USA)

2.11 Ausbildungssituation der intraligamentären Anästhesie

In Deutschland wird die praktische Durchführung der zahnärztlichen Lokalanästhesie im ersten klinischen Semester als Teil des Spritzenkurses bzw. des Operationskurses geübt. Die Übungen werden in der Regel gegenseitig an den

Kommilitonen durchgeführt. Eine Umfrage an deutschen Hochschulen ergab, dass die Bandbreite der Anästhesietechniken aus der Infiltrationsanästhesie im Oberkiefer und der Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior besteht, seltener aus der Anästhesie des Nervus infraorbitalis. An einigen Universitäten besteht die Möglichkeit der Durchführung einer ILA an Kommilitonen auf freiwilliger Basis, selten ist sie Teil des Pflichtprogramms. Es gibt jedoch auch Einrichtungen ohne jegliche Möglichkeit der Anwendung einer ILA in diesen Kursen.

Laut der Universitäten war das Hauptargument der selten angebotenen Möglichkeit zur Übung der ILA das Fehlen genügender, für die ILA geeigneter Spritzensysteme. Auf die theoretische Vermittlung der ILA im Rahmen der Vorlesung wird jedoch großer Wert gelegt, sie gehört zum Standard an deutschen Universitäten (4).

Im europäischen Vergleich zeigt sich eine große Variation im Bereich der theoretischen, wie auch der praktischen Ausbildung verschiedener zahnärztlicher Lokalanästhesien. Hauptsächlich wird auch hier, ähnlich wie in Deutschland vorwiegend die Anästhesie des Nervus alveolaris inferior (81-100%), ebenso wie die Infiltrationsanästhesie des Oberkiefers (78-100%) und des Unterkiefers (30-93%) gelehrt.

Ein vorklinisches Trainingsmodell zur Übung der Anästhesietechniken kommt kaum zum Einsatz, wird aber von den Studenten als sinnvoll empfunden. Viele Studenten (17-81%) der Zahnmedizin fühlen sich ungenügend vorbereitet für ihre erste Injektion am Menschen und 13-70% wünschen sich ein Trainingsprogramm zur Erlernung der ILA (3).

2.12 Der Schweinekiefer als Übungsmodell der ILA

Zur Erlernung zahnmedizinischer Operationstechniken aus dem Bereich der Oralchirurgie bzw. der chirurgischen Parodontologie kommen oftmals Schweinekiefer zum Einsatz. Sie sind einfach vom Metzger zu beschaffen, der hierfür keinerlei Verwendung hat. Aus zahnmedizinischer Sicht gibt es einige Gemeinsamkeiten zwischen Schwein und Mensch. Der Zahnhalteapparat, sowie die Anatomie der Zähne vom Schwein ähneln dem menschlichen Pendant (53).

Als Übungsmodell für die ILA kommt das Schwein trotzdem nur eingeschränkt in Frage. Auch wenn es durchaus Gemeinsamkeiten in der Anatomie des parodontalen Ligaments gibt, wie den ähnlichen histologischen Aufbau, ist der Parodontalspalt

breiter als der des Menschen (54). Da es bei einer ILA wesentlich auf die richtige Positionierung der Nadel im parodontalen Ligament und das Feedback des Gewebes bei der Injektion ankommt, wird beim Schwein ein falscher Eindruck im Vergleich zum engeren Parodontalspalt beim Menschen vermittelt. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor beim Schweinmodell ist der Zeitpunkt der Schlachtung der Tiere. Schweine werden in der Regel vor Erreichen des ersten Lebensjahres geschlachtet. Die Zähne, wie auch der Zahnhalteapparat sind zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig ausgebildet und das Schwein befindet sich noch im Zahnwechsel (54). Dadurch sind gleichbleibende anatomische Verhältnisse ausgeschlossen und eine ILA unter gleichen Gegebenheiten nicht reproduzierbar. Auch aus hygienischer Sicht kann die Übung am Schweinekiefer nicht als optimale Lösung angesehen werden. Je nach Transport und Lagerung vor Ort kann es zu einem Gesundheitsrisiko für die Studierenden kommen auf Grund der Anreicherung von Bakterien auf den Schweinekiefern.

2.13 Sinn und Bedeutung von Simulationen in der Ausbildung

Simulationen sowie praktische Übungen werden seit vielen Jahren in der medizinischen Ausbildung eingesetzt (55). Die Ursprünge der Simulation gehen zurück bis ins 18. Jahrhundert und wurden zu militärischen Zwecken genutzt.

In der modernen medizinischen Ausbildung wird von jedem Studenten nach abgeschlossener Studienzeit erwartet, klinische Fertigkeiten in Theorie und Praxis zu beherrschen (56). Die Simulation verschiedener praktischer Szenarien gewinnt hierbei immer mehr an Bedeutung (57). Die Methode des aktiven Lernens hilft den Studenten, neue Techniken an Phantommodellen zu erproben, bevor sie im klinischen Alltag an realen Menschen zum Einsatz kommen (58). Die Studenten haben so die Möglichkeit, ihr theoretisches Wissen in einer nahezu realen Umgebung in die Praxis umzusetzen (57). In einem gestellten Szenario können die Auszubildenden die Übungen beliebig oft wiederholen, Erfahrung sammeln, sich dadurch verbessern und die Scheu vor der realen Situation verlieren (55, 58). Des Weiteren können mit Hilfe von Simulationen die tatsächlichen praktischen Fähigkeiten der Studenten beurteilt und mögliche Fehler beseitigt werden (56).

3. Material und Methoden

3.1 Dentalmodell

Als Basismodell dieser Studie dienten sowohl ein Oberkiefermodell (Abbildung 3.1) wie auch ein Unterkiefermodell (Abbildung 3.2) der Firma Nissin (Nissin Dental Products INC., Kyoto Japan). Die Modelle mit der Typenbezeichnung „Dental Model“ bestehen aus einer Modellbasis aus hartem Kunststoff (harte Zahnfleischmodellation) und sind jeweils vollbezahnt, ausgenommen der vier Weisheitszähne. Die Kronen- und Kauflächengestaltung der insgesamt 28 Kunststoffzähne (Abbildung 3.3) ist dem Vorbild der Natur nachempfunden. Spee- und Wilsonkurve sind angedeutet. Die Okklusion entspricht der eines eugnathen Gebisses mit Front- Eckzahnführung.

Die Anzahl der Wurzeln der Kunststoffzähne entspricht im Unterkiefer im Frontzahn-, Eckzahn- und im Prämolarenbereich dem Vorbild der Natur mit jeweils einer Wurzel. Die Unterkiefermolaren besitzen, entgegen dem menschlichen Vorbild, ebenfalls nur eine größere Wurzel. Im Oberkiefermodell entsprechen sowohl die Molaren wie auch die ersten Prämolaren nicht der natürlichen Anzahl der Wurzeln. Hier findet man auch nur jeweils eine künstliche Wurzel.

Die Kunststoffzähne werden mittels Kreuzkopfschrauben an der Unterseite des Modells fest fixiert. Die Zähne lassen sich in ihren künstlichen Alveolen nicht bewegen.

Mittig an der Unterseite der Modelle befindet sich ein Schraubengewinde zur Befestigung des Modells an einem Phantomkopf (Abbildung 3.4).



Abbildung 3.1: Oberkiefermodell (Nissin Dental Products INC., Kyoto Japan)



Abbildung 3.2: Unterkiefermodell (Nissin Dental Products INC., Kyoto Japan)



Abbildung 3.3: Kunststoffzahn mit Kreuzkopfschraube zur Befestigung im Dentalmodell (Nissin Dental Products INC., Kyoto Japan)



Abbildung 3.4: mittig angebrachtes Schraubengewinde zur Befestigung des Modells an einem Phantomkopf

3.2 Injektionssystem

Zur Injektion der Anästhesielösung, wie auch der Erfassung der Daten, kam das elektronisch gesteuerte STA™-System mit dem STA™-Wand-Handstück von Milestone Scientific zur Anwendung. Mittels DPS™-Technologie (dynamische Drucksensor-Technologie) des Systems konnten die jeweiligen Drücke des künstlichen parodontalen Ligamentes erfasst werden. Das STA™-System wurde über eine USB-Schnittstelle mit einem Windows-PC (Microsoft Windows 7) verbunden. Mit Hilfe des Programms STA™ Data Grapher von Milestone Scientific konnten die Drücke in Echtzeit erfasst und grafisch dargestellt werden.

Bei der verwendeten Anästhesielösung kamen Artinestol® 1:100000 1,7 ml, Articain 40 mg/ml, Epinephrin 0,01 mg/ml vom Hersteller Merz Dental GmbH (Kieferweg 1, 24321 Lütjenburg) zum Einsatz.

3.3 Künstliches parodontales Ligament

Zur Nachahmung des natürlichen parodontalen Ligaments kamen Silikone der Firma 3M (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) zur Anwendung. Es handelt sich hierbei um Präzisionsabformmaterialien aus der Familie der A-Silikone. Folgende Silikone mit entsprechenden Shore-Härten (59) wurden in dieser Studie getestet.

Produkt	Shore-Härte nach 24h
Dimension Garant L	43
Express 2 Light Body Flow	55
Express 2 Heavy Body	70
Imprint Bite	92
Imprint 4 Super Quick Regular	47-57
Imprint 4 Penta Heavy	65-72
Imprint 4 Penta Super Quick Heavy	65-72
Imprint 4 Penta Putty	74-81

3.4 Geräte zur Anmischung und Verarbeitung der Silikone

Die Silikone wurden jeweils nach Herstellerangaben mit dem dazu passendem 3M ESPE Dispenser DS 50 1:1/1:2 (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) (Abbildung 3.5) angemischt und verarbeitet. Größere Silikonpackungen (Imprint 4 Penta Heavy, Imprint 4 Penta Super Quick Heavy, Imprint 4 Penta Putty) wurden mit dem automatischen Mischgerät 3M ESPE Pentamix™ Lite (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) (Abbildung 3.6) angemischt und mittels der 3M ESPE Applikationsspritze (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) verarbeitet.



Abbildung 3.5: Dispenser DS 50 1:1/1:2 (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland)



Abbildung 3.6: Mischgerät 3M ESPE Pentamix TM Lite (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland).

3.5 Geräte zur Modellvorbereitung

Die Bearbeitung des Dentalmodells erfolgte mittels eines Labor-Mikromotors Ultimate XL der Firma NSK (NSK Europe GmbH, 65760 Eschborn) (Abbildung 3.7). Bei den Fräsen handelte es sich um eine Hartmetallfräse H31 der Firma Komet Dental (32657 Lemgo). Die Messungen der Bohrungen am Modell wurden mit einer Parodontalsonde mit Millimeterangabe der Firma Hu-Friedy (60528 Frankfurt am Main) kontrolliert.



Abbildung 3.7: Mikromotor Ultimate XL der Firma NSK (NSK Europe GmbH, Elly-Beinhorn-Straße 8, 65760 Eschborn)

3.6 Modellbearbeitung

Zunächst wurden sämtliche Kunststoffzähne des Ober- sowie Unterkiefers des Dentalmodells herausgeschraubt. Mittels des Multifunktionswerkzeuges und der Hartmetallfräse wurden die Bohrungen für das künstliche Ligament vorgenommen (Abbildung 3.8). Die Bohrungen erfolgten distal der letzten Molaren beider Kiefer sowie zusätzlich, gemäß der dritten Injektionsstelle, palatinal der Oberkiefermolaren und weitere an den approximalen Kunststoffsepten aller künstlichen Zähne. Somit wurden mindestens zwei bzw. drei Injektionsstellen für die Aufnahme des künstlichen Ligaments geschaffen.

Die Bohrungen wurden mittig der Kunststoffsepten bzw. mittig distal der letzten Molaren und mittig an palatinaler Stelle der Oberkiefermolaren (Abbildung 3.9) angelegt. Die Ausdehnung der Bohrung in oro-vestibulärer sowie im Oberkiefer palatinal in mesio-distaler Ausrichtung beträgt vier Millimeter. In apikaler Richtung wurde drei Millimeter tief gebohrt und jede Stelle mittels Parodontalsonde kontrolliert (Abbildungen 3.10 und 3.11).

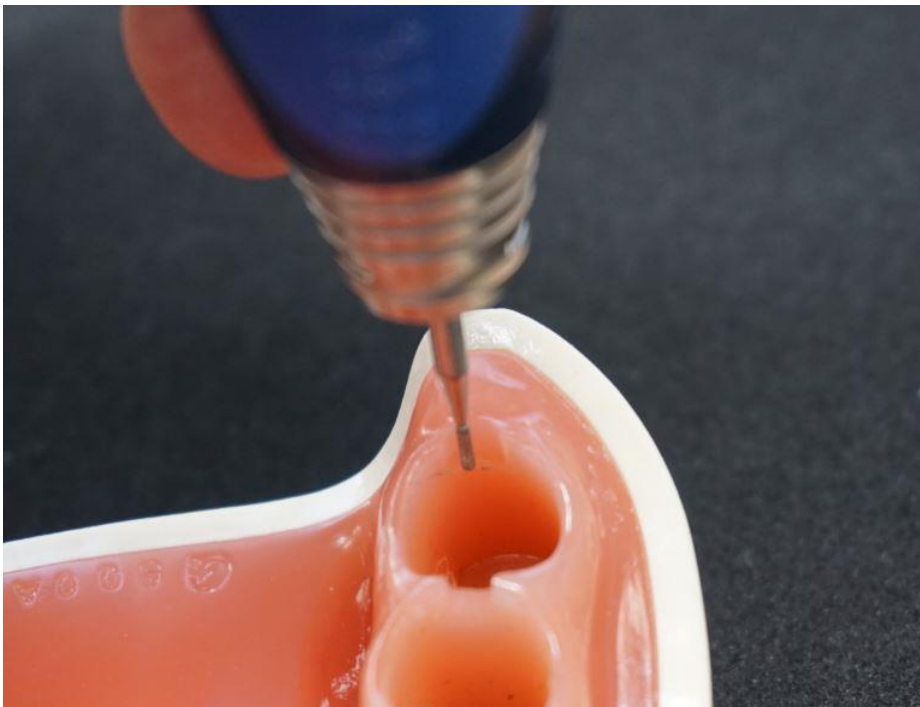


Abbildung 3.8: Ausfräsung zur Einbringung des künstlichen Ligamentes



Abbildung 3.9: ausgefräste Kunststoffsepten mit eingebrachtem Silikon



Abbildung 3.10: Messung der Frästiefe mittels Parodontalsonde in apikaler Richtung

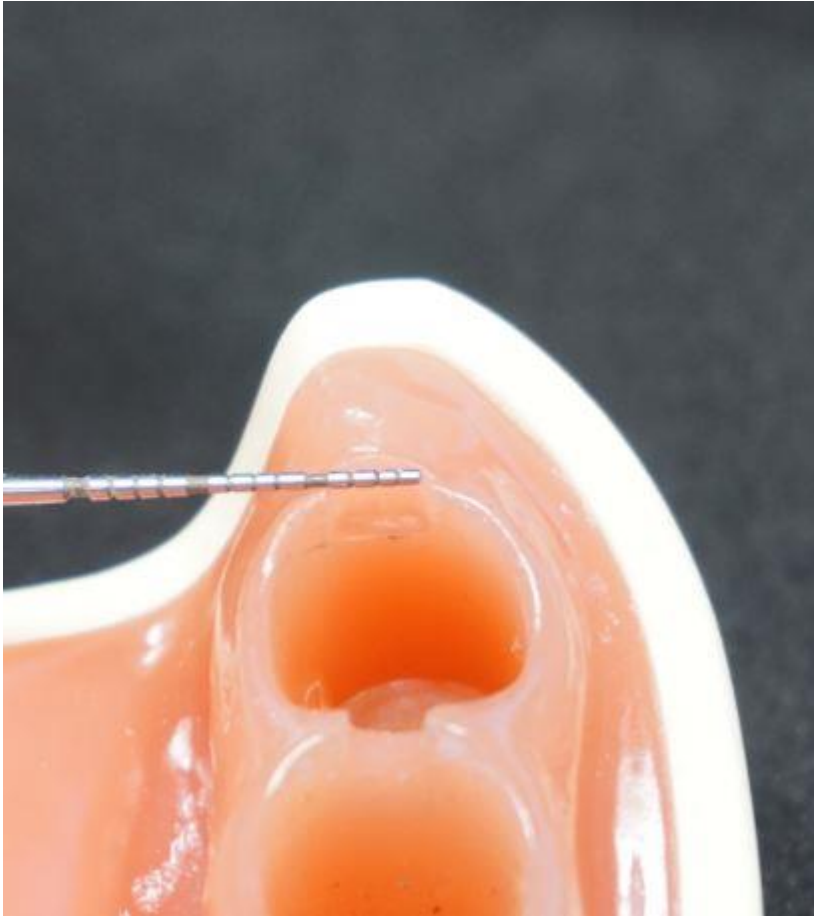


Abbildung 3.11: Messung der Fräsung in oro-vestibulärer Richtung mittels Parodontalsonde

3.7 Einbringen des jeweiligen Silikons und bearbeiten des künstlichen Parodontalspaltes

Die jeweiligen Silikone der Firma 3M (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) wurden gemäß Herstellerangaben in den jeweils zugehörigen Anmischgeräten angemischt. Sie wurden entweder direkt mittels des Dispensers in den künstlichen Parodontalspalt eingebracht oder bei den größeren Silikonpackungen (Imprint 4 Penta Heavy, Imprint 4 Penta Super Quick Heavy, Imprint 4 Penta Putty) nach dem Anmischen im automatischen Mischgerät 3M ESPE Pentamix™ Lite (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) in die Applikationsspritze (Abbildung 3.12) umgefüllt und verarbeitet.

Um ein blasenfreies Einbringen der Silikone in den künstlichen Parodontalspalt zu gewährleisten, wurde jeder zweite Zahn entfernt (Abbildung 3.13), unter direkter Sicht des Spaltes das Silikon langsam eingebracht (Abbildung 3.14) und danach, bei

noch nicht begonnener Abbindereaktion des Silikons, die fehlenden Zähne wieder eingesetzt und sofort verschraubt (Abbildung 3.15). Ab jetzt erfolgte für die nächsten 24 Stunden keine Manipulation mehr am Modell. Laut Hersteller erreichen alle hier getesteten Silikone erst nach mindesten 24 Stunden ihre endgültige Shore-Härte. Im Sinne der Reproduzierbarkeit der Versuche wurde bei jedem Testsilikon diese Zeit eingehalten, bevor die weitere Bearbeitung des Modells bzw. der künstlichen Parodontalspalte erfolgte. Nach der Aushärtung der Silikone wurde Zahn für Zahn entfernt, um die Homogenität des künstlichen Desmodonts zu beurteilen und Lufteinschlüsse oder Unregelmäßigkeiten, welche das Ergebnis verfälschen würden, auszuschließen. Bei sichtbaren Inhomogenitäten des künstlichen Parodontalgewebes wurde dieses entfernt, neu eingebracht, der künstliche Zahn wieder eingesetzt und nach 24 Stunden erneut kontrolliert. Bei erfolgreicher Applikation des Silikons wurden die Überschüsse wie auch Pressfahnen (Abbildung 3.16 und 3.17) entfernt und die Zähne wieder eingeschraubt.

Nach jeweils einem Durchgang an allen Injektionsstellen sind sämtliche Zähne wieder herausgeschraubt, das Modell von Anästhesieflüssigkeit und dem benutzten Silikon gesäubert worden. Anschließend wurde der Versuchsaufbau neu durchgeführt.



Abbildung 3.12: Applikationsspritze zum Einbringen der Silikone welche im 3M ESPE Pentamix [™] Lite (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) angemischt werden müssen



Abbildung 3.13: jeder zweite Zahn wurde entfernt, um das Silikon möglichst blasenfrei unter Sichtkontakt einzubringen



Abbildung 3.14: Einbringen des Silikons unter Sichtkontakt



Abbildung 3.15: Eingeschraubte Kunststoffzähne nach Applikation des Silikons

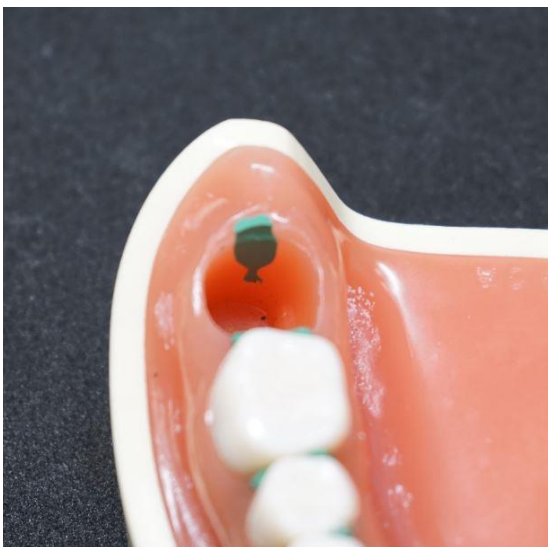


Abbildung 3.16: Pressfahne nach 24 Stunden Abbindezeit



Abbildung 3.17: vorbereiteter künstlicher Parodontalspalt; Pressfahnen sowie Überschüsse wurden entfernt und anschließend der Kunststoffzahn wieder eingeschraubt

3.8 Ablauf der Injektion

Zunächst wurde das STA™-System über USB-Verbindung mit dem PC gekoppelt, die Anästhesielösung in den Kartuschenhalter eingesetzt und sichergestellt, dass kein Vordruck im System herrscht, also das Programm STA™ Data Grapher den Ausgangsdruck von 0 psi anzeigt.

Die Injektion in den künstlichen Parodontalspalt erfolgte gemäß der Technik zur intraligamentären Anästhesie, wie sie auch beim Menschen durchgeführt wird. Die Kanüle wird bis zum Kontakt mit dem Kunststoff am Boden des künstlichen Desmodontes, also 3 mm tief, eingeführt. Die Angulation der Nadel beträgt 30° zur Zahnlongitudinalachse (22) und der Schliff der Nadel wird vom künstlichen Zahn weg positioniert (20) (Abbildung 3.18). Durch Betätigen des luftaktivierten Fußschalters wird die Injektion gestartet. Als Injektionsgeschwindigkeit wurde *ControlFlo*™ (1cm³ pro 207 Sekunden) im STA™-Modus gewählt, wie laut Hersteller für die ILA ausschließlich verwendet werden soll. Außerdem kam die Funktion *Cruise Control* zum Einsatz, wodurch man die Injektion durchführen kann, ohne den Fuß ständig auf dem Fußschalter zu belassen (15). Während der Applikation konnte durch leichtes Umpositionieren der Nadel im Parodontalspalt Einfluss auf den Verlauf der Druckkurve genommen werden. Die Messung erfolgte jeweils mesial und distal des

entsprechenden Zahnes.

Nach Erreichen des gewünschten Druckbereiches von mindestens 268,32 psi erfolgte die Messung 40 Sekunden lang bei einer Flussrate von 0,005 ml/s, um die in der Literatur geforderten Mindestmenge von 0,2 ml Anästhesielösung pro Wurzel zu erreichen (20). Konnte der gewünschte Mindestdruck von 268,32 psi nicht erreicht werden, wurde dennoch der maximal gemessene Druck dieses Versuchs innerhalb von 40 Sekunden aufgezeichnet. Es wurde jeweils mesial und distal der künstlichen Zahnwurzel eingestochen und die Anästhesielösung injiziert. Injektionen, welche die obere Grenze von 293.98 psi nach menschlichem Vorbild überschritten aber unter dem Maximalwert von 450 psi des STA™-Systems lagen, wurden ebenfalls aufgezeichnet. Dieser Maximalwert ist mit dem gefundenen Silikon bei keiner Messung überschritten worden.



Abbildung 3.18: Injektion in den künstlichen Parodontalspalt

3.9 Ermittlung des geeigneten Silikons

Zu Beginn dieser wissenschaftlichen Arbeit wurden die oben genannten Silikone der Firma 3M ESPE (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) mit ihren unterschiedlichen Shore-Härten nach 24 Stunden einem ersten Test unterzogen. Jedes Silikon wurde am bereits finalen Arbeitsmodell an fünf festgelegten künstlichen Parodontalspalten (Zahn 37 mesial, Zahn 36 mesial, Zahn 35 mesial, Zahn 34 mesial, Zahn 33 mesial) getestet. Unter Verwendung des computergesteuerten STA™-Systems und dem Programm STA™ Data Grapher konnte für jedes Silikon

der entsprechende Injektionsdruck und der damit verbundene Widerstand jedes einzelnen Silikons ermittelt werden. Es stellte sich heraus, dass lediglich das Silikon Imprint 4 Penta Putty mit einer laut Hersteller angegebenen Shore-Härte von 74-81 den Druckbereich des natürlichen Vorbildes simulieren konnte. Folglich kam ausschließlich dieses Silikon für weitere Tests zur Anwendung.

3.10 Datenerhebung

Die Daten bzw. die vorherrschenden Drücke während der Injektion konnten mittels DPS™-Technologie (dynamische Drucksensor-Technologie) des STA™-Systems (Milestone Scientific, Livingston, USA) in Echtzeit am über USB-Verbindung angeschlossenen PC überwacht werden. Als Betriebssystem kam Windows 7 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) zum Einsatz. Das Programm STA™ Data Grapher (Milestone Scientific, Livingston, USA) gibt den aktuellen Druck als Zahl in psi, wie auch grafisch im Sinne einer Verlaufskurve (Abbildung 3.19) an. Auf der X-Achse des Koordinatensystems kann die Druckkurve der letzten 96 Sekunden beurteilt werden, sowie der dazu entsprechende Druck über die Y-Achse in psi. Außerdem gibt das Programm die abgegebene Menge des Anästhetikums in Millilitern wieder.

Nach Erreichen des gewünschten Widerstandsbereichs von mindestens 268 psi wurde die Messung gestartet und der höchste Wert innerhalb der 40 Sekunden erfasst und notiert. Die gewonnenen Daten wurden händisch in eine Excel-Tabelle eingetragen. Es erfolgten jeweils zehn Durchgänge pro Oberkiefer- bzw. Unterkieferdentalmodell. Mittels des Statistikprogramms SPSS wurden die Daten ausgewertet.

Dabei wurden für die Vorversuche der unterschiedlichen Silikone der Mittelwert, die Standardabweichung, die Maximal- und Minimaldrücke sowie deren Differenz erfasst.

Für die Werte der Zähne mit dem geeigneten Silikon wurden Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Minimum und deren Differenz ermittelt.

Zur Auswertung der sekundären Fragestellung ist der Mann-Whitney Test ebenfalls mit dem Statistikprogramm SPSS durchgeführt worden, um den p-Wert zu ermitteln.

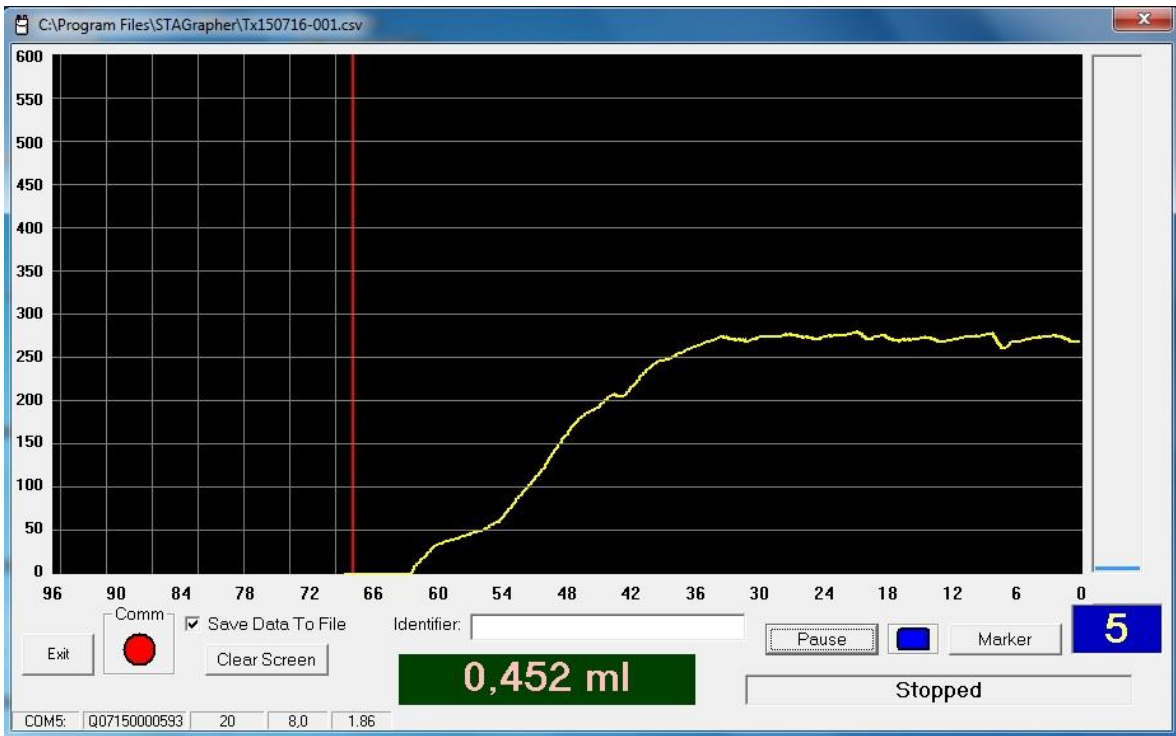


Abbildung 3.19: Verlaufskurve einer Messung am Beispiel von Zahn 37 mesial

3.11 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit IBM SPSS Statistics Version 19.0 für Windows (IBM Software, Deutschland) durchgeführt. Um Unterschiede in der Verteilung der Drücke zwischen den verschiedenen Silikone zu identifizieren sowie Unterschiede in der Verteilung der Drücke zwischen den jeweiligen Kieferlokalisationen zu identifizieren wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

4. Ergebnisse

4.1 Statistische Auswertung

Statistische Auswertung der erhaltenen Ergebnisse.

4.1.1 Tabellarische Darstellung zur primären Fragestellung

Tabellarische Darstellung der Ergebnisse in Bezug zur primären Fragestellung.

4.1.1.1 Vorversuche von Silikonen verschiedener Shore-Härten

Es wurden die Drücke von acht verschiedenen Silikonen an jeweils fünf gleichen künstlichen Parodontalspalten (Zahn 37 mesial, Zahn 36 mesial, Zahn 35 mesial, Zahn 34 mesial, Zahn 33 mesial) erfasst, um ein geeignetes Silikon für die Versuchsreihe zu ermitteln. Die Messung dauerte jeweils 40 Sekunden ab Start der Injektion und der höchste gemessene Wert wurde erfasst. Die tabellarische Auswertung sieht wie folgt aus:

Tabelle 4.1 Darstellung der Ergebnisse von Silikonen verschiedener Shore-Härten

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Dimension Garant L	5	34	168	202	186,8	13,882
Express 2 Light Body Flow	5	22	148	170	159,8	8,468
Express 2 Heavy Body	5	107	178	285	228,4	42,075
Imprint 4 Bite	5	0	451	451	451	,000
Imprint 4 Super Quick Regular	5	26	156	182	173,8	10,474
Imprint 4 Penta Heavy	5	125	150	275	197,4	48,014
Imprint 4 Penta Super Quick Heavy	5	98	165	263	204,8	36,731
Imprint 4 Penta Putty	5	12	278	290	285,2	5,070

Drücke der Silikone in den Vorversuchen

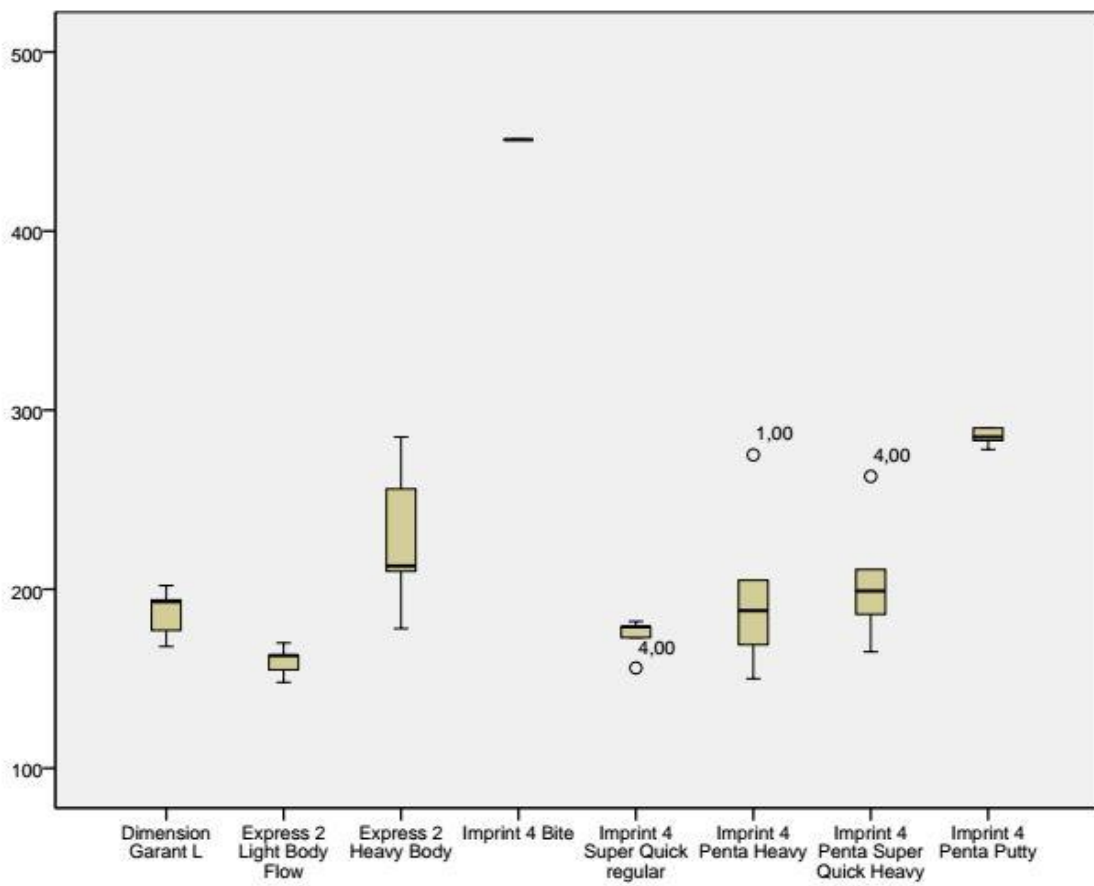


Abb. 4.1 Grafische Darstellung (Boxplot) der Ergebnisse im Rahmen der Vorauswahl von Silikonen für weitere Untersuchungen. Y-Achse stellt die Drücke in psi dar. Auf der X-Achse die verschiedenen Silikone.

4.1.1.2 Tabellarische Darstellung der Drücke der einzelnen Zähne am Oberkiefermodell

Die Auswertung des geeigneten Silikons Imprint 4 Penta Putty am Oberkiefermodell jeweils distal und mesial der Zähne zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.2 Darstellung des Oberkiefermodells mit künstlichem Ligament

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
17d	10	25	269	294	283,5	7,106
17m	10	17	271	288	279,3	5,187
16d	10	11	276	287	282,8	3,853
16m	10	20	273	293	283,7	5,697
15d	10	24	274	298	285,9	7,109
15m	10	16	274	290	283,1	5,705
14d	10	183	123	306	274,4	53,78
14m	10	111	187	298	269,5	32,357
13d	10	133	167	300	258,5	49,932
13m	10	22	274	296	286,8	7,146
12d	10	74	223	297	275,1	25,774
12m	10	133	164	297	274,6	39,601
11d	10	13	275	288	282	4,19
11m	10	40	271	311	287,7	11,786
21m	10	29	278	307	286,6	8,113
21d	10	26	268	294	283,4	8,168
22m	10	26	268	294	284,1	7,109
22d	10	48	245	293	277,3	13,889
23m	10	93	208	301	278,3	25,621
23d	10	141	148	289	268,9	42,798
24m	10	113	177	290	268,8	33,976
24d	10	20	278	298	288,3	6,093
25m	10	20	278	298	285,3	7,009
25d	10	25	278	303	285,9	9,122
26m	10	25	268	293	282,9	8,774
26d	10	45	272	317	287,3	12,311
27m	10	13	272	285	279,7	4,668
27d	10	123	179	302	265,3	40,577

4.1.1.3 Tabellarische Darstellung der Drücke der einzelnen Zähne am Unterkiefermodell

Die Auswertung des geeigneten Silikons Imprint 4 Penta Putty am Unterkiefermodell jeweils distal und mesial der Zähne zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.3 Darstellung des Unterkiefermodells mit künstlichem Ligament

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
37d	10	15	278	293	285,7	4,99
37m	10	22	273	295	283,4	8,631
36d	10	23	275	298	284,9	7,218
36m	10	13	277	290	284,1	4,508
35d	10	18	280	298	287,7	6,533
35m	10	22	270	292	280,7	7,469
34d	10	128	185	313	274,2	33,442
34m	10	23	270	293	284,5	7,337
33d	10	113	201	314	277,4	28,995
33m	10	22	271	293	284,6	7,56
32d	10	40	280	320	287,9	11,874
32m	10	17	278	295	287,1	6,082
31d	10	23	277	300	285,5	7,397
31m	10	26	269	295	284	8,869
41m	10	159	134	293	271,1	48,427
41d	10	61	234	295	277,8	17,46
42m	10	31	276	307	288,2	10,283
42d	10	140	154	294	270	41,652
43m	10	25	280	305	288,9	7,047
43d	10	73	222	295	276,4	20,625
44m	10	22	271	293	284,8	6,613
44d	10	36	264	300	283,9	10,918
45m	10	23	270	293	283,4	6,753
45d	10	13	280	293	286,4	4,624
46m	10	31	272	303	282,7	9,557
46d	10	18	272	290	282,4	6,096
47m	10	30	278	308	289,5	9,107
47d	10	19	273	292	281,7	6,183

4.1.1.4 Tabellarische Darstellung aller gemessenen Drücke im Oberkiefer

Die Auswertung der gemessenen Drücke der mesialen und distalen Injektionsstellen des Oberkiefers sieht wie folgt aus:

Tabelle 4.4 Darstellung aller gemessenen Drücke des Oberkiefers

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	280	194	123	317	279,61	23,364

4.1.1.5 Tabellarische Darstellung aller gemessenen Drücke im Unterkiefer

Die Auswertung der gemessenen Drücke der mesialen und distalen Injektionsstellen des Unterkiefers sieht wie folgt aus:

Tabelle 4.5 Darstellung aller gemessenen Drücke des Unterkiefers

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	280	186	134	320	282,82	16,924

4.1.1.6 Tabellarische Darstellung aller mesial gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer

Die Auswertung der gemessenen Drücke der mesialen Injektionsstellen des Oberkiefers sowie des Unterkiefers zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.6 Darstellung aller mesial gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	280	177	134	311	282,41	17,069

4.1.1.7 Tabellarische Darstellung aller distal gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer

Die Auswertung der gemessenen Drücke der distalen Injektionsstellen des Oberkiefer sowie des Unterkiefers zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.7 Darstellung aller distal gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	280	197	123	320	280,02	23,308

4.1.1.8 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 1. Quadranten

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke im 1. Quadranten zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.8 Darstellung aller mesialen und distalen Drücke im 1. Quadranten

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	140	188	123	311	279,06	25,453

4.1.1.9 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke im 2. Quadranten

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke im 2. Quadranten zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.9 Darstellung aller mesialen und distalen Drücke im 2. Quadranten

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	140	169	148	317	280,15	21,148

4.1.1.10 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessene Drücke im 3. Quadranten

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke im 3. Quadranten zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.10 Darstellung aller mesialen und distalen Drücke im 3. Quadranten

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	140	135	185	320	283,69	13,627

4.1.1.11 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessene Drücke im 4. Quadranten

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke im 4. Quadranten zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.11 Darstellung aller mesialen und distalen Drücke im 4. Quadranten

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	140	174	134	308	281,94	19,689

4.1.1.12 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23 zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.12 Darstellung aller mesial und distalen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	120	163	148	311	278,61	25,642

4.1.1.13 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27 zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.13 Darstellung aller mesial und distalen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	160	194	123	317	280,36	21,550

4.1.1.14 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43 zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.14 Darstellung aller mesial und distalen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	120	186	134	320	281,57	22,563

4.1.1.15 Tabellarische Darstellung aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 43 bis 47

Die Auswertung der gemessenen mesialen und distalen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 43 bis 47 zeigte folgendes Ergebnis:

Tabelle 4.15 Darstellung aller mesialen und distalen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 43 bis 47

	N	Spannweite (psi)	Minimum (psi)	Maximum (psi)	Mittelwert (psi)	Standardabweichung
Druck in psi	160	128	185	313	283,75	10,933

4.1.2 Tabellarische Darstellung zur sekundären Fragestellung

4.1.2.1 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte des Oberkiefers im Vergleich zum Unterkiefer

Tabelle 4.16 Mann-Whitney Test Oberkiefer vs Unterkiefer gesamt

Oberkiefer_Unterkiefer	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Druck Oberkiefer	280	271,97	76152,00
Unterkiefer	280	289,03	80928,00
Total	560		

	Druck
Mann-Whitney U	36812,000
Wilcoxon W	76152,000
Z	-1,249
Asymp.Sig. (2-tailed)	,212

4.1.2.2 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte des 1. Quadranten im Vergleich zu den Werten des 2. Quadranten

Tabelle 4.17 Mann-Whitney Test 1. Quadrant vs 2. Quadrant

1. Quadrant_ 2. Quadrant	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Druck 1. Quadrant	140	144,13	20178,50
2. Quadrant	140	136,87	19161,50
Total	280		

	Druck
Mann-Whitney U	9291,500
Wilcoxon W	19161,500
Z	-,752
Asymp.Sig. (2-tailed)	,452

4.1.2.3 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte des 3. Quadranten zu den Werten des 4. Quadranten

Tabelle 4.18 Mann-Whitney Test 3. Quadrant vs 4. Quadrant

3. Quadrant_ 4. Quadrant	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Druck 3. Quadrant	140	141,25	19775,00
4. Quadrant	140	139,75	19565,00
Total	280		

	Druck
Mann-Whitney U	9695,000
Wilcoxon W	19565,000
Z	-,155
Asymp.Sig. (2-tailed)	,877

4.1.2.4 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte der Frontzähne des Oberkiefers zu den Werten der Seitenzähne des Oberkiefers

Tabelle 4.19 Mann-Whitney Test Front-Oberkiefer vs Seite Oberkiefer

Front_ Seite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Druck Front-OK	120	144,89	17386,50
Seite-OK	160	137,21	21953,50
Total	280		

	Druck
Mann-Whitney U	9073,500
Wilcoxon W	21953,500
Z	-,786
Asymp.Sig. (2-tailed)	,432

4.1.2.5 Tabellarische Darstellung zum Unterschied der Werte der Frontzähne des Unterkiefers zu den Werten der Seitenzähne des Unterkiefers

Tabelle 4.20 Mann-Whitney Test Front-Unterkiefer vs Seite Unterkiefer

Front_ Seite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Druck Front-UK	120	143,93	17271,00
Seite-UK	160	137,93	22069,00
Total	280		

	Druck
Mann-Whitney U	9189
Wilcoxon W	22069,000
Z	-,614
Asymp.Sig. (2-tailed)	,539

4.2 Auswertung zur primären Fragestellung

Auswertung der Ergebnisse zur primären Fragestellung.

4.2.1 Ergebnisse bezüglich der Vorversuche des potentiell geeigneten Silikons

Das Silikon Dimension Garant L (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) mit einer Shore-Härte von 43 nach 24h war nicht geeignet für die weiteren Testzwecke. Es ist bei einem minimal gemessenen Druck von 168 psi und einem Maximum von 202 psi und entsprechendem Mittelwert von 186,8 psi (Standardabweichung 13,882) zu weich und leistet zu wenig Widerstand.

Ein ähnliches Ergebnis lieferte das Silikon Express 2 Light Body Flow (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland). Das Minimum lag hier bei 148 psi, das Maximum bei 170 psi und der Mittelwert bei 159,8 psi (Standardabweichung 8,468)

und somit auch deutlich unter der in der Literatur beschriebenen Werte (25, 51). Das Ergebnis spiegelt sich auch hier im geringen Shore-Wert von nur 55 nach 24h wieder.

Als ebenfalls insgesamt zu weich erwies sich auch das Silikon Express 2 Heavy Body (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) nach fünf Durchgängen. Hier lagen, bei einer Shore-Härte von 70 nach 24h, ein Mittelwert von 228,4 psi (Standardabweichung 42,075), ein Minimalwert von 178 psi und ein Maximum von 285 psi vor. Der Maximalwert war im gewünschten Bereich, jedoch wurde das Material auf Grund der hohen Spannweite von 107 psi ebenfalls für weitere Testzwecke verworfen.

Das Material Imprint 4 Bite (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) wird in der Zahnmedizin zur Registrierung von Bissituationen verwendet und muss sehr stabil sein. Daraus erklärt sich der hohe Shore-Wert von 92 nach 24h. Hier konnte weder ein Minimalwert noch ein Maximum ermittelt werden. Die Messungen wurden vom STA™-System abgebrochen, da die Werte alle über dem Maximalwert von 450 psi lagen und das System zum Schutz eines Ampullenbruchs die weitere Drucksteigerung und Injektion automatisch beendet.

Das Silikon Imprint 4 Super Quick Regular (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) kam ebenfalls nicht für weitere Versuche in Betracht, da es bei einem Minimalwert von 156 psi, einem maximal gemessenem Wert von 182 psi und einem entsprechend niedrigen Mittelwert von 173,8 psi (Standardabweichung 10,474) zu weich ist (Shore-Härte: 47-57 nach 24h).

Mit einem Maximalwert von gemessenen 275 psi liegt das Silikon Imprint 4 Penta Heavy (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) im geforderten Bereich. Jedoch erwies sich der Minimalwert mit lediglich 150 psi bei dem Material mit einer Shore-Härte von 65-72 nach 24h als ungeeignet für weitere Versuche. Der Mittelwert lag hier bei 197,4 psi (Standardabweichung 48,014).

Auch das getestete Silikon Imprint 4 Penta Super Quick Heavy (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) mit einer Shore-Härte von 65-72 nach 24h kam für weitere Tests nicht infrage. Sowohl der gemessene Minimalwert von 165 psi wie auch der maximale Wert von 263 psi waren zu niedrig für einen weiteren Versuchsablauf. Der Mittelwert war mit 204,8 psi entsprechend zu gering (Standardabweichung 36,731).

Nach jeweils fünf Durchgängen an vorher für alle Materialien festgelegten Einstichstellen hat sich nur das Silikon Imprint 4 Penta Putty (3M Oral Care, Espe

Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) mit einer Shore-Härte von 74-81 nach 24h als geeignet für weitere Testzwecke erwiesen. Nach 5 Durchgängen lag der minimal gemessene Wert bei 278 psi und der maximal gemessene Wert bei 290 psi. Dies entspricht einem Mittelwert von 285,2 psi (Standardabweichung 5,070) und liegt somit genau in dem gewünschten Bereich. Mit diesem Silikon wurden die weiteren Injektionen an allen Zähnen jeweils mesial und distal weitergeführt. Alle anderen Materialien erwiesen sich als nicht brauchbar für weitere Testzwecke.

Insgesamt kann bei dieser Vorauswahl festgehalten werden, dass die gemessenen Mittelwerte mit den vom Hersteller 3M (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) angegebenen Shore-Härten korrelieren. Das härteste Silikon Imprint 4 Bite mit einer Shore-Härte von 92 leistete den höchsten Widerstand und zeigte einen entsprechenden Druck von über 450 psi. Die weicheren Materialien im Shore-Werte Bereich von 43 bis 57 wiesen einen vergleichsweise niedrigen Widerstand auf. Die Silikone mit angegebenen Werten zwischen 65 und 72 siedelten sich auch mit dem vom STA™ gemessenen Drücken im Mittelfeld an. Dementsprechend fügt sich auch das Material Imprint 4 Penta Putty zwischen Mittelfeld und zu festem Material im exakt gewünschten Druckbereich für weitere Versuche ein.

4.2.2 Ergebnisse bezüglich der distal und mesial gemessenen Drücke mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty der einzelnen Zähne im Oberkiefer

Die Messungen im Oberkiefer wurden jeweils mesial und distal der einzelnen Zähne durchgeführt bei zehn Wiederholungen. So kommt man auf eine Gesamtzahl von 280 Messungen bei 14 Zähnen im Oberkiefer. Der kleinste gemessene Durchschnittswert nach 10 Messungen lag bei 258,5 psi distal an Zahn 13 und somit etwas unter der in der Literatur gemessenen Grenze von 268,32 psi (25, 51), ebenso der Durchschnittswert von Zahn 27 distal (265,3 psi). Alle übrigen Durchschnittswerte des Oberkiefers erfüllten den gewünschten Druckbereich. Dabei lag der höchste Durchschnittswert von 288,3 psi distal an Zahn 24.

Bei den Einzelmessungen stachen der Zahn 14 distal mit dem niedrigsten Wert von 123 psi und der Zahn 26 distal mit dem höchsten Einzelwert von 317 psi heraus.

4.2.3 Ergebnisse bezüglich der distal und mesial gemessenen Drücke mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty der einzelnen Zähne im Unterkiefer

Entsprechend der Messungen im Oberkiefer wurde auch im Unterkiefer verfahren und bei zehn Durchgängen wurden alle Zähne sowohl mesial als auch distal erfasst, resultierend also 280 Messungen bei 14 Zähnen im Unterkiefer. Nach diesen Messungen lag der kleinste gemessene Durchschnittswert bei 270 psi distal an Zahn 42, demzufolge etwas über dem geforderten und in der Literatur beschriebenen minimalen Durchschnittswert von 268,32 psi (25, 51). Der höchste gemessene Durchschnittswert von 289,5 psi zeigte sich mesial an Zahn 47.

Der niedrigste gemessene Einzelwert von 134 psi lag mesial an Zahn 41, der höchste Einzelwert an Zahn 32 distal mit 320 psi.

4.2.4 Ergebnisse bezüglich aller gemessenen Drücke im Oberkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Die Auswertung aller 280 gemessenen Injektionspunkte mesial und distal im Oberkiefer ergab einen Mittelwert von 279,61 psi und liegt demzufolge innerhalb der geforderten Werte von 268,32 psi und 293,98 psi (25, 51).

4.2.5 Ergebnisse bezüglich aller gemessenen Drücke im Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Die Auswertung aller 280 gemessenen Injektionspunkte mesial und distal im Unterkiefer ergab einen Mittelwert von 282,82 psi und liegt demzufolge innerhalb der geforderten Werte von 268,32 psi und 293,98 psi (25, 51).

4.2.6 Ergebnisse bezüglich aller mesial gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Bei insgesamt 280 Messungen an allen mesialen Injektionspunkten von Ober- und Unterkiefer lag der mittlere Injektionsdruck bei 282,42 psi, das Minimum bei 134 psi und das Maximum bei 311 psi.

4.2.7 Ergebnisse bezüglich aller distal gemessenen Drücke im Oberkiefer und Unterkiefer mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Hier ergab sich ein mittlerer Injektionsdruck von 280,02 psi bei einem Minimum von 123 psi und einem Maximum von 320 psi.

4.2.8 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 1. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Der mittlere Injektionsdruck im 1. Quadranten bei 140 Messungen lag bei 279,06 psi. Als Minimum wurde ein Wert von 123 psi und als Maximum ein Wert von 311 psi erfasst.

4.2.9 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 2. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Der mittlere Injektionsdruck im 2. Quadranten bei 140 Messungen lag bei 280,15 psi. Als Minimum wurde ein Wert von 148 psi und als Maximum ein Wert von 317 psi erfasst.

4.2.10 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 3. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Der mittlere Injektionsdruck im 3. Quadranten bei 140 Messungen lag bei 283,69 psi. Als Minimum wurde ein Wert von 185 psi und als Maximum ein Wert von 320 psi erfasst.

4.2.11 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke im 4. Quadranten mit dem Silikon Imprint 4 Penta Putty

Der mittlere Injektionsdruck im 4. Quadranten bei 140 Messungen lag bei 281,94 psi. Als Minimum wurde ein Wert von 134 psi und als Maximum ein Wert von 308 psi erfasst.

4.2.12 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferfrontzähne 13 bis 23

Die Ergebnisse in der Oberkieferfront ergaben einen mittleren Injektionsdruck von 278,61 psi bei einem Minimalwert von 143 psi und einem Maximum von 311 psi.

4.2.13 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Oberkieferseitenzähne 14 bis 17 und 24 bis 27

Die Ergebnisse im Oberkieferseitenzahnbereich rechts und links ergaben einen mittleren Injektionsdruck von 280,36 psi bei einem Minimalwert von 123 und einem Maximum von 317 psi.

4.2.14 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferfrontzähne 33 bis 43

Die Ergebnisse in der Unterkieferfront ergaben einen mittleren Injektionsdruck von 281,57 psi bei einem Minimalwert von 134 und einem Maximum von 320 psi.

4.2.15 Ergebnisse bezüglich aller mesial und distal gemessenen Drücke der Unterkieferseitenzähne 34 bis 37 und 44 bis 47

Die Ergebnisse im Unterkieferseitenzahnbereich rechts und links ergaben einen mittleren Injektionsdruck von 283,75 psi bei einem Minimalwert von 185 psi und einem Maximum von 313 psi.

4.3 Auswertung zur sekundären Fragestellung

4.3.1 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des Oberkiefers im Vergleich zu den Werten des Unterkiefers

Der Mann-Whitney Test ergibt bei diesem Vergleich einen p-Wert von 0,212. Es gibt somit keinen statistisch signifikanten Unterschied aller Werte des Oberkiefers im Vergleich zu allen gemessenen Werten des Unterkiefers.

4.3.2 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des 1. Quadranten im Vergleich zu den Werten des 2. Quadranten

Der Mann-Whitney Test ergibt bei diesem Vergleich einen p-Wert von 0,452. Es gibt somit keinen statistisch signifikanten Unterschied aller Werte des 1. Quadranten im Vergleich zu allen gemessenen Werten des 2. Quadranten.

4.3.3 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte des 3. Quadranten im Vergleich zu den Werten des 4. Quadranten

Der Mann-Whitney Test ergibt bei diesem Vergleich einen p-Wert von 0,877. Es gibt somit keinen statistisch signifikanten Unterschied aller Werte des 3. Quadranten im Vergleich zu allen gemessenen Werten des 4. Quadranten.

4.3.4 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte der Frontzähne des Oberkiefers im Vergleich zu den Werten der Seitenzähne des Oberkiefers

Der Mann-Whitney Test ergibt bei diesem Vergleich einen p-Wert von 0,432. Es gibt somit keinen statistisch signifikanten Unterschied aller Werte der Frontzähne des Oberkiefers im Vergleich zu allen gemessenen Werten der Seitenzähne des Oberkiefers.

4.3.5 Ergebnis bezüglich der Unterschiede der Werte der Frontzähne des Unterkiefers im Vergleich zu den Werten der Seitenzähne des Unterkiefers

Der Mann-Whitney Test ergibt bei diesem Vergleich einen p-Wert von 0,539. Es gibt somit keinen statistisch signifikanten Unterschied aller Werte der Frontzähne des Unterkiefers im Vergleich zu allen gemessenen Werten der Seitenzähne des Unterkiefers.

5. Diskussion

Die Technik der ILA wird u.a. aufgrund des demografischen Wandels unserer Gesellschaft und den damit zu erwartenden multimorbiden Patienten immer mehr an Bedeutung im zahnärztlichen Alltag gewinnen. Bei entsprechender Indikationsstellung des Behandlers überwiegen die Vorteile einer ILA im Vergleich zu den reversiblen Nachteilen (32). Insbesondere bei Risikopatienten oder Menschen mit Behinderungen stellt diese Technik eine Alternative zur Leitungsanästhesie oder Infiltrationsanästhesie dar (11). In Studien mit Normalpatienten konnte ferner festgestellt werden, dass die Anzahl der Anästhesieversager bei einer ILA im Vergleich zur Anästhesie des Nervus alveolaris inferior um ein vielfaches geringer ausfällt (11, 37). Yonchak et al. haben in einer Studie im Jahre 2001 nachgewiesen, dass es bei der Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior zu geringerem Anästhesieerfolg vor allem im Bereich der Inzisiven und des Eckzahnes kommen kann auf Grund von Kreuzinnervation des kontralateralen Nervs (60). Hier bietet sich die ILA als Komplettierung der Anästhesie im UK-Frontzahnbereich an, ohne eine bilaterale Anästhesie des N. alveolaris inferior vorzunehmen. Von Haussen hat in seiner Dissertation festgestellt, dass der Einstichschmerz vom getesteten Patientenkollektiv bei einer ILA mittels dem STA™-System, wie auch bei der ILA mit einer Dossierhebel-Spritze (Pajunk® Varioject), im Vergleich zu einer Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior mit einem geringeren Einstichschmerz bewertet wurde (4). Dies ist ein weiterer Vorteil, vor allem bei ängstlichen Patienten bzw. auch Kindern (31, 61). Die Mehrzahl der Patienten präferiert die ILA gegenüber einer Leitungsanästhesie des Unterkiefers (62). Im Rahmen einer klinischen Studie aus dem Jahre 2009 von Csides konnte festgestellt werden, dass die Erfolgsquote nach initialer bzw. komplettierter ILA bei 321 Zähnen eine Anästhesiequote von 99,7% ergab. Bei 207 Zähnen handelte es sich um

Unterkiefer-Seitenzähne, bei denen üblicherweise die Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior durchgeführt wird (63). Da die Leitungsanästhesie des Unterkiefers praktisch ohne Sichtkontrolle verläuft, birgt diese außerdem die Gefahr einer intravasalen Injektion bzw. einer Punktion und damit die vorübergehende bzw. dauerhafte Schädigung des Nervus alveolaris inferior oder auch des Nervus lingualis (64–70). Insbesondere der Nervkontakt im Rahmen einer Nachinjektion, bei unzureichender Anästhesie ohne Patientenreaktion ist hier hervorzuheben. In einer Studie aus dem Jahre 1992 von Tsirlis et. al konnte zudem festgestellt werden, dass es trotz direkter Injektion in den Parodontalspalt bei einer ILA im Rahmen von Zahnextraktionen keine statistisch signifikanten Unterschiede zum Auftreten einer trockenen Alveole im Vergleich zu einer Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior kommt (71).

Die in der Literatur beschriebenen Nachteile in Form von beispielsweise postoperativen Beschwerden, wie Klopfempfindlichkeit oder Elongationsgefühl der Zähne, klingen im Verlauf von 24 Stunden wieder ab und sind reversibel (34). Die fast immer auftretende Bakteriämie (>96%) stellt eine der wenigen, wenn auch sehr ernstzunehmende Komplikation bei endokarditisgefährdeten Patienten dar. Hier muss die ILA als absolute Kontraindikation gesehen werden. Dies gilt auch für die modifizierte ILA, bei der die auftretende Bakteriämie auf bis zu 50% gesenkt werden konnte. Bei dieser Technik wird die Nadel vor Sulcuskontakt durch die umgebende Gingiva gestochen und somit die Verschleppung der Bakterien in den Parodontalspalt verringert (43).

Infolge der vielen überwiegend positiven Eigenschaften und dem heutzutage speziell für die ILA entwickelten und vorhandenen Instrumentarium sollte diese Technik der zahnärztlichen Lokalanästhesie mit ihrem breiten Anwendungsspektrum zum Standardrepertoire eines modernen Zahnarztes gehören.

Auch aus juristischer Sicht sollte sich ein Zahnarzt mit der Thematik ILA auseinandersetzen und diese Technik beherrschen. Seit Änderung des Patientenrechtegesetzes (§ 630 BGB) im Jahre 2013 ist der Zahnarzt unaufgefordert verpflichtet den Patienten vollumfänglich über jegliche Therapieoption und Methodenspektrum aufzuklären. Dies schließt auch die Information über mögliche Risiken, Schäden und alternative Anästhesietechniken zur Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior ein. Kommt es folglich zu einer Schädigung des Nervs nach einer Leitungsanästhesie ohne die Alternative der ILA besprochen zu haben, drohen Schmerzensgeldansprüche seitens des Patienten. Der Zahnarzt hat in diesem Fall

seine Aufklärungspflicht vernachlässigt.

Jedoch wird nach wie vor im Rahmen der zahnärztlichen Ausbildung in Deutschland, wie auch im europäischen Vergleich, vorwiegend die Praxis der Anästhesie des Nervus alveolaris inferior (81-100%) ebenso wie die Infiltrationsanästhesie des Oberkiefers (78-100%) und des Unterkiefers (30-93%) gelehrt (3). Die theoretische Ausbildung der ILA gehört demgegenüber zum Standard an deutschen Hochschulen (4). Ein spezielles Trainingsmodell zur Erlernung der ILA kommt nicht zum Einsatz, wird aber von Studenten (13-70%) gefordert (3). Der Schweinekiefer ist zur Erlernung der ILA ungeeignet. Wechselnde parodontale Gegebenheiten je nach Alter des Tieres und ein zu breiter Parodontalspalt entsprechen nicht dem menschlichen Vorbild (54) ganz abgesehen von den logistischen Herausforderungen bei der Beschaffung, Lagerung und Entsorgung der Schweinekiefer.

Im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit konnte kein Trainingsmodell eines Herstellers gefunden werden, welches explizit zur Erlernung der ILA Verwendung findet. Auch wurde in der Literatur kein Artikel zur Konstruktion eines Simulationsmodells zur Erlernung der ILA entdeckt.

Dementsprechend musste ein geeignetes Modell zur Erlernung und Übung der ILA, welcher dem natürlichen Vorbild entspricht, zuallererst neu konstruiert werden. Kernaufgabe war es aus schon vorhandenen, auf dem dentalen Markt befindlichen Komponenten einen Prototypen herzustellen. Dies gewährleistet eine kostengünstige und relativ einfache Konstruktion des Trainingsmodells. Je weniger Komponenten hierfür verwendet werden müssen, desto leichter ist die anschließende Reproduktion des Prototyps. Von Seiten der Industrie müssten somit keine komplett neuen Produktionsverfahren für die Vervielfältigung eines solchen Übungsmodells errichtet werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit einer Serienproduktion.

Zur Herstellung eines geeigneten Simulationsmodells zur Erlernung und Übung der ILA für den studentischen Alltag bzw. für interessierte Zahnärzte musste auf der einen Seite ein passendes dentales Modell gefunden werden und auf der anderen Seite ein Material, welches den Widerstand des natürlichen Parodonts widerspiegelt. Als Dentalmodelle erwiesen sich das Oberkiefer- wie auch Unterkiefermodell der Firma Nissin (Nissin Dental Products INC., Kyoto Japan) mit der Typenbezeichnung „Dental Model“ als geeignet. Die Modelle besitzen eine harte Zahnfleischmodellation aus Kunststoff und sind in Größe und Anzahl der Zähne (ohne Weisheitszähne) dem des menschlichen Vorbildes nachempfunden. Sie lassen sich mittels rückseitigem Schraubengewinde sowohl an den Phantomköpfen der Firma Nissin (Nissin Dental

Products INC., Kyoto Japan) wie auch an den Phantomköpfen der Firma Frasaco (Frasaco GmbH, Tettngang Deutschland) befestigen. Demnach sind die Modelle universell an vielen Universitäten einsetzbar. Durch Kreuzkopfschrauben werden die einzelnen Kunststoffzähne im Modell befestigt und können sehr einfach bei Beschädigung ausgetauscht werden. Auch lassen sie sich im studentischen Alltag dadurch sehr schnell aus- und wieder einschrauben, wenn ein Wechsel des künstlichen Parodontalgewebes nötig wird. Bei Schraubenbruch kann der entsprechende künstliche Zahn mit passender Schraube nachbestellt werden.

Folgende Anforderungen wurden an das Material zur Nachahmung des Parodontalspaltes gestellt: Es sollte nicht zu weich oder zu fest, gut applizierbar und formstabil sein. Vor allem sollten die physikalischen Eigenschaften reproduzierbar sein und sich nicht abhängig von der Lagerzeit verändern. Somit fiel die Wahl auf dentale Präzisionsabformmaterialien der Firma 3M (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland). Es wurden ausschließlich additionsvernetzende Silikone verwendet. Diese Art des Silikons kann nahezu unbegrenzt gelagert werden, ohne Veränderung der physikalischen Eigenschaften, im Gegensatz zu den veralteten K-Silikonen, welche durch Verdunstung von Alkohol ihre physikalischen Eigenschaften über die Zeit verändern. In einem Vorversuch wurden zunächst acht Silikone an fünf gleichen künstlich geschaffenen Parodontalspalten getestet und mit dem in diesem Test erfolgversprechendsten Silikon weitere Untersuchungen vorgenommen.

Bei der Umarbeitung des ursprünglichen Dentalmodells zum Simulationsmodell für die Intraligamentäre Anästhesie wurde versucht, so wenig wie möglich zu verändern. Hier stellte sich die Entfernung der approximalen Interdentalsepten mittels eines Multifunktionswerkzeuges am einfachsten bzw. für alle Septen des Modells am exaktesten reproduzierbar heraus. So konnte die Tiefe der Fräsungen aller Interdentalsepten mittels Parodontalsonde mit Millimeterangabe kontrolliert werden. Die Ausdehnung der Fräsungen in oro-vestibulärer Richtung wurde ebenfalls mit Parodontalsonde bzw. zusätzlich mit einer Schieblehre kontrolliert. Somit entstand eine kastenförmige Aussparung zur Aufnahme des Silikons für die ILA. Zusätzlich zu der Entfernung der Interdentalsepten wurden in gleicher Technik und Ausdehnung jeweils distal der zweiten Molaren im Ober- wie auch Unterkiefer Fräsungen für das künstliche Parodont geschaffen. Fräsungen dieser Art für eine palatinale Durchführung einer ILA haben sich als nicht erfolgreich herausgestellt. Die palatinale Kunststoffwand aller ersten und zweiten Molaren des Oberkiefers ist zu dünn. Sie geht bei der gewünschten Ausdehnung der kastenförmigen Fräsung gänzlich

verloren. Infolgedessen fehlt das Widerlager des künstlichen Ligamentes und es kann kein adäquater Druck aufgebaut werden. Bei einer Serienproduktion des Prototyps wäre zu überlegen, an diesen Stellen den palatinalen Kunststoff so zu gestalten, dass auch hier ein Widerlager entsteht um palatinale Injektionen durchzuführen.

Zu Beginn dieser Dissertation wurde jedoch eine andere Idee zur Herstellung eines solchen Modells verfolgt. Es wurde versucht, die Wurzeln der Kunststoffzähne zirkulär abzuschleifen, um somit Platz für das künstliche Parodont zu schaffen. Vorteil zu der jetzigen Bearbeitung wäre eine noch exaktere Nachahmung des Parodontalspalt zum menschlichen Pendant, da an jeder Stelle des künstlichen Ligamentes des entsprechenden künstlichen Zahnes eine Applikation hätte stattfinden können. Diese Idee wurde jedoch aus praktikablen Gründen schnell verworfen. Es war schlicht extrem schwierig, die künstlichen Wurzeln zirkulär an allen Zähnen in gleichem Maße zu reduzieren, um so Platz für den Parodontalspalt zu schaffen. Das Ergebnis wäre auf Grund der unterschiedlichen Reduzierungen der Wurzeln höchstwahrscheinlich von Zahn zu Zahn sehr unterschiedlich ausgefallen. Auch wäre die zirkuläre Applikation des Silikons in den geschaffenen Parodontalspalt vermutlich schwieriger gewesen als das jetzige relativ einfache Einbringen des Silikons approximal der Kunststoffzähne. Hinzu käme, bei industrieller Fertigung, die schwierige Handhabung dieser dann sehr dünnen und fragilen Silikonmanschetten. Die Gefahr des Einreißen bzw. Bruches beim Bestücken des Modells bzw. auch bei Lagerung oder Versand des Silikons wäre sehr hoch. Die in dieser wissenschaftlichen Arbeit gefundene Lösung ist für den Anwender viel praktikabler. Die Gefahr des Einreißen bei Austausch nach den Injektionen oder Lagerung bzw. Versand ist sehr gering.

Nach Bearbeitung der dentalen Modelle und Auffinden des geeigneten Silikons mit vergleichbarem Widerstand zum menschlichen Parodontalspalt wurden die Injektionen entsprechend der speziellen Technik zur Durchführung einer intraligamentären Anästhesie ausgeführt, nach Steigerung des Druckes auf den gewünschten Minimalwert 40 Sekunden lang gemessen und der in dieser Zeit maximal erreichte Wert notiert. Die wenigen Werte unterhalb des geforderten Minimaldruckes sind ebenfalls nach Ablauf von 40 Sekunden erfasst worden, ebenso wie die Werte oberhalb des geforderten Bereiches. Die Darstellung der einzelnen Werte wie auch die Verlaufskurve während der Injektion erfolgte über das Programm STA™ Data Grapher (Milestone Scientific, Livingston, USA).

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mit dem Versuchsaufbau die intraligamentäre Injektion am hier konstruierten Dentalmodell simuliert werden kann. Bei korrekter Durchführung der ILA am Simulationsmodell sind hier Drücke innerhalb des künstlichen Parodonts entsprechend dem des menschlichen Vorbildes reproduzierbar. Ähnlich wie auch bei der Durchführung am Menschen kann bzw. muss der Behandler auch am künstlichen Dentalmodell durch leichte Stellungskorrekturen der Nadel innerhalb des parodontalen Gewebes den Druck an der Nadelspitze und somit den der Injektionsflüssigkeit entgegengebrachten Widerstand kontrollieren und gegebenenfalls korrigieren. Durch minimales Umpositionieren der Nadel innerhalb des künstlichen Parodontalspaltes in apiko-coronaler Richtung bzw. leichter Rotation ist es möglich, den Druck gleichmäßig aufzubauen und auf dem gewünschtem Level zu halten. Dies erhöht die Aufmerksamkeit und somit den Lerneffekt des Behandlers während der Durchführung der ILA. Nur bei korrekter technischer Ausführung und Feingefühl ist eine erfolgreiche Applikation und somit eine Anästhesie zu erreichen.

Trotzdem gab es innerhalb des Versuchsaufbaus mit dem geeigneten Silikon einzelne Injektionen, bei denen entweder der Druck nicht auf ILA-Niveau gesteigert werden konnte bzw. der Druck den von Hochman et al. gemessenen maximalen mittleren Injektionsdruck von 293,98 psi beim Menschen überschritten hat (51). Distal an Zahn 13 mit einem durchschnittlichen Wert von 258,5 psi nach zehn Wiederholungen sowie die Position distal an Zahn 27 mit durchschnittlich gemessenen 265,3 psi nach 10 Durchgängen lagen etwas unter dem in der Literatur beschriebenen Durchschnittswert von 268,32 psi (25). Gründe hierfür könnten Inhomogenitäten oder nicht sichtbare Fehler des Silikons bei den entsprechenden Messungen gewesen sein bzw. auch die nicht an jedem Zahn exakte Passung zu der künstlichen Alveole. Dies wäre auch eine Erklärung für den recht niedrig gemessenen Einzelwert distal an Zahn 14 von lediglich 123 psi. Auffällig waren aber vor allem die im Unterkiefer häufiger vorkommenden Einzelwerte unterhalb des geforderten Minimaldrucks von 268,32 psi (25). Hier konnte 16-mal kein Minimaldruck nach dreimaliger Umpositionierung der Nadel erreicht werden. Demgegenüber waren im Oberkiefer nur sechs Einzelwerte niedriger als 268,32 psi. Der am höchsten gemessene Einzelwert lag bei 317 psi distal an Zahn 26. Dieser Wert liegt knapp 26 psi über dem in der Literatur beschriebenen Wert von 293.98 psi (51), jedoch weit unter dem Grenzwert von 450 psi, bei dem das STA™-System die Injektion abbricht.

Wie schon oben erwähnt, fällt insbesondere im Unterkiefer bei genauerer Betrachtung auf, dass die künstlichen Zähne bzw. deren Wurzeln nicht exakt an den künstlichen Knochenwänden anliegen und sich ein minimaler Spalt darstellt. Je nach Lage des Kanülenschliffs verteilt sich die Injektionslösung entlang des Spaltes und es kann kein adäquater Druck aufgebaut werden. Dies ist dem Prototypcharakter des Versuchsaufbaus geschuldet und lässt sich bei industrieller Herstellung des Simulationsmodells und einer exakten Passung von künstlicher Wurzel zu Alveolarwand weiter minimieren bzw. eliminieren.

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Verbesserung der Ergebnisse ist in den physikalischen Eigenschaften des Silikons zu suchen. Das in dieser wissenschaftlichen Arbeit gefundene Silikon Imprint 4 Penta Putty ist laut Hersteller mit einer Shore-Härte von 74-81 nach 24 Stunden Aushärtezeit angegeben. Zu überprüfen wäre, ob eine exaktere Shore-Härte innerhalb von 74-81 noch genauere Werte ohne die, wenn auch wenigen, Ausbrüche in der Versuchsreihe ergeben. Evtl. ist mittels leichter chemischer Veränderung des Silikons der Shore-Härte-Bereich noch enger einzugrenzen. Auch müsste die Legierung der Befestigungsschrauben so gewählt werden, dass eine Korrosion durch die Anästhesieflüssigkeit und Beschädigung nach mehrmaligem Ein- und Ausdrehen dieser ausgeschlossen ist. Im Laufe der Studie sind die vorhandenen Schrauben aufgrund von Korrosion und mehrmaligem Benutzen rundgedreht gewesen bzw. auch abgebrochen und mussten ausgetauscht werden. Der Kunststoff des Dentalmodells bzw. der künstlichen Zähne zeigte bis auf leichte farbliche Veränderungen keine Schäden oder Veränderungen der physikalischen Eigenschaften. Bei Serienproduktion des Simulationsmodells muss ein Weg zur praktikablen Ersetzung des künstlichen Silikonparodontes gefunden werden, da dieses nicht unbegrenzt zur Injektion verwendbar ist. Das Silikon sollte nach jeder Injektion gewechselt werden. Tests innerhalb dieser Versuchsreihe haben ergeben, dass ein mehrmaliges Injizieren in das jeweilige Silikonparodont höchst unterschiedliche Ergebnisse liefern. Die Spanne reichte von gleichem Druckaufbau wie bei der ersten Applikation bis hin zu keinerlei nennenswertem Druckaufbau. Vermutlich hängt das Ergebnis der zweiten Injektion von der Lage der Nadel im Silikon ab. Liegt die Nadel weit entfernt von der ersten Einstichstelle, kann evtl. ein Druck aufgebaut werden. Wird die Nadel jedoch an gleicher Stelle gesetzt bzw. durchsticht die Nadel den Verlauf der ersten Einstichstelle sind die Ergebnisse äußerst schwankend. Die physikalischen Eigenschaften des Silikons bzw. dessen Rückstellkräfte scheinen nicht ausreichend, um die erste Einstichstelle solide zu

verschließen. Um gleichbleibende, reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, darf nur einmal injiziert werden. Von Seiten der Industrie wäre eine Produktion des künstlichen Parodonts im Spritzgussverfahren unter Druck denkbar, um gleichbleibende Qualität zu erreichen. Das so entstandene künstliche Parodont muss dann vom Anwender zusammen mit dem Kunststoffzahn in das Modell eingebracht werden.

Zu der primären Fragestellung dieser wissenschaftlichen Arbeit mit den erhaltenen Einzelwerten und ihren entsprechenden durchschnittlichen Drücken wurden in einer sekundären Fragestellung vergleichende Auswertungen durchgeführt. Es sollte die Frage beantwortet werden, ob es statistisch signifikante Unterschiede der Werte innerhalb dieses Simulationsmodells gibt. Damit könnte man gegebenenfalls genauere Rückschlüsse auf eventuelle Konstruktionsunterschiede von Oberkiefer zu Unterkiefer bzw. auch innerhalb der jeweiligen Kiefer der Kunststoffmodelle erhalten. In einer ersten Analyse wurden die Durchschnittswerte des Oberkiefers mit denen des Unterkiefers verglichen. Bei einem ermittelten p-Wert von 0,212 resultieren keine statistisch signifikanten Unterschiede der Durchschnittswerte von Oberkiefer zu Unterkiefer. Auch innerhalb der Kiefer gibt es im Vergleich vom 1. Quadranten zum 2. Quadranten (P-Wert 0,452) wie auch vom 3. Quadranten verglichen mit dem 4. Quadranten (P-Wert 0,877) keine statistisch signifikanten Unterschiede. Dies stellte sich ebenfalls im Vergleich der Werte der Frontzähne zu den Werten der Seitenzähne innerhalb eines Kiefers heraus. Hier lag der p-Wert im Oberkiefer bei 0,432 und im Unterkiefer bei 0,539.

Mit Hilfe der in dieser wissenschaftlichen Arbeit erlangten Erkenntnisse ist es erstmals möglich, ein geeignetes Simulationsmodell für die ILA in Serie zu produzieren. Ein solches Modell erweitert die bis dahin ausschließlich theoretisch gelehrt Technik der ILA im studentischen Alltag im Rahmen des Auscultandos um eine praktische Komponente (4). Die Studenten, wie auch interessierte Zahnärzte, haben die Möglichkeit an diesem Übungsmodell die spezielle Technik dieser Einzelzahnanästhesie praktisch kennenzulernen und zu üben, unter sehr ähnlichen Voraussetzungen wie beim menschlichen Vorbild. Es entfällt die Beschaffung, Lagerung und Beseitigung von Schweinekiefern und der Nachteil des zu breiten und sehr variablen Parodontalspaltes des Tieres im Vergleich zum Menschen (54).

6. Zusammenfassung

Bei der erstmals im frühen 20. Jahrhundert zur Anwendung gekommenen Technik der ILA wird idealerweise mit speziell entwickelten Spritzensystemen das Anästhetikum in den Desmodontalspalt der Zähne injiziert. Die Wirkung ist eng begrenzt auf die Region des jeweiligen Zahnes.

Aufgrund fehlender praktischer Lehrmittel wird an deutschen Hochschulen vor allem die Theorie dieser Anästhesietechnik gelehrt.

Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit war es, ein Simulationsmodell zur Erlernung der ILA zu konstruieren, welches den Widerstand des menschlichen Parodontalspaltes imitiert. Der maximale mittlere Injektionsdruck und dem damit verbundenen zu überwindenden Widerstand innerhalb des Parodontalspaltes am Menschen liegt zwischen 268,32 psi und 293,98 psi.

Als dentales Basismodell dienten ein Oberkiefermodell und ein Unterkiefermodell der Firma Nissin (Nissin Dental Products INC. Kyoto, Japan). Als künstlichen Ersatz für das natürliche Parodontalgewebe kamen Silikone der Firma 3M (3M Oral Care, Espe Platz, 82229 Seefeld, Deutschland) zum Einsatz. Die Dentalmodelle wurden so umgearbeitet, dass die Silikone mesial und distal von den künstlichen Zähnen eingebracht werden konnten. Aus acht verschiedenen Silikonarten mit jeweils unterschiedlichen Shorehärten wurden unter Verwendung des computergesteuerten STA™-Systems (Milestone Scientific, Livingston, USA) mittels DPS-Technologie und dem Programm STA™ Data Grapher die aktuellen Drücke und die damit verbundenen Widerstände in Echtzeit erfasst und aufgezeichnet. Als geeignetes Material stellte sich das Silikon Imprint 4 Penta Putty mit einer Shorehärte von 74-81 nach 24 Stunden heraus. Mit diesem Silikon wurden im Oberkiefer sowie im Unterkiefer an allen Zähnen jeweils distal und mesial zehn Messungen durchgeführt. Die Auswertungen ergaben einen Mittelwert von 279,61 psi im Oberkiefer und einen Mittelwert von 282,82 psi im Unterkiefer und liegen innerhalb der geforderten Werte von 268,32 psi und 293,98 psi. Demzufolge ist das in dieser Arbeit konstruierte Simulationsmodell zur Durchführung einer ILA entsprechend dem menschlichen Vorbildes geeignet.

Aufgrund vieler positiver Eigenschaften gegenüber wenigen Kontraindikationen der ILA sollte diese Anästhesietechnik zum Standard der praktischen zahnmedizinischen Ausbildung an Universitäten gehören. Das hergestellte Simulationsmodell macht die praktische Übung und Erlernung dieser Anästhesietechnik und den zugehörigen speziellen Spritzensystemen möglich und bietet somit eine sinnvolle Ergänzung zur Infiltrationsanästhesie bzw. der Leitungsanästhesie im zahnärztlichen Alltag.

7. Literaturverzeichnis

1. Endo T, Gabka J, Taubenheim L. Intraligamentary anesthesia: benefits and limitations. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985) 2008; 39(1):e15-25.
2. Plasschaert, A J M, Holbrook WP, Delap E, Martinez C, Walmsley AD. Profile and competences for the European dentist. *Eur J Dent Educ* 2005; 9(3):98–107.
3. Brand HS, Tan, L L S, van der Spek, S J, Baart JA. European dental students' opinions on their local anaesthesia education. *European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe* 2011; 15(1):47–52.
4. Haussen Tv. Evaluation einer Kohortenstudie in Hinsicht auf die klinische Praktikabilität zweier unterschiedlicher intraligamentärer Spritzensysteme [Mainz, Univ., Diss., 2011]; 2011.
5. Haussen Tv. Vergleich zweier unterschiedlicher intraligamentärer Spritzensysteme in der studentischen Ausbildung; 2013.
6. Dirnbacher T. Reduzierung unerwünschter Effekte bei der zahnärztlichen Lokalanästhesie [Jena, Univ., Diss., 2003]; 2003.
7. Lafargue R. [The anesthesia of the lower molars by way of the ligaments. Use of an hydraulic injector with fine needles]. *Rev Fr Odontostomatol* 1969; 16(2):195–206.
8. Chenaux G, Castagnola L, Colombo A. [Intraligamentary anesthesia with the "Peripress" syringe]. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnheilkunde = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie / SSO* 1976; 86(11):1165–73.
9. Giovannitti J, Nique T. Status report: the periodontal ligament injection. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *J Am Dent Assoc* 1983; 106(2):222–4.
10. Rahn R, Shah PM, Schäfer V, Haindl U, Frenkel G. Intraligamentäre Anästhesie mit druckbegrenzender Spritze. *Die Quintessenz* 1987; 38(8):1329–36.
11. Glockmann E, Dirnbacher T, Taubenheim L. Oralchirurgie/orale Medizin. Die intraligamentäre Anästhesie - Alternative zur konventionellen Lokalanästhesie? *Die Quintessenz* 2005; 56(3):207. Available from: URL: <http://www.zbmed.de/ccmedimages/2005/49141.pdf>.

12. Zugal W. Die intraligamentäre Anästhesie in der zahnärztlichen Praxis. Zahnärztliche Mitteilungen 2001; 91(6):46–52. Available from: URL: <http://www.zbmed.de/ccmedimages/2001/14088.pdf>.
13. Froum SJ, Tarnow D, Caiazzo A, Hochman MN. Histologic response to intraligament injections using a computerized local anesthetic delivery system. A pilot study in mini-swine. J. Periodontol. 2000; 71(9):1453–9.
14. Hochman MN. Single-tooth anesthesia: pressure-sensing technology provides innovative advancement in the field of dental local anesthesia. Compend Contin Educ Dent 2007; 28(4):186-8, 190, 192-3.
15. Milestone-Scientific. STA Single Tooth Anesthesia System. Livingston, USA Livingston.
16. Dirnbacher T, Glockmann E, Taubenheim L. Welche Anästhesie ist die richtige? Zahnärztliche Mitteilungen 2003; 93.:44–51.
17. Daubländer M, Kämmerer PW, Liebaug F. Lokalanästhesie: Ein praxisnaher Leitfaden*. Dental-Magazin 2016; 34(8):42. Available from: URL: <http://www.zbmed.de/ccmedimages/2016/ZBMED-201611175153-1.pdf>.
18. Meechan JG. Supplementary routes to local anaesthesia. Int Endod J 2002; 35(11):885–96.
19. Daubländer M, Kämmerer P. Aktueller Stand der zahnärztlichen Lokalanästhesie. Die Quintessenz <Berlin> 2010; 61(8):899. Available from: URL: <http://www.zbmed.de/ccmedimages/2010/ZBMED-201081151514-12.pdf>.
20. Dower JS, Barniv ZM. Periodontal ligament injection: review and recommended technique. Gen Dent 2004; 52(6):537-42; quiz 543, 527-8.
21. Mazouch R. Intraligamentäre Anästhesie. Praxiserfahrungen unter Verwendung eines druckkraftbegrenzten Spritzensystems (Ultraject). ZWR 1990; 99(6):458–62.
22. Meechan JG. Intraligamentary anaesthesia. J Dent 1992; 20(6):325–32.
23. Meechan JG, Ledvinka, J I M. Pulpal anaesthesia for mandibular central incisor teeth: a comparison of infiltration and intraligamentary injections. International endodontic journal 2002; 35(7):629–34.
24. Daubländer M, Kämmerer PW. Lokalanästhesie in der Zahnmedizin. Berlin: Sanofi-Aventis Deutschland GmbH; 2014.
25. Sitzmann F, Prinz M. Experimentelle Untersuchungen zur intraligamentären Anästhesie. Deutsche zahnärztliche Zeitschrift 1991; 46(12):817–9.
26. Tagger M, Tagger E, Sarnat H. Periodontal ligament injection: spread of the solution in the dog. Journal of Endodontics 1994; 20(6):283–7.
27. Garfunkel AA, Kaufman E, Marmary Y, Galili D. Intraligamentary--intraosseous anesthesia. A radiographic demonstration. International journal of oral surgery 1983; 12(5):334–9.
28. Smith GN, Walton RE. Periodontal ligament injection: distribution of injected solutions. Oral surgery, oral medicine, and oral pathology 1983; 55(3):232–8.
29. Weber M. Reduzierung der unerwünschten Nebeneffekte bei der zahnärztlichen Lokalanästhesie unter besonderer Berücksichtigung der Erfordernisse für endodontische Maßnahmen [Dissertation]. Jena; 2005.

30. Dumbrigue HB, Lim MV, Rudman RA, Serrao A. A comparative study of anesthetic techniques for mandibular dental extraction. *American journal of dentistry* 1997; 10(6):275–8.
31. Allen KD, Kotil D, Larzelere RE, Hutfless S, Beiraghi S. Comparison of a computerized anesthesia device with a traditional syringe in preschool children. *Pediatr Dent* 2002; 24(4):315–20.
32. Einwag J. Klinische Erfahrungen mit der intraligamentären Anästhesie. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 1982; 37(11):946–8.
33. Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. *Zahnärztliche Chirurgie [Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Band 3]*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2000. (vol 3).
34. Taubenheim L. Parodontologie. Die intraligamentäre Anästhesie: Vorbehalte abbauen. *Dentale Implantologie & Parodontologie* 2013; 17(7):556. Available from: URL: <http://www.zbmed.de/ccmedimages/2013/ZBMED-2013112051513-8.pdf>.
35. Kämmerer PW, Schiegnitz E, Haussen T von, Shabazfar N, Kämmerer P, Willershausen B et al. Clinical efficacy of a computerised device (STA™) and a pressure syringe (VarioJect INTRA™) for intraligamentary anaesthesia. *European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe* 2015; 19(1):16–22.
36. Kammerer PW. Clinical and Histological Comparison of Pulp Anaesthesia and Local Diffusion after Periodontal Ligament Injection and Intrapapillary Infiltration Anaesthesia. *J Pain Relief* 2012 [cited 2015 May 15]; 01(05).
37. Staatsberger L, Tobien V. Intraligamentäre anästhesie erfüllt alle anforderungen an eine schonende und patientenfreundliche lokalanästhesie. *DZW* 2001; (38/01).
38. Kämmerer P, Shabazfar N, Al-Nawas B. Zahnextraktionen unter intraligamentärer Anästhesie: Limitationen und Nebenwirkungen gängiger Methoden der zahnärztlichen Lokalanästhesie. *Dent Implantol.* 2010; (5):306–13.
39. Walton RE, Abbott BJ. Periodontal ligament injection: a clinical evaluation. *Journal of the American Dental Association (1939)* 1981; 103(4):571–5.
40. Weissmann C, Schramm-Scherer B, Erlemeier E, Tetsch P. Veränderungen von Kreislaufparametern unter Leitungs- und intraligamentärer Anästhesie. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 1986; 41(4):369–70.
41. McLean ME, Wayman BE, Mayhew RB. Duration of anesthesia using the periodontal ligament injection: a comparison of bupivacaine to lidocaine. *Anesthesia & pain control in dentistry* 1992; 1(4):207–13.
42. Faulkner RK. The high-pressure periodontal ligament injection. *British dental journal* 1983; 154(4):103–5.
43. Roberts GJ, Simmons NB, Longhurst P, Hewitt PB. Bacteraemia following local anaesthetic injections in children. *British dental journal* 1998; 185(6):295–8.
44. Rahn R, Frenkel G, Atamni F, Shah PM, Schäfer V. Bakteriämie nach intradesmodontaler Anästhesie. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odontostomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia / SSO* 1987; 97(7):859–63.
45. Peurach JC. Pulpal response to intraligamentary injection in the cynomolgus monkey. *Anesth Prog* 1985; 32(2):73–5.

46. Brännström M, Nordenvall KJ, Hedström KG. Periodontal tissue changes after intraligamentary anesthesia. *ASDC journal of dentistry for children* 1982; 49(6):417–23.
47. Walton RE, Garnick JJ. The periodontal ligament injection: histologic effects on the periodontium in monkeys. *Journal of Endodontics* 1982; 8(1):22–6.
48. Roahen JO, Marshall FJ. The effects of periodontal ligament injection on pulpal and periodontal tissues. *Journal of Endodontics* 1990; 16(1):28–33.
49. Leilich G, Arndt R, Frenkel G. In-vivo-Messungen zur Ermittlung der bei der intraligamentären Injektion angewandten Kräfte. *ZWR* 1985; 94(1):51–3.
50. Pertot WJ, Déjou J. Bone and root resorption. Effects of the force developed during periodontal ligament injections in dogs. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 1992; 74(3):357–65.
51. Hochman MN, Friedman MJ, Williams W, Hochman CB. Interstitial tissue pressure associated with dental injections: a clinical study. *Quintessence Int* 2006; 37(6):469–76.
52. Grundy JR. Intraligamentary anaesthesia. A survey of use by general practitioners and by staff and students in a dental school. *Restorative Dent* 1984; 1(2):36, 38, 41-2.
53. Hickey JS, O'Neal RB, Scheidt MJ, Strong SL, Turgeon D, Van Dyke, T E. Microbiologic characterization of ligature-induced peri-implantitis in the microswine model. *Journal of periodontology* 1991; 62(9):548–53.
54. WEAVER ME, SORENSON FM, JUMP EB. The miniature pig as an experimental animal in dental research. *Archives of oral biology* 1962; 7:17–23.
55. Haidar E. Clinical simulation: a better way of learning? *Nursing management (Harrow, London, England : 1994)* 2009; 16(5):22–3.
56. Boulet JR, Murray D, Kras J, Woodhouse J, McAllister J, Ziv A. Reliability and validity of a simulation-based acute care skills assessment for medical students and residents. *Anesthesiology* 2003; 99(6):1270–80.
57. Harder BN. Use of simulation in teaching and learning in health sciences: a systematic review. *The Journal of nursing education* 2010; 49(1):23–8.
58. Beyea SC. Human patient simulation: a teaching strategy. *AORN journal* 2004; 80(4):738, 741-2.
59. 3M Deutschland GmbH. 3M Deutschland GmbH. Carl-Schurz-Str. 1 41453 Neuss. Available from: URL: http://solutions.3mdeutschland.de/wps/portal/3M/de_DE/3M_ESPE/Dental-Manufacturers/.
60. Yonchak T, Reader A, Beck M, Meyers WJ. Anesthetic efficacy of unilateral and bilateral inferior alveolar nerve blocks to determine cross innervation in anterior teeth. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 2001; 92(2):132–5.
61. Daubländer M, Shabazfar N, Kämmerer P. Schmerzausschaltung bei Kindern und Jugendlichen. *Zahnmedizin up2date* 2011; 5(03):223–40.
62. Oztaş N, Ulusu T, Bodur H, Doğan C. The wand in pulp therapy: an alternative to inferior alveolar nerve block. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 2005; 36(7-8):559–64.
63. Csides M. Die intraligamentäre Anästhesie als primäre Methode der zahnärztlichen Lokalanästhesie unter besonderer Betrachtung der angewandten Injektionssysteme und der damit generierten Effekte beim Patienten [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität; 2009.

64. Agren E, Danielsson K. Conduction block analgesia in the mandible. A comparative investigation of the techniques of Fischer and Gow-Gates. *Swedish dental journal* 1981; 5(3):81–9.
65. Vreeland DL, Reader A, Beck M, Meyers W, Weaver J. An evaluation of volumes and concentrations of lidocaine in human inferior alveolar nerve block. *Journal of Endodontics* 1989; 15(1):6–12.
66. Chaney MA, Kerby R, Reader A, Beck FM, Meyers WJ, Weaver J. An evaluation of lidocaine hydrocarbonate compared with lidocaine hydrochloride for inferior alveolar nerve block. *Anesthesia progress* 1991; 38(6):212–6.
67. Nist RA, Reader A, Beck M, Meyers WJ. An evaluation of the incisive nerve block and combination inferior alveolar and incisive nerve blocks in mandibular anesthesia. *Journal of Endodontics* 1992; 18(9):455–9.
68. Clark S, Reader A, Beck M, Meyers WJ. Anesthetic efficacy of the mylohyoid nerve block and combination inferior alveolar nerve block/mylohyoid nerve block. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 1999; 87(5):557–63.
69. Nusstein J, Reader A, Beck FM. Anesthetic efficacy of different volumes of lidocaine with epinephrine for inferior alveolar nerve blocks. *General dentistry* 2002; 50(4):372-5; quiz 376-7.
70. Mikesell P, Nusstein J, Reader A, Beck M, Weaver J. A comparison of articaine and lidocaine for inferior alveolar nerve blocks. *Journal of Endodontics* 2005; 31(4):265–70.
71. Tsirlis AT, Iakovidis DP, Parissis NA. Dry socket: frequency of occurrence after intraligamentary anesthesia. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* 1992; 23(8):575–7.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt zunächst Frau ..., meiner Doktormutter, für die freundliche Überlassung des Themas, die hervorragende Betreuung und die Erstellung des Erstgutachtens.

Ich danke Frau ... für die hilfsbereite und wissenschaftliche Betreuung als Zweitgutachterin.

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau ... bedanken für die Durchführung der statistischen Auswertung.

Vielen Dank auch an Frau ... für die kurzfristige Hilfe und das Korrekturlesen der Arbeit.

Ein großer Dank gilt meinen Eltern, die mir meinen bisherigen Lebensweg und das Studium zur Zahnmedizin ermöglichten.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Frau und meinen beiden Töchtern für die Unterstützung und ihr Verständnis bei der Anfertigung dieser Doktorarbeit.