

Aus dem Zentrum Anatomie der Universität zu Köln
Institut II für Anatomie
Geschäftsführender Direktor: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. J. Koebe

**Innervation der Mandibula im interforaminalen Bereich mit
besonderem Augenmerk auf den Nervus incisivus**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Julia Maronna
aus Köln

Promoviert am 06. April 2011

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. J. Klosterkötter

1. Berichterstatter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. J. Koebke

2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. med. M. Wicht

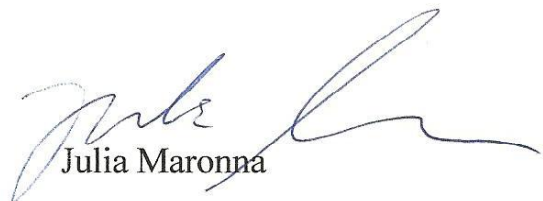
Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

Köln, den 08.10.2010


Julia Maronna

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen und Fotodokumente sind von mir selbst erstellt und deren Auswertung von mir selbst durchgeführt worden.

Danksagung

Ich danke Herrn Privatdozent Dr. Bade für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die wertvollen Anregungen,

Herrn Professor Dr. rer. nat. Koebke für die freundliche und verständnisvolle weitere Betreuung und

Herrn Notermans für die ausführlichen Informationen und die Einführung in die verschiedenen Methoden der Demineralisierung und von Knochen und deren Anfärbung.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie, die mich stets unterstützt und motiviert haben, das gesetzte Ziel zu verfolgen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Material und Methode	4
3. Ergebnisse	7
3.1 Verlaufsform	7
3.1a abgeknickter Verlauf	7
3.1b gerader Verlauf	9
3.1c Sonderform	11
3.2 Verzweigungsmuster	12
3.3 Durchmesser des Nervus incisivus	13
4. Diskussion	16
5. Zusammenfassung	35
6. Literaturverzeichnis	37
7. Lebenslauf	41

1. Einleitung

Der Nervus mandibularis ist der größte der drei Äste des Nervus trigeminus. Er besteht aus sensiblen, propriozeptiven und motorischen Fasern.

Der Nervus mandibularis beginnt in der mittleren Schädelgrube als eine größere sensible und eine separate kleinere motorische Wurzel, die den Schädel durch das Foramen ovale verlassen und sich kurze Zeit später zu einem Strang vereinigen.

In seinem weiteren Verlauf spaltet er sich nach Abgabe des Nervus meningeus und des Nervus pterygoideus medialis in einen schmalen, hauptsächlich motorischen vorderen Strang, aus dem später die Äste für die Innervation der Kaumuskulatur hervorgehen, und einen großen hauptsächlich sensiblen hinteren Strang.

Der hintere Strang wiederum teilt sich schließlich nach Abgabe des Nervus auriculotemporalis in seine Endäste, den Nervus lingualis und den Nervus alveolaris inferior, auf.

Der Nervus alveolaris inferior, der größere dieser beiden Äste, tritt am Foramen mandibulare in den Canalis mandibularis in den Unterkiefer ein. Dabei wird er von der Arteria alveolaris inferior, einem Ast der Arteria maxillaris, begleitet.

Von dort aus verläuft er durch den Mandibularkanal unterhalb der Zahnwurzeln nach anterior bis zum Foramen mentale, das sich etwa auf Höhe der Prämolaren befindet.

Hierbei versorgt er zusammen mit der Arterie die Zähne und das Parodont der jeweiligen Seite der Unterkieferspanne.

Während seines Verlaufs durch den Canalis mandibularis teilt sich der Nervus alveolaris inferior in den Nervus mentalis und den Nervus incisivus auf.

Am Foramen mentale geben Nerv und Arterie den Nervus bzw. die Arteria mentalis ab, die den Knochen durch den Canalis mentalis verlassen, um die Haut

der Unterlippe, die Schleimhaut und das Zahnfleisch bis hin zum zweiten Molaren zu versorgen (37).

Der Nervus incisivus wird als der zweite dieser Endäste des Nervus alveolaris inferior beschrieben (2) und scheint in einem deutlich ausgebildeten inzisalen Kanal nach anterior in die interforaminale Region zu laufen, um dort die Eck- und Schneidezähne zu innervieren (6, 16).

Jedoch wird die Innervation und der Verlauf der Nerven im Frontzahnbereich heftig diskutiert, wobei einige Autoren das Vorkommen eines inzisalen Kanals abstreiten und eher einen Nervenplexus beschreiben, der die Zähne versorgt (7, 9, 22, 25, 34).

Die genaue Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten in der interforaminalen Region der Mandibula sind von äußerster Wichtigkeit, nicht nur für Zahnärzte, sondern auch für Chirurgen, Neurologen und Radiologen. Dies gilt sowohl für die Diagnostik und die Behandlungsplanung, als auch für die Anwendung von Lokalanästhesie und die Durchführung chirurgischer Eingriffe.

So werden Eingriffe wie Implantatinserterion, Genioplastik oder das Einbringen von Osteosyntheseschrauben und -platten nach Trauma häufig durchgeführt.

Des Weiteren wird die Kinnregion aus verschiedenen Gründen gerne als Quelle für die Gewinnung von autogenem Transplantatmaterial genutzt. Zum einen bietet sich auf Grund der topografischen Lage eine gute Zugangsmöglichkeit und zum anderen besteht ein relativ großes Angebot an kortikalem und spongiösem Knochen.

Dabei wird die interforaminale Region gewöhnlich als eine sichere Region für solche Eingriffe angesehen.

Dennoch berichten einige Autoren über Beschwerden, Schmerzen und Sensibilitätsstörungen nach Implantation im Kinnbereich oder Knochengewinnung vom Kinn (13, 27, 38) als Folge von Nervtraumatisierung.

Sensibilitätsstörungen können als Hypästhesie, Anästhesie oder Parästhesie auftreten. Hypästhesie ist definiert als eine reduzierte Empfindung, wohingegen Anästhesie ein kompletter Empfindungsverlust ist. Parästhesie zeigt sich in verändertem Empfindungsvermögen, wie z.B. einem tauben Gefühl, oft mit Prickeln oder Brennen in Unterlippe oder Kinn assoziiert. All diese Veränderungen können temporär oder permanent sein, abhängig vom Ausmaß der Nervschädigung.

Würde man eine genaue anatomische Lokalisation des inzisalen Nervengewebes kennen und berücksichtigen, dass es menschliche Variabilitäten geben kann, könnten mögliche Traumata dieser Gewebe beim Setzen von Implantaten oder bei der Nutzung des Kinns als Quelle autogenen Knochenmaterials vermieden werden.

Ziel dieser Studie ist daher die genaue Untersuchung des Verlaufs des Nervus incisivus in der interforaminalen Region des menschlichen Unterkiefers.

2. Material und Methode

Für die Untersuchung konnte auf 16 menschliche in Formalin fixierte Unterkieferhälften von 11 Leichen, sowie auf 4 vollständige Unterkiefer, von denen 3 in Azeton eingelegt und einer unfixiert war, zurückgegriffen werden. Diese Kiefer wurden vom Institut II für Anatomie der Universität zu Köln zur Verfügung gestellt.

Sieben der untersuchten Präparate waren weiblich, sechs männlich. Das Alter lag zwischen 61 und 90 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 79 Jahre. Bei zwei der Kiefer lagen keine Angaben zum Alter und Geschlecht vor.

Eine genaue Darstellung von Geschlechts- und Altersstruktur listet Tabelle 1 auf.

Tabelle 1:

Alters- und Geschlechtsverteilung

Alter in Jahren	60-69	70-79	80-89	90-99	unbekannt
Frauen	0	2	4	1	
Männer	2	2	2		
unbekannt					2
gesamt	2	4	6	1	2

Fünf der Präparate waren zahnlos und 15 wiesen eine Teilbezahnung hauptsächlich im Frontzahnbereich auf.

Die Präparate bestanden primär aus kompletten Gesichtshälften, bzw. ganzen Köpfen, sodass zunächst die Unterkiefer abgesetzt und Haut, subkutanen Fettgewebe und Muskeln bei gleichzeitiger Schonung der Äste des Nervus mentalis entfernt werden mussten, bevor die Kiefer gründlich gewässert werden konnten, um das Formalin auszuwaschen.

Im Anschluss daran wurden die Knochen in einer 10 %igen Salpetersäure vier bis sechs Tage entmineralisiert. Der Zustand der Demineralisation wurde in regelmäßigen Abständen eingeschätzt, indem die Leichtigkeit, mit der man die Kortikalis mittels eines Skalpells bearbeiten konnte, geprüft wurde.

Nach erneuter Wässerung mit Aqua dest. zur Ausspülung der Säurebestandteile konnte mit der Präparation begonnen werden. Hierbei wurde zunächst die bukkale kortikale Knochenschicht mit Hilfe eines Skalpells entfernt.

Mit einer feinen Pinzette wurde vom Foramen mentale ausgehend zunächst in posteriorer Richtung durch vorsichtiges Entfernen des spongiösen Knochens der Nervus alveolaris inferior retrograd auf etwa zwei Drittel seines Verlaufs zum Foramen mandibulare dargestellt. Das posteriore Drittel wurde unpräpariert gelassen, um eine ausreichende Stabilität der durch die Entmineralisierung erweichten Unterkieferhälften zu gewährleisten. Im Anschluss daran wurde wiederum vom Foramen mentale ausgehend nach anterior der inzisale Ast des Alveolarnervs mit seinen feinen Seitenästen, die sich bis zu den Wurzelspitzen und parodontalen Regionen erstrecken, so weit wie möglich präparatorisch freigelegt.

Es wurden Überlegungen angestellt, das feine Nervengeflecht mit Hilfe einer Nervenfärbung deutlicher hervorzuheben, was die Präparation vereinfachen sollte. Hierfür wurden zwei Färbemethoden ausgewählt und jeweils zwei Kieferhälften mit Methylenblau bzw. Kupfervitriol angefärbt.

Für die Methylenblaufärbung wurden die Präparate zunächst gewässert und dann zwei bis drei Stunden in 1%ige Ameisensäure gelegt, um das spätere Eindringen der Farbe bis tief in das Gewebe zu erleichtern. Anschließend kamen die Knochen in eine 1%ige Lösung von Eisenvitriol, wo sie 15 Stunden belassen wurden. Nach erneuter Wässerung wurden sie in eine gesättigte Lösung von Methylenblau gegeben. Nach etwa zwei bis drei Stunden tritt die Färbung auf, die nach etwa 15 Stunden ihr Maximum erreicht.

Bei der Färbung mit Kupfervitriol wurden die Präparate nach drei- bis vierstündiger Lagerung in einer 1%igen Lösung aus Essigsäure und Chloralhydrat 10-12 Stunden in eine 1%ige wässrige Lösung von Kupfervitriol getaucht und schließlich so lange mit einer 0,25%igen Lösung von Ferrocyankalium reduziert, bis die Färbung spätestens nach drei bis fünf Stunden eintrat.

Im Anschluss an die Färbung wurde in beiden Fällen mit der Präparation fortgefahren, um festzustellen, ob feinere Nervenäste nun besser freigelegt werden können.

Da jedoch mit keiner der beiden Färbemethoden nennenswerte Verbesserungen in der Darstellung des Nervengewebes zu beobachten waren, wurde bei den übrigen Präparaten auf diesen Schritt verzichtet.

Nach Beendigung der Präparation wurden die Ergebnisse mit einer Digitalkamera dokumentiert.

Der Nervus incisivus wurde hinsichtlich seines Verlaufs und seiner Morphologie untersucht.

Des Weiteren wurde der Durchmesser der Nervenfasern an vier verschiedenen Stellen, nämlich direkt an seinem Ursprung hinter dem anterioren Loop des Nervus mentalis, sowie in weiterem Abstand von 5, 10 und 15 mm gemessen.

3. Ergebnisse

3.1 Verlaufsform

Bei der Untersuchung der 16 Unterkieferhälften ergaben sich mehrere unterschiedliche Verlaufsmuster des Nervus incisivus, sodass der Nerv eine mehr oder weniger starke Krümmung aufwies.

3.1a Abgeknickter Verlauf

In sechs Fällen (37,5%) zeigte der Verlauf des Nervs eine eher abgeknickte Form (Abb. 1). Dabei beschrieb er in fünf von sechs Kieferhälften zunächst eine leichte Abwärtskurve, um schließlich nach etwa der Hälfte des Weges, ungefähr auf der Höhe des Eckzahnes, die Richtung zu wechseln und relativ stark aufwärts in Richtung der Wurzelspitzen der Schneidezähne zu verlaufen.

Im sechsten Fall fand der leichte Abwärtsverlauf zu Beginn gar nicht statt, sondern der Nerv verlief anterior des Foramen mentale zwei bis drei mm gerade, um danach direkt anzusteigen (Abb. 3).

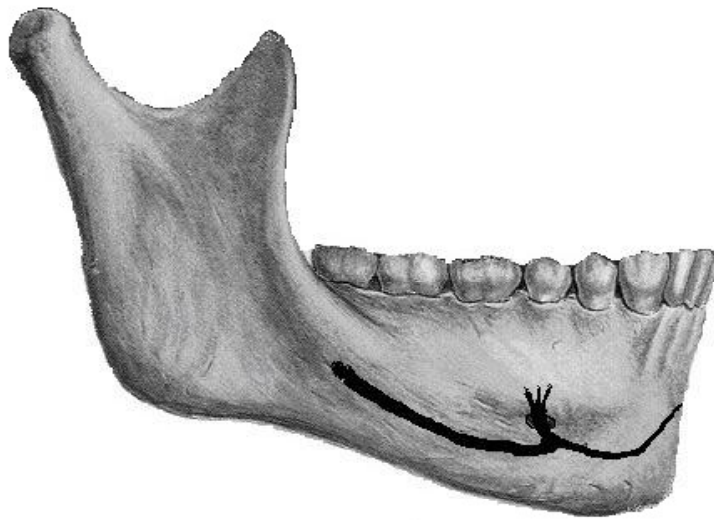


Abb. 1: Abgeknickter Verlauf des Nervus incisivus, schematische Darstellung

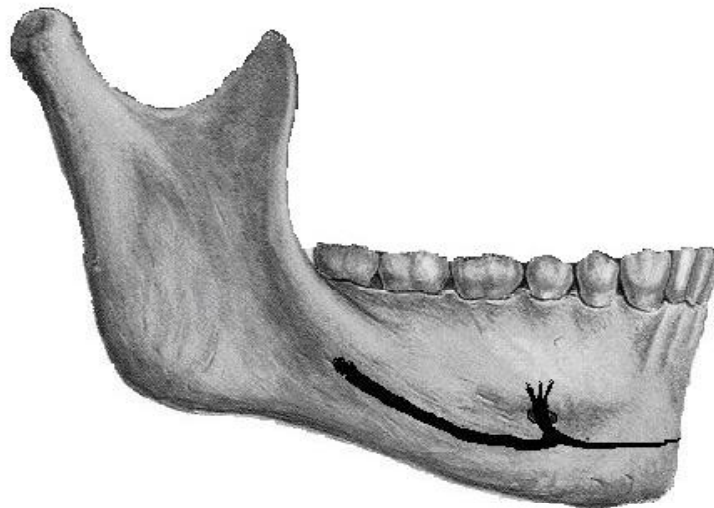


Abb. 2: Gerader Verlauf des Nervus incisivus, schematische Darstellung
3.1b Gerader Verlauf

Sieben der 16 Unterkieferhälften (43,75%) wiesen eine eher schwach gekrümmte Verlaufsform des Nervus incisivus auf (Abb. 2).

Dabei beschrieb der Nerv in drei Fällen eine leichte Kurve mit bereits oben beschriebener Abwärtsbewegung und anschließendem Richtungswechsel in eine leichte Aufwärtsbewegung wiederum auf der Höhe des Eckzahnes.

In einem Fall verlief der Nerv gänzlich abwärts und in drei Fällen blieb er über die gesamte Strecke auf dem gleichen Niveau, ohne eine Krümmung aufzuweisen (Abb. 4).

So befand sich in fünf der Fälle der am weitesten anterior darstellbare Anteil der Nervenfasern, bezogen auf den Abstand zur Unterkieferbasis, etwa auf der gleichen Höhe wie das Foramen mentale. In den übrigen zwei Fällen erreichten die Nerven die Kinnregion etwas unterhalb des Foramens.



Abb. 3: Abgeknickter Verlauf des Nervus incisivus mit Nervus alveolaris inferior (1), Nervus mentalis (2), Nervus incisivus (3), Fasern zu den Zähnen (4)

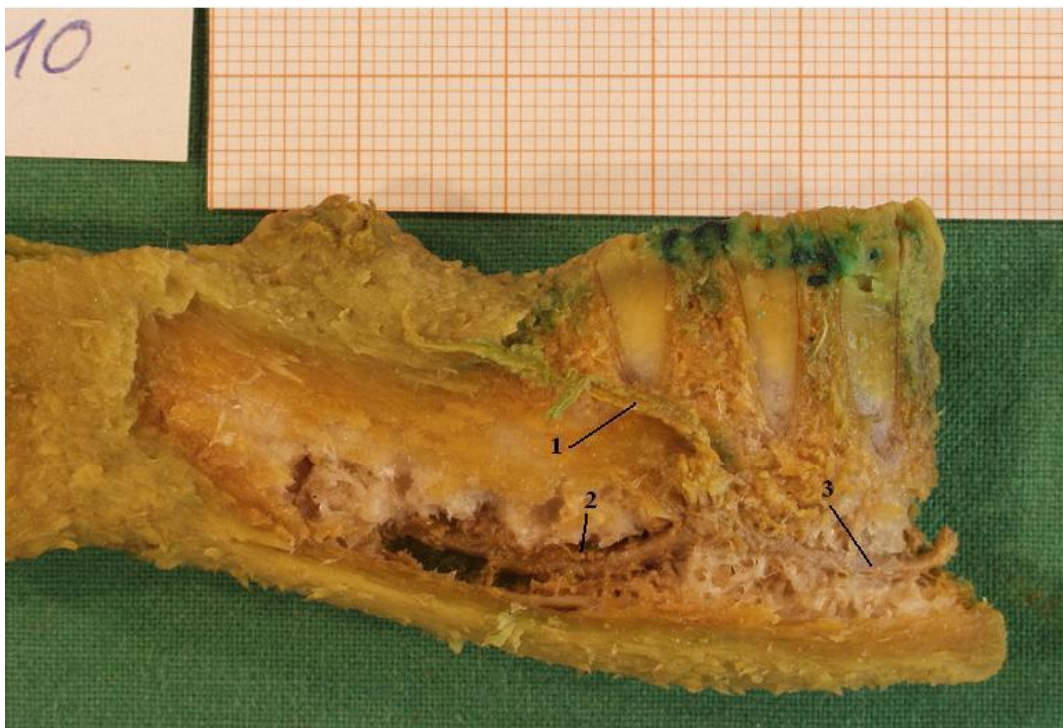


Abb. 4: Gerader Verlauf des Nervus incisivus mit Nervus alveolaris inferior (2), Nervus mentalis (1), Nervus incisivus (3)

3.1c Sonderform

Die übrigen drei Unterkieferhälften ließen sich nicht einer der beiden oben beschriebenen Gruppen zuordnen. Vielmehr stellten sie eine Sonder- bzw. Mischform dar.

In einem Fall zeigten die Nervenfasern zunächst einen eher geraden Verlauf. Auf Höhe des Eckzahnes jedoch teilten sie sich in einen oberen und einen unteren Ast auf. Der obere Ast zeigte die unter 3.1a beschriebene starke Aufwärtskurve, wohingegen der untere Ast leicht abwärts verlief und, bezogen auf die Distanz zur Unterkieferbasis, etwas unterhalb des Foramen mentale die Kinnregion erreichte.

Im zweiten Fall konnte der Verlauf des Nervs mit einem „S“ verglichen werden. Auf der ersten Hälfte seiner Strecke vom Foramen mentale zur Symphysenregion beschrieb er eine leichte Abwärtskurve, die knapp bis mesial des Eckzahnes reichte, wohingegen er die Strecke im Seitenzahnbereich in Form einer Aufwärtskurve zurücklegte.

Im dritten Fall verlief der Nerv zwei Drittel seiner Strecke gerade. Distal des seitlichen Schneidezahns teilte er sich in zwei Äste, von denen der dickere Ast stark abknickte und steil in Richtung der Wurzelspitze verlief. Nach einem erneuten scharfen Richtungswechsel vereinigte er sich wieder mit dem dünneren Ast, der seinen geraden Verlauf beibehalten hatte, um wieder als ein Strang zur Kinnregion zu ziehen.

3.2 Verzweigungsmuster

In seinem Verlauf gab der Nervus incisivus nahezu senkrecht Äste ab, die jeweils zwischen den Wurzeln der Zähne in zervikaler Richtung verliefen und in den Knochensepten zwischen den Zähnen endeten. Feinere Fasern verließen ebenfalls den Hauptstrang, um an der Wurzelspitze in die Zähne einzutreten. Diese feinen Fasern waren in den zahnlosen Kieferhälften nicht mehr aufzufinden, wohingegen die Nervenäste zwischen den nun nicht mehr vorhandenen Zähnen noch beobachtet werden konnten.

Auffällig war, dass in vier Fällen einige dieser interdentalen Nervenfasern in ihrem Verlauf ein ausgeprägtes plexusartiges Netzwerk ausbildeten (Abb. 5).

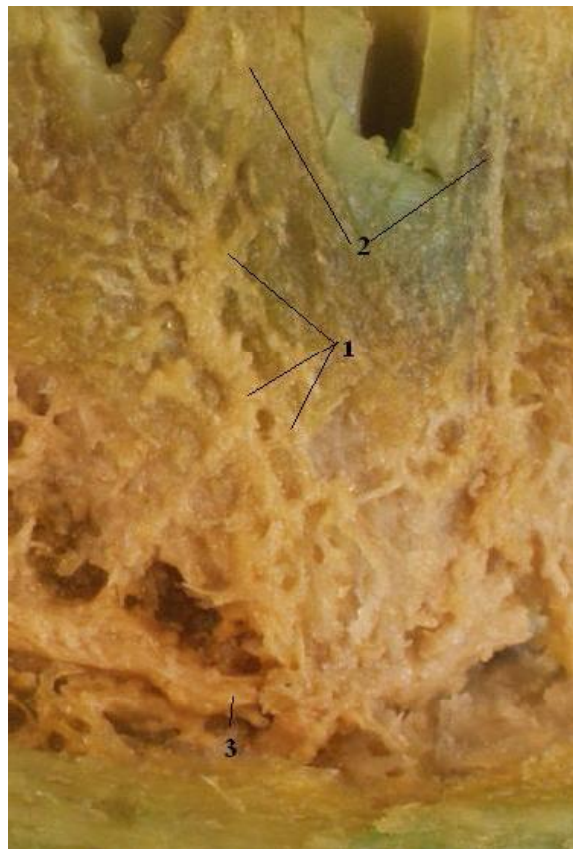


Abb. 5: Ausgeprägtes Netzwerk von Nervenfasern (1), das in interdentalen Fasern (2) endet; unten verläuft der Nervus incisivus (3)

3.3 Durchmesser des Nervus incisivus

Die Auswertung der Messungen des Durchmessers des Nervus incisivus an vier verschiedenen Stellen, beginnend am Foramen mentale und jeweils in einem Abstand von fünf mm in anteriore Richtung, zeigte, dass sich das Nervenbündel in seinem Verlauf zur Symphysenregion stetig verjüngt.

Unmittelbar nach der anterioren Schleife des Nervus mentalis betrug der Durchmesser im Mittel 2,14 mm, wobei der niedrigste Wert bei 1,58 mm und der höchste bei 3,15 mm lag.

Nach fünf mm wurde eine durchschnittliche Dicke der Nervenfasern von 1,43 mm bei einer Größenordnung von 0,92 mm bis 1,96 mm beobachtet, nach zehn mm lagen die Ergebnisse in einem Rahmen von 0,67 mm und 1,38 mm, was zu einem Mittelwert von 1,05 mm führte. Fünfzehn mm entfernt von seinem Ursprung lag der mittlere Durchmesser bei 0,85 mm in einem Bereich von 0,45 mm bis 1,56 mm. Die Ergebnisse der Vermessung sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2:

Durchmesser des Nervus incisivus

Präparat	Abstand 0mm	Abstand 5mm	Abstand 10mm	Abstand 15mm
1	1,95	1,04	0,96	0,68
2	2,23	1,3	0,78	0,69
3	1,88	1,64	1,27	0,93
4	1,88	1,59	1,19	0,5
5	1,75	1,13	0,81	0,55
6	1,75	1,18	0,67	0,45
7	2,78	1,66	0,97	1,04
8	2,23	1,41	1,14	0,8
9	1,58	1,16	0,81	0,61
10	2,12	1,25	1,33	1,26
11	2,15	1,96	1,12	1,22
12	3,15	1,86	1,02	0,94
13	1,74	0,92	1	1,56
14	2,14	1,87	1,38	0,85
15	2,67	1,64	1,28	1,01
16	2,22	1,34	1,06	0,56
Mittelwert	2,14	1,43	1,05	0,85
Standardabweichung	0,41	0,31	0,20	0,30

Die Untersuchung der vier vollständigen Unterkiefer ergab eine eher abgelenkte Verlaufsform des Nervus incisivus.

Sehr gut zu erkennen waren sowohl in den bezahnten als auch in den unbezahnten Kiefern die zwischen den Zahnwurzeln verlaufenden Nervenfasern (Abb. 6).

Ebenso deutlich erkennbar waren in den bezahnten Präparaten die feinen Nervenfasern, die über die Wurzelspitzen in die einzelnen Zähne eintraten, um diese zu innervieren.

Die oben beschriebenen starken netzwerkartigen Verzweigungen der Nervenäste konnten in keinem der Fälle beobachtet werden.

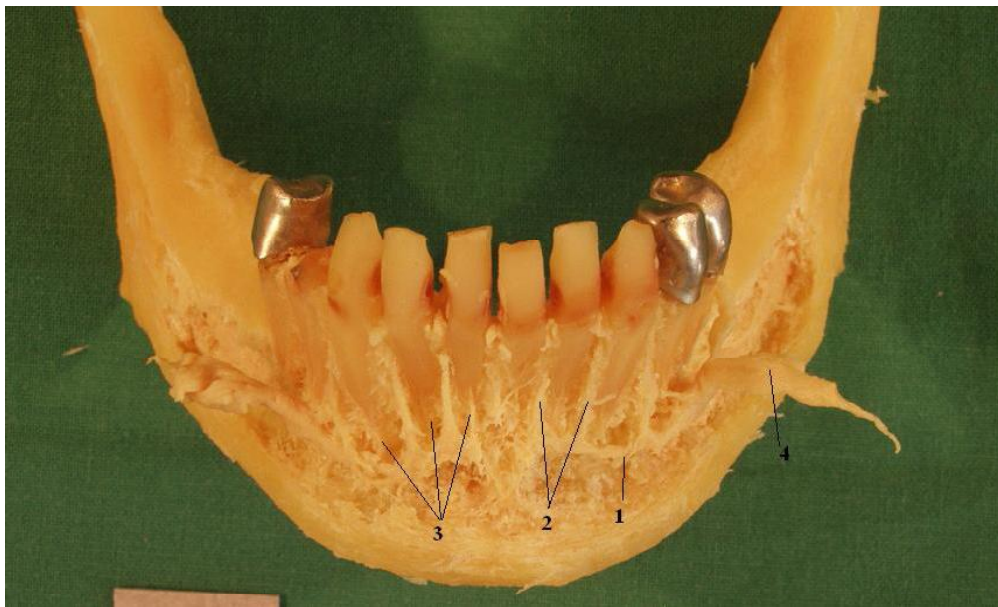


Abb. 6: Unterkiefer- Gesamtansicht mit Nervus incisivus (1), interdentalen (2) und dentalen Fasern (3), sowie Nervus mentalis (4)

4. Diskussion

Die neurovaskuläre Versorgung des Unterkiefers, vor allem in der Region zwischen dem Eintrittspunkt des Nervus alveolaris inferior in den Knochen am Foramen mandibulare und dem Austrittspunkt des Nervus mentalis am Foramen mentale, ist schon vielseitig untersucht worden. Über die neurovaskuläre Versorgung im anterioren Bereich der Mandibula herrscht jedoch noch Uneinigkeit. Die erste große Studie über den Nervus alveolaris inferior wurde von Olivier (23) durchgeführt und basierte auf der Untersuchung von 50 Unterkiefern Erwachsener. Abhängig vom Arrangement des Hauptstammes des Nervus alveolaris inferior unterschied er zwei Typen.

Typ I lag in 66 % seiner Präparate vor und zeigte den Nerv, wie er als ein einzelnes Bündel zum Foramen mentale verlief, wo er sich in seine Endäste aufteilte. Bei diesem Typ beobachtete er auch, dass sich die Nervenfasern, die zu den Wurzeln der Zähne liefen, etwas posterior der Wurzeln vom Hauptstrang abspalteten.

Bei Typ II, der in 34 % der Fälle auftrat, teilte sich der Nerv kurz nach seinem Eintritt in den Kanal in einen größeren mentalen Ast, der durch das Foramen mentale austrat, ohne Äste abzugeben, und einen kleineren dentalen Ast, der sich weiter nach anterior erstreckte, einen Plexus bildete und die Zähne versorgte. Olivier fand weiterhin heraus, dass diese inzisalen Fasern durch spongiöses Gewebe verliefen und weder von Bindegewebe noch von einer knöchernen Schicht umgeben waren. Dabei nahmen sie, wie er bemerkte, eine von drei verschiedenen Verlaufsrichtungen. Entweder liefen sie direkt aufwärts und vorwärts zum mittleren Schneidezahn oder sie liefen erst horizontal, um dann scharf aufwärts zum mittleren Schneidezahn abzubiegen. Beim dritten Verlaufsmuster liefen sie auf dem Weg nach anterior zunächst ein Stück abwärts zum Unterkieferunterrand, um dann wieder aufwärts ebenfalls zum mittleren Schneidezahn abzubiegen.

Diese Verlaufsformen sind auch in der vorliegenden Studie erkennbar. So lassen sich acht der beobachteten Fälle dem hier beschriebenen dritten Verlaufsmuster zuordnen. In einem Fall ist der Verlauf mit dem ersten Muster und in zwei weiteren Fällen mit dem zweiten Verlaufsmuster vergleichbar. Die übrigen Präparate lassen sich in keine der genannten Gruppen einordnen.

Starkie und Stewart (34) beobachteten, dass sich der Nerv unmittelbar nach seinem Eintritt in den Mandibularkanal in verschiedene Äste aufteilte, von denen einer etwas separat von den anderen in einer plexiformen Weise nach anterior verlief und dabei Fasern an die Molaren, Prämolaren und möglicherweise auch an die Eckzähne abgab. Auf Höhe des zweiten Prämolaren teilte er sich in interne und externe Äste. Der interne Ast vereinigte sich wieder mit dem Hauptstrang, während der äußere Ast weiter nach anterior verlief und zur Innervation der Schneidezähne Teile des Plexus incisivus bildete. Die übrigen drei oder vier Äste vereinigten sich wieder nach einem kurzen Stück, teilten sich erneut und liefen wieder zusammen, sodass am Foramen mentale etwa 15 Äste entstanden waren. Dort verließ der Großteil der Äste, umgeben von einer Hülle, den Unterkiefer als Nervus mentalis. Die übrigen Äste vereinigten sich mit dem oben beschriebenen externen Ast und bildeten den inzisalen Plexus. In den hinteren zwei Dritteln war das neurovaskuläre Bündel von einer kompakten Knochenschicht und einer derben Bindegewebsschicht umgeben. Weiter anterior verschwand die knöcherne Hülle, das Bindegewebe war jedoch noch vorhanden. Erst die feinen Fasern schienen komplett ohne Hülle zu sein.

Eine detaillierte Studie der morphologischen Gegebenheiten der nervalen Versorgung wurde von Carter und Keen (5) durchgeführt. Bei der Untersuchung von acht Unterkiefern beschrieben sie drei verschiedenen Verlaufstypen des Nervus alveolaris inferior. Beim Typ I verlief der Nerv als eine einzelne große Struktur nahe der Molarenwurzelspitzen zum Foramen mentale. Er endete in

einer mentalen Verzweigung mit Ausläufern, die den inzisalen Nervenplexus bildeten.

In Typ II war der Nervus alveolaris inferior im Wesentlichen weiter basal im Unterkiefer lokalisiert, mit schräg angeordneten dentalen Ästen.

In Typ III verzweigte sich der Nerv früh und gab im posterioren Bereich zwei große Äste ab, die die Molaren und Prämolaren versorgten, wohingegen sich der Hauptast in einer weiter inferioren Position im Unterkiefer als in den ersten beiden Typen nach vorne erstreckte, um die Eck- und Schneidezahnregion zu innervieren.

Ein extensives Netzwerk untereinander kommunizierender Äste wurde bei allen Typen beobachtet.

Ebenso wurden Verbindungen zu Ästen des Nervus mylohyoideus beschrieben. Ähnliche Beobachtungen hinsichtlich eines ausgedehnten Netzwerks feiner Nervenfasern machten Zoud et. al. (39). Hier wird der Nervus alveolaris inferior nicht als ein dicker Nervenstrang, sondern als ein sich innerhalb des Kanals immer wieder verästelndes Nervengeflecht beschrieben. Ein zweites Nervengeflecht befindet sich zwischen dem Mandibularkanal und den Wurzelspitzen der Zähne, das mit feinen Fasern die einzelnen Zähne innerviert. Auch in der vorliegenden Studie zeigte sich in 4 Fällen ein ausgeprägtes plexusartiges Netzwerk von Nervenfasern, das dem Nervus incisivus entspringt. Der Nervus incisivus selber erschien hier aber eher als ein Nervenstrang, nicht als ein Plexus.

Eine Studie von Wadu (36) ergab eine genauere Beschreibung der Morphologie des Nervus alveolaris inferior. Dabei wurden 29 menschliche Unterkiefer präpariert mit besonderer Aufmerksamkeit auf der anatomischen Darstellung der Eck- und Schneidezahnregion.

In allen Fällen teilte sich der Hauptnerv während seines kurvenartigen Verlaufs in der Molarenregion in einen mentalen und inzisalen Ast. Am Foramen mentale trat der größere Ast als Nervus mentalis aus. Der inzisale Ast setzte sich in einer

zweiten leichten Abwärtskurve Richtung Eck- und Schneidezähne fort. Der Eckzahn wurde durch einen Ast aus dem absteigenden Teil des Inzisalnervs versorgt, während sich die Äste für die Schneidezähne nach dem Richtungswechsel aus dem aufsteigenden Teil des Nervs abspalteten. Bei zahnlosen Kiefern zeigte sich eine deutliche Größenabnahme des Nervbündels im Gegensatz zu bezahnten Kiefern.

Diese verschiedenen Untersuchungen belegen, dass in fast allen Unterkiefern ein inzisales Nervengewebe vorzufinden war, dessen Auftreten als typisch und nicht als seltene anatomische Variation angesehen werden kann. Es wurden jedoch keine Messungen durchgeführt.

Daher untersuchte De Andrade (6) an 12 Unterkiefern die intraossäre Verteilung des inzisalen Nervengewebes und seine bukkolinguale und apikalkoronale Lokalisation im anterioren Unterkieferbereich. Dabei bestimmte er eine durchschnittliche Länge des Nervus incisivus bis zur Mittellinie von 20,58 mm auf der rechten Seite und 21,45 mm auf der linken, sodass nur ein 4-8 mm breites Band nicht innerviert wurde, wobei der Nervenstrang maximal 14 mm und minimal 7 mm vom Unterrand des Unterkiefers entfernt war. Das inzisale Nervengewebe war 7-8 mm vom Apex des seitlichen Schneidezahns und 5-6 mm von dem des Eckzahns lokalisiert. Den Bereich unterhalb der mittleren Schneidezähne erreichte es nicht. Des Weiteren war es ca. 2,67 mm rechts und 2,64 mm links von der bukkalen Platte des Unterkiefers entfernt.

Auch Narayana (20) ermittelte an 26 Unterkieferhälften unter Anderem den Abstand des inzisalen Nervenstranges zum Unterkieferunterrand. Seine Messwerte waren sogar größer als die De Andrades. Es ergab sich auf Höhe des Eckzahnes ein durchschnittlicher Abstand von $14,1 \pm 3,09$ mm, am seitlichen Schneidezahn von $16,3 \pm 4,24$ mm und im Bereich des mittleren Schneidezahnes von $15,0 \pm 3,56$ mm. Der Autor kommt jedoch zu dem Schluss,

dass der Verlauf, den der Nervenstrang einschlägt, in Abhängigkeit zu den Außenbegrenzungen des Unterkiefers nicht innerhalb eines definierten Gebietes verallgemeinert werden kann, sondern von Individuum zu Individuum variiert. Jedoch liegt eine bilaterale Symmetrie vor. Bildlich betrachtet ergäben diese Werte eine Verlaufsform, die dem oben genannten zweiten Verlaufsmuster entspräche. Die Lokalisation des Nervenstranges bzw. des Nervkanals im Bezug auf die Wurzelspitzen betreffend, beobachtete Obradovic (21) sogar größere Distanzen als De Andrade. In 105 untersuchten Unterkieferpräparaten lag in bezahnten Unterkiefern die Wurzelspitze des ersten Prämolaren dem inzisalen Kanal am nächsten, manchmal sogar in direktem Kontakt zur Kanalwand, im Durchschnitt jedoch etwa 12,5 mm entfernt. Gewöhnlich war die am weitesten entfernte Wurzelspitze die des seitlichen Schneidezahns mit durchschnittlich etwa 14,5 mm Abstand. Im Großen und Ganzen war der Inzisalkanal eher lingual lokalisiert als bukkal. Bei zahnlosen Kiefern war dies nicht so auffällig.

Die vorliegende Studie gibt Auskunft über die Ausmaße des inzisalen Nervenbündels. Bestimmt wurde der Durchmesser des Nervenstranges an vier verschiedenen Stellen. Der Beginn des Nervus incisalis wurde am Foramen mentale (0 mm) gemessen und an drei weiteren Punkten jeweils in einem Abstand von fünf mm. Am Ursprung betrug der durchschnittliche Durchmesser $2,14 \pm 0,41$ mm. Ähnliche Werte finden sich auch in den Untersuchungen von Mardinger (2,09 mm) und Mraiwa (1,9 mm) (15, 19). In seinem weiteren Verlauf nach anterior verjüngte sich der Nerv immer weiter auf $1,43 \pm 0,31$ mm nach 5 mm, $1,05 \pm 0,2$ mm nach 10 mm und $0,85 \pm 0,30$ mm nach 15 mm.

Uchida (35) erhielt in seinen Vermessungen des Nervus incisivus insgesamt höhere Werte bezüglich des Durchmessers. Er notierte durchschnittliche Werte von 3,1 mm Dicke am Ursprung und 1,7 mm in 5 mm Entfernung dazu. Es lagen sogar Fälle mit einem Nervdurchmesser von 6 mm am Ursprung bzw. 5 mm

nach einem Abstand von 4 mm vor. Weitere Vergleiche können nicht gezogen werden, da in früheren Studien keine Messdaten in einer größeren Entfernung vom Foramen mentale als 5 mm erhoben wurden. Jedoch bestätigen alle, dass der Durchmesser des Nervenstranges mit zunehmendem Abstand vom Ursprung geringer wird (19, 35).

Da es sich gezeigt hat, dass teilweise beträchtliche Unterschiede in der Ausdehnung des inzisalen Nervenbündels vorliegen können, muss sich der Operateur vor chirurgischen Eingriffen, wie zum Beispiel einer Implantation, unbedingt mit den anatomischen Gegebenheiten vertraut machen, um Schädigungen des Nerven zu vermeiden. Liegt ein dicker Inzisalnerv vor, muss der Patient über das potentielle Risiko postoperativer Beschwerden aufgeklärt werden. Nicht nur, dass es zu Sensibilitätsstörungen oder Schmerzen kommen kann, es wird auch angenommen, dass die Osseointegration eines Implantats, das in einen breiten Inzisalkanal gesetzt wurde, gestört ist. Es könnte auch Weichgewebe entlang des Implantats einwandern, was ebenfalls zum Misserfolg führen kann. Dies wurde beobachtet, wenn Implantate in Kontakt mit dem Canalis incialis im Oberkiefer gesetzt wurden (30).

Beschreibungen des intraossären Verlaufs des neurovaskulären Bündels in der Mandibula beruhen nicht nur auf Präparationen menschlicher Unterkiefer, sondern auch auf nicht-invasiven Untersuchungen mittels bildgebender Verfahren.

In ihrer Studie zur Bestimmung des anatomischen und radiologischen Verlaufs des Canalis incisivus fertigten Mardinger et al. (15) im Vorfeld ihrer Präparation von 46 Unterkieferhälften Röntgenbilder der Region zwischen dem Foramen mentale und der Mittellinie an, die denen periapikaler Aufnahmen ähneln. Diese wurden dann hinsichtlich der Sichtbarkeit der Kanalwände nach folgenden Kriterien ausgewertet: klar definierte kortikale Begrenzung, schwach definierte,

nicht kortikale Begrenzung oder diffuse Begrenzung. Dabei zeigte sich, dass in 24 % der Fälle der Kanal klar definiert und kortikal begrenzt wurde. In 32 % wurde die radiologische Begrenzung als diffus beurteilt. In den verbleibenden 44% der Präparate war der inzisale Kanal nicht sichtbar. In der anatomischen Untersuchung hingegen wurde ein solcher Kanal in allen Fällen gefunden. Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der anatomischen Struktur der Kanalwände und ihrer radiologischen Feststellbarkeit.

Die Tatsache, dass Orthopantomogramme für die Beurteilung anatomischer Strukturen oder pathologischer Veränderungen an Zähnen, Kieferknochen oder –gelenken weit verbreitet sind, nutzten Jacobs et al. (11) , um die Sichtbarkeit des Canalis incisivus auf dieser Art von Röntgenaufnahmen zu untersuchen. Die Aufnahmen von 545 Patienten wurden anhand einer Vier-Punkte-Skala bewertet: gute, mäßige, schwache oder keine Sichtbarkeit des Canalis incisivus. Dabei konnte in 15 % der Fälle ein inzisaler Kanal identifiziert werden, von denen jedoch nur 1,3 % gut sichtbar waren. Auch hier spielte der Grad der Kortikalisierung der Kanalwände eine wichtige Rolle. Die Abhängigkeit der röntgenologischen Darstellung des Nervkanals von der Beschaffenheit seiner Kanalwände bestätigt Wadu in seinen Untersuchungen. Er bemerkte, dass eine Kanalwand, bestehend aus kleinen, eher gleichförmigen Knochen trabekeln, als eine durchgehend radioopake Linie auf Röntgenbildern zu erkennen ist, wohingegen sich eher größere und zufällig angeordnete Trabekel als undeutliche Begrenzung darstellen oder gar nicht erkennbar sind (36). Alter und Geschlecht hatten keinen Effekt auf die Sichtbarkeit.

In einer weiteren Studie gelang es im Allgemeinen nicht, einen inzisalen Kanal auf intraoralen Röntgenaufnahmen darzustellen (19). Erst durch Zuhilfenahme von kieferorthopädischem Draht oder Kontrastmittel konnte der Verlauf des Kanals in 80 % der Fälle dargestellt werden. Auf Orthopantomogrammen zeigte sich der Kanal in 50 % der Fälle als eine Verlängerung des Mandibularkanals. Mittels spiraliger Computertomographie jedoch wurden sehr gute Ergebnisse

erreicht. In 96 % der Fälle wurde der inzisale Kanal dargestellt, 50 % gut, 41 % mäßig und 5 % schlecht sichtbar. Noch bessere Ergebnisse in der Visualisierung des knöchernen Kanals des Nervus incisivus lieferten die Auswertungen von 230 CT- Aufnahmen, die für die präoperative Planung von Implantaten angefertigt worden waren (12). Hier konnte der inzisale Kanal in 93 % der Fälle identifiziert werden, mit einer guten Sichtbarkeit von 22 % und einer moderaten von 48%.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass es bei der Auswertung von Orthopantomogrammen zu Missinterpretationen bezüglich der Größe, aber auch dem tatsächlichen Vorhandensein bestimmter anatomischer Strukturen kommen kann. Bavitz (4) stellte bei der röntgenologischen Untersuchung der anterioren Schleife des Nervus mentalis fest, dass die Röntgenbilder sehr häufig auf eine größere Ausdehnung hindeuteten, als es sich bei der Präparation der Unterkiefer zeigte. Eine Studie von Mardinger (16) ergab in einigen Fällen falsch-positive Ergebnisse. So stellten einige Aufnahmen eine anteriore Schleife dar, die sich anatomisch nicht nachweisen ließ.

Alles in Allem lässt sich sagen, dass die Möglichkeiten, den inzisalen Kanal auf konventionellen Röntgenaufnahmen zu erkennen, sehr begrenzt sind, da solche Aufnahmen ungenau sind oder diesen Kanal oft gar nicht erst darstellen. Des Weiteren handelt es sich hierbei um zwei-dimensionale Abbildungen, die daher zum Beispiel über die bucco-linguale Position des Nervengewebes keine Auskunft geben können. Limitierende Faktoren sind nicht nur in der technischen Durchführung dieser Aufnahmen zu finden, sondern hängen ebenso von der Erfahrung des Betrachters ab.

Es hat sich gezeigt, dass konventionelle Tomographie und Computertomographie auf Grund ihrer drei-dimensionalen Darstellung eine bessere Alternative für die präoperative Einschätzung potentieller Implantationsgebiete darstellt. Deshalb wird eine Anfertigung und genaueste

Betrachtung von Querschnittsbildern im Vorfeld von chirurgischen Eingriffen empfohlen, um potentielle Komplikationen während ihrer Durchführung zu verhindern.

Eine mögliche Folge der Nervtraumatisierung besteht in Sensibilitätsstörungen. Sensibilitätsstörungen sind wohlbekannte Komplikationen nach chirurgischen Eingriffen in der Mund-, Kiefer- und Gesichtsregion und wurden nach Traumata, Weisheitszahnentfernung, Vestibuloplastiken oder auch Knochenaugmentation beobachtet und untersucht. Sie können aber auch noch andere Ursachen haben, wie zum Beispiel Druck der Prothese auf den Nerv bei starkem Knochenabbau, Überdehnung des Nervs bei Implantation, Druck durch Ödeme oder Hämatome nach einer Implantation oder Schädigung des Nervs.

Wismeijer et al. (38) untersuchten das Auftreten veränderter Empfindungen vor und nach einer implantologischen Behandlung. Dafür wurden 110 Patienten mittels Fragebögen vor dem chirurgischen Eingriff, nach der Implantation und weitere 16 Monate später zum Sitz ihres alten bzw. neuen Zahnersatzes, sowie zu möglichen Sensibilitätsstörungen in der Unterlippe und der Entwicklung dieser Beschwerden vor und nach dem Eingriff befragt. Während der Behandlung wurden nach Darstellung des Foramen mentale in allen Fällen die Implantate in einem Abstand von mindestens 3 mm anterior dieser Struktur gesetzt.

Die Auswertung der Befragungen ergab, dass 11% der Patienten über postoperative Beschwerden berichteten, die bei 10% auch noch 16 Monate später vorlagen. Von diesen 10% klagten jedoch 3% schon vor dem Eingriff über Sensibilitätsstörungen. Aus diesen Ergebnissen schließen die Autoren, dass sich in 7% der Fälle trotz eines Sicherheitsabstandes von 3 mm zum Foramen mentale Missempfindungen entwickelt haben, was eine ernst zu nehmende Komplikation darstellt. Dies zeigt die Notwendigkeit einer adäquaten Aufklärung im Vorfeld eines solchen Eingriffs.

Um postoperative Beschwerden solcher Art zu vermeiden, hat Misch eine Sicherheitszone für eine gefahrlose enossale Implantation bestimmt (17). Auf 530 Panoramaröntgenbildern zeichnete er eine Tangente A an der Grenze des Alveolarkamms. Dazu legte er eine Parallele B am höchsten Punkt des Foramen mentale an. Eine Linie C verläuft rechtwinklig zu A und B durch die Mitte des ersten großen Backenzahnes. Mesial dieser Linie C fand er zu 100 % eine sichere Zone für Implantatinsertionen. Im Allgemeinen verlief der Nerv zwei mm oder weiter entfernt unterhalb der Linie B. Diesen Bereich beschrieb Misch als eine Grauzone, die dem Chirurgen weitere zwei mm der Sicherheit gibt. Je weiter man sich aber distal der Linie C befindet, desto größer wird die Gefahr einer Nervenverletzung, da sich der Nerv der Linie B immer weiter nähert oder sie sogar schneiden kann.

Diese Auswertungen beziehen sich zwar auf den posterioren Bereich der Mandibula, jedoch hat Misch im Rahmen seiner Untersuchungen mesial des Foramen eine anteriore Schleife des Nervus mentalis auf 12 % seiner Aufnahmen entdeckt. Diese Schleife hatte eine durchschnittliche Ausdehnung von fünf mm. Der von Wismeijer genannte Sicherheitsabstand von drei mm ist möglicherweise nicht ausreichend, um eine Verletzung des Nerven und damit einhergehende Sensibilitätsstörungen in der Unterlippe zu vermeiden.

Aus diesen Gründen erfolgten mehrere Untersuchungen zur Ausdehnung des anterioren Loops. Ausgehend von der Präparation und Vermessung von 48 Unterkieferhälften bestimmte Bavitz (4) eine maximale Ausdehnung der Mentalisschleife von 1 mm. Seiner Ansicht nach kann der Implantateur gefahrlos arbeiten, wenn er diesen Abstand zum Foramen mentale einhält. Zu diesem Ergebnis kommt auch Rosenquist (30). Die Auswertung der Röntgenbilder, die Bavitz zusätzlich noch gemacht hatte, ergab jedoch eine größere Ausdehnung von etwa drei mm im Durchschnitt. Aufgrund dieser ungenauen Wiedergabe der klinischen Verhältnisse, schlägt er vor, den Nerv intraoperativ darzustellen.

Einen Sicherheitsabstand von einem mm hält Mardinger für zu gering (16). Seine Vermessungen an 46 Präparaten ergaben eine Ausdehnung der mentalen Schleife von 0,4 – 2,19 mm, weswegen er einen Abstand von mindestens 3 mm für angemessener hält. Allerdings sind auch extreme Fälle mit einem Ausmaß von 6,95 mm beschrieben worden (2).

Auch Kohavi und Bar-Ziv berichten von einem Fall postoperativer Beschwerden. Ein 68 – jähriger Patient klagte über starke Schmerzen im Bereich der anterioren Mandibula, die sich bei leichter Berührung der Kinnregion sogar noch verstärkten. Die Beschwerden begannen nach der Insertion zweier Implantate in den zahnlosen Unterkiefer auf Höhe der lateralen Schneidezähne und waren nach der Verschraubung der Abutments noch stärker ausgeprägt. Auf den zur näheren Untersuchung angefertigten CT-Schnitten zeigte sich deutlich der intraossäre Verlauf des Nervus alveolaris inferior auf beiden Seiten des Kiefers. Auch anterior des Foramen mentale setzte sich der Kanal als eine deutlich erkennbare, von Kortikalis umgebene Struktur fort, bis er schließlich sowohl links als auch rechts von den Implantaten unterbrochen wurde. Auch ein transaxialer Schnitt zeigte einen deutlichen Kanal distal der Implantate. Die Implantate waren also durch das Lumen des Nervenkanals gesetzt worden, und sechs Monate nach ihrer Entfernung durch den behandelnden Zahnarzt berichtete der Patient über eine Besserung der Sensibilitätsstörungen (13).

Ein weiterer Grund für Sensibilitätsstörungen können die Folgen einer Wurzelkanalbehandlung sein. So können die Ursachen hierfür mechanischen, zum Beispiel durch Überinstrumentierung bei der Kanalaufbereitung oder Überstopfung des Füllungsmaterials, chemischen, zum Beispiel durch Bestandteile des Wurzelfüllmaterials wie Paraformaldehyd, Kortikoide oder Eugenol, oder thermischen Ursprungs, beispielsweise durch das Einbringen erhitzter Guttapercha, sein. Kommt es im Verlauf einer endodontischen

Behandlung zu einer Überstopfung des Füllungsmaterials außerhalb der Wurzel und im Bereich des Nervenkanals, berichten die Patienten über einen plötzlichen Schmerz, der auch nach Abschluss der Behandlung bestehen bleibt. Dieser kann mit Entzündungszeichen einhergehen, die sich in Perkussionsempfindlichkeit des betroffenen Zahnes und Palpationsschmerzen des Alveolarfortsatzes bis hin zur Taubheit der Unterlippe äußern. Die Therapie in solchen Fällen besteht in der sofortigen chirurgischen Beseitigung der Ursache, um einer Verschlimmerung der Symptome entgegenzuwirken. Um dieser Art von Komplikationen vorzubeugen, sind eine vorrausgehende radiologische Untersuchung der Nachbarschaftsverhältnisse der Wurzelspitzen sowie röntgenologische Kontrollen im Verlauf der Behandlung notwendig.

Gallas-Torreira et al. (8) berichten von einer 45-jährigen Patientin, die mit halbseitigen Unterkieferschmerzen und Taubheit der linken Unterlippenhälfte bei ihnen vorstellig wurde. Nach eigenen Angaben hatte sie sich zuvor einer Wurzelkanalbehandlung des linken unteren ersten Molaren unterzogen. Nach einmonatigem persistierendem Schmerz sowie Beschwerden am ersten Molaren diagnostizierte ihr behandelnder Zahnarzt eine überstopfte Guttapercha- Füllung des distalen Wurzelkanals, die bis in den Canalis mandibularis hineinreichte, was eine Indikation zur Extraktion dieses Zahnes darstellte. Dennoch ließen weder der Schmerz in der linken Unterkieferhälfte noch die Taubheit der Unterlippe nach, was zur Überweisung der Patientin an die oben genannten Personen führte. Eine radiologische Untersuchung ergab, dass Reste der Wurzelkanalfüllung nach der Extraktion des Zahnes im Knochen verblieben waren. Diese wurden unter Lokalanästhesie entfernt, und die Alveole wurde nach Kürettage mit einem Mukoperiostlappen verschlossen. Nach 15 Tagen waren die Schmerzen verschwunden und nach etwa einem Monat bestand auch die Taubheit nicht mehr.

In dem oben beschriebenen Fall könnte es aus verschiedenen Gründen zu einer Überstopfung des Wurzelfüllmaterials über die Apex hinaus gekommen sein. Zum einen könnte während der Kanalaufbereitung die Arbeitslänge überschritten worden sein, was einen Zugang zum Knochen ermöglichte. Zum anderen könnte auch das Vorhandensein eines apikalen Granuloms zu einer verminderten Knochendichte in diesem Bereich geführt haben. In beiden Fällen besteht die Möglichkeit, den Guttaperchastift leicht über die Apex hinaus zu schieben, was zur Nervtraumatisierung führen kann. Die daraus hervorgehenden Symptome können temporär oder permanent sein, abhängig von der Stärke und der Dauer der Nervschädigung.

Obwohl sich der oben beschriebene Fall und auch weitere Berichte über Sensibilitätsstörungen nach endodontischer Behandlung auf den Seitenzahnbereich beziehen, könnte es durchaus möglich sein, dass eine Schädigung des Nerven auch im interforaminalen Bereich auftritt. Besonders gefährdet dafür könnten die ersten und zweiten Prämolaren sein, da dort der Durchmesser des Nervus incisivus am größten und gleichzeitig sein Abstand zu den Wurzelspitzen am kleinsten ist.

Die Kinnregion wird häufig als Quelle autogenen Knochenmaterials genutzt. Wichtige Faktoren für die Auswahl einer Spenderregion sind unter anderem die Beschaffenheit und Menge des benötigten Knochens, der Zugang zur Spenderregion, die benötigte Zeit zur Materialentnahme und die Kosten des Eingriffs. Die Zugangsmöglichkeit zum Kinn ist hervorragend, das vorhandene Angebot an kortikalem und spongiösem Knochenmaterial ist ausreichend für die Augmentation von bis zu drei Alveolarsegmenten, die Eingriffszeit ist kurz und der Eingriff kann ambulant und unter Lokalanästhesie durchgeführt werden.

Des Weiteren zeigten sich bei der Nutzung der Kinnregion als Knochenentnahmestelle im Vergleich zu Beckenkamm- oder Rippentransplantaten minimale Komplikationen und eine signifikant geringere

Resorption des Transplantats (14, 18, 33). Mögliche Veränderungen der Gesichtskontur, prolabierte Symphysenmuskulatur und postoperative Sensibilitätsstörungen gehören jedoch zu den Komplikationen eines Eingriffs in der anterioren Mandibula. In einer retrospektiven Studie untersuchten Raghoobar et al. (26) 21 Patienten ein bis drei Jahre nach dem Aufbau von lokalen Knochendefekten der anterioren Maxilla mittels Kinnknochens, um die Morbidität der Spenderregion zu überprüfen. Dieses erfolgte durch die Begutachtung der Krankengeschichten, die Auswertung von per Post versandten Fragebögen und durch standardisierte klinische Untersuchungen. Den Krankengeschichten konnte entnommen werden, dass bei einem Patienten eine vorübergehende Hypästhesie in der labialen Gingiva während der ersten vier Wochen nach dem Eingriff beobachtet wurde. Vier Patienten beschrieben eine veränderte Sensibilität der Schneidezähne, obwohl diese Zähne positiv auf den Kältetest reagierten. Die Beschwerden verschwanden jedoch spontan innerhalb von sechs Monaten. Den Fragebögen zufolge berichteten neun Patienten (43%) über eine subjektiv veränderte Sensibilität in der Region der Knochenentnahme, die jedoch zu kaum nennenswerten Beschwerden und vernachlässigbarem reduzierten Komfort der Patienten führte. In einer weiteren retrospektiven Studie, die 48 Kinntransplantate analysiert, zeigte sich eine veränderte Nervensensibilität in 6% der Fälle als eine ernsthafte Langzeitkomplikation (10). Diese Berichte über die postoperative neurovaskuläre Morbidität nach Nutzung der Unterkiefersymphyse als Quelle autogenen Knochens sowie bis dahin fehlende Nachweise in der Literatur über die Position der neurovaskulären Komplexe im anterioren Bereich der Mandibula veranlasste De Andrade zu seinen bereits oben beschriebenen Untersuchungen.

Um eine postoperative neurovaskuläre Morbidität zu verringern, sollte diese Ergebnisse beachtet werden.

Ein weiterer Gegenstand verschiedener Untersuchungen war die Überschreitung der Symphyse durch inzisale Nervenfasern auf die Unterkiefergegensseite. Oft

wurde erklärt, dass der Nervus alveolaris inferior als Nervus incisivus die Mittellinie des Unterkiefers überquert, wodurch die Schneidezähne eine doppelte Innervation erhalten. Diese Meinung scheint auf klinischen Beobachtungen zu beruhen, nach denen trotz einer einseitigen Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior der mittlere Schneidezahn dieser Seite noch sensibel erschien. Rood (28) ist einer derjenigen, die diese Ansichten in ihren Untersuchungen belegt haben. In einer Gruppe von 40 Patienten, bei denen zur weiteren Behandlung eine Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior notwendig war, wurde die Sensibilität der Schneidezähne im Vorfeld der Betäubung mittels elektrischer Stimulation getestet. Nach der Injektion des Anästhetikums und einer anschließenden zehnminütigen Wartezeit fand ein erneuter Test der pulpalen Sensibilität statt. Während vor der Anästhesie alle seitlichen und mittleren Schneidezähne positiv auf eine elektrische Stimulation von weniger als 10 μ a reagierten, zeigten nach der Injektion die seitlichen Schneidezähne selbst bei einer Stimulation von 20 μ a keine Reaktion, während der Großteil der mittleren Schneidezähne noch sensibel reagierte. In 20 Fällen erfolgte nun eine kontralaterale Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior und in den anderen 20 Fällen eine ipsilaterale Infiltrationsanästhesie der mittleren Schneidezähne. In allen Fällen zeigte eine erneute elektrische Stimulation keine positive Antwort mehr.

Gegen eine Überquerung der Mittellinie der Mandibula durch Nervenäste sprechen Barker und Davies (3). Sie halten eine Kreuzinnervation für unwahrscheinlich, da bis zum Ende des ersten Lebensjahres symphysialer Knorpel die Unterkieferspange zweiteilt, durch den keine Nervenfasern ziehen.

Rosenberg führte post mortem Untersuchungen an Unterkiefern von Kindern im Alter von bis zu zwei Jahren durch, und auch er konnte eine Überlappung der Innervation nicht feststellen (29). Eine Restsensibilität könnte daher auf das Einstrahlen anderer Nerven in diese Region zurückzuführen sein. Die Tatsache, dass in 100% der Fälle nach einer zusätzlichen Leitungsanästhesie des

kontralateralen Nervus alveolaris inferior eine komplette Anästhesie der Schneidezähne vorlag, deutet auf eine Kreuzinnervation hin. Da diese bilaterale Innervation trotz der von Barker beschriebenen symphysialen Knorpelschicht auftritt, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Überkreuzung nicht im Unterkieferknochen, sondern im Weichgewebe stattfindet. Daraus lässt sich schließen, dass es sich hierbei um Äste des Nervus mentalis handelt, die durch Poren in der labialen Kortikalis wieder in den Knochen eintreten und die Schneidezähne innervieren.

Progel (24) führte eine Untersuchung an zehn menschlichen Köpfen durch mit dem Ziel, diese Annahme zu überprüfen. An den Präparaten wurden Haut, Fett- und Muskelgewebe entfernt und das Foramen mentale sowie der Nervus mentalis dargestellt. Beim Austritt aus dem Foramen mentale wurden drei Nervenäste beobachtet, von denen zwei die Unterlippe innervierten. Der dritte verlief entlang der Mandibula nach anterior in Richtung der Mittellinie. In 15% der Fälle zeigte sich eindeutig, dass die Nervenfasern durch das Periost hindurch und durch kleine Öffnungen in der labialen Kortikalis zurück in die Mandibula eintraten. In weiteren 25% der Präparate lag ebenfalls der Verdacht auf einen Wiedereintritt der Nervenfasern nahe, jedoch waren diese zu fein, um bei ihrer kompletten Darstellung intakt zu bleiben. In 50% der Fälle, in denen ein Wiedereintritt oder der Verdacht darauf vorlag, zeigte sich eine Überschreitung der Mittellinie.

Durch diese Erkenntnis lässt sich das Phänomen der Kreuzinnervation durch den kontralateralen Nervus mentalis erklären, ebenso wie die Tatsache, dass mit Hilfe einer Infiltrationsanästhesie die unteren Schneidezähne betäubt werden können, wohingegen eine solche Anästhesie im Unterkiefer-Seitenzahnbereich keine Wirkung zeigt, obwohl ähnliche Poren auch im posterioren Unterkieferbereich zu finden sind.

Diesen Erläuterungen widerspricht Adatia (1) in seinen Ausführungen über die Innervation der mittleren unteren Schneidezähne. Auch er hat eine

Überkreuzung von Nervenfasern festgestellt, misst dieser aber keine große Rolle bei der nervalen Versorgung der Zähne bei. Auch er prüfte im Vorfeld einer Leitungsanästhesie des Nervus alveolaris inferior die Reaktion der zentralen Inzisiven auf elektrische Stimulation. Nach der Betäubung zeigte sich nun in zwei von 10 Fällen keine Reaktion mehr auf erneute, dieses Mal maximale Stimulation. In den anderen acht Fällen musste die Intensität des Stimulus auf das 1,8 bis 3,5-fache erhöht werden, um eine Reizantwort zu erhalten. Auf die Sensibilität des kontralateralen mittleren Schneidezahnes hatte die Anästhesie keine Auswirkung. In diesen Fällen zeigte sich, dass die labiale Gingiva nicht betäubt war. Die Autoren dieser Studie führen das auf eine offensichtliche transmediane Innervation zurück. Nach einer zusätzlichen submukösen Verabreichung von 0,1 ml der Anästhesielösung auf Höhe des kontralateralen Schneidezahnes konnte in sieben von acht Fällen auf der ipsilateralen Seite keine Reaktion mehr festgestellt werden. Der zentrale Zahn der Gegenseite wurde auch dadurch nicht beeinflusst.

Die von Rood geäußerte Annahme, die Nerven in der Schneidezahnregion lägen hauptsächlich im Weichgewebe, möchte Adatia so nicht unterstützen. Wäre dies der Fall, müsste seiner Ansicht nach entweder die Leitungsanästhesie keine Auswirkung auf die Sensibilität des ipsilateralen zentralen Inzisiven oder die zusätzliche submuköse Infiltration auf der Gegenseite einen Effekt auf jenem kontralateralen Zahn haben. Daraus folgert Adatia, dass die überkreuzenden Nervenfasern wenig an der Versorgung der Zahnpulpen beteiligt sind.

In seinen Untersuchungen zu morphologischen Variationen des Alveolarnervs war Wadu (36) hingegen der erste, der eine intraossäre Mittellinienüberschreitung terminaler Äste des Nervus incisivus beobachtete. In fünf von sechs seiner bezahnten Präparate trugen feine Nervenäste zur kontralateralen Innervation der Schneidezähne bei. Auffallend hierbei war zudem, dass eine Mittellinienüberschreitung hauptsächlich von der rechten auf die linke Kieferhälfte stattfand und nur selten von der linken auf die rechte Seite.

Bei zahnlosen Kiefern wurde keine Kreuzinnervation festgestellt. Was Wadu als ein beständiges Merkmal seiner Präparate betrachtete, konnte in der jetzigen Studie in keinem der Fälle beobachtet werden.

Es wird im Allgemeinen angenommen, dass der Nervus alveolaris inferior, abgesehen von seinem mentalen Endast, gänzlich intraossär verläuft. Am Foramen mentale verlässt der Nervus mentalis den knöchernen Kanal auf Höhe des ersten oder zweiten Prämolaren, der Nervus incisivus hingegen verläuft alleine weiter innerhalb des Unterkiefers nach anterior. Serman (31) stellte die Hypothese auf, dass in seltenen Fällen eine anatomische Variation auftritt, die sich durch die Anwesenheit von doppelten Foramina darstellt. In drei von 408 untersuchten Unterkiefern traten Doppel-Foramina auf, die sich klar von einer doppelten Variante des Foramen mentale unterschieden. Dabei war das posteriore Foramen das größere mit seiner Öffnung in die anteriore Richtung, wohingegen das kleinere Foramen nach posterior gerichtet war. Beide befanden sich in der gleichen horizontalen Ebene mit einer deutlichen Einkerbung zwischen ihnen. Eine solche Beobachtung machte auch Mraiwa (19), der bei seinen Untersuchungen in fünf von 50 Fällen doppelte Foramina unterschiedlicher Größe und Ausrichtung vorfand. Als Erklärung für seine Beobachtungen formuliert Serman die Annahme, dass Teile oder der komplette Inzisalnerv zusammen mit dem Nervus mentalis den Knochen durch das posteriore Foramen verlassen. Während der Mentalnerv seinen allgemein beschriebenen Weg einschlägt, verläuft der Nervus incisivus in der Einkerbung liegend extraossär nach anterior, um im vorderen Foramen wieder in den Knochen einzutreten.

In einer weiteren Studie konnte Serman (32) diese Annahme bestätigen. Bei seinen Präparationen fand er heraus, dass sich im Bereich zwischen den beiden Foramina kein Kanal oder keine alternative Nervversorgung befand. Er schloss daraus, dass der ungeteilte Nervus alveolaris inferior seinen Kanal am Foramen mentale verlässt, sich in der Einkerbung zwischen den beiden Öffnungen

positioniert und sich dort erst in seine Endäste aufteilt. So hätte der Nervus incisivus einen extraossären Ursprung, bevor er durch das anterior gelegene Foramen wieder in den Unterkiefer eintritt. So erklären sich auch die verschiedenen Ausrichtungen beider Foramina sowie ihre unterschiedliche Größe. Die hintere Öffnung muss viel mehr Nervenfasern aufnehmen als die vordere, weshalb sie größer ist. Gewöhnliche doppelte Foramina mentales wären in Größe und Ausrichtung ähnlich und eine intraossäre Verbindung zwischen beiden müsste vorliegen. Das anteriore Foramen wird inzisales Foramen genannt. Diese Erscheinung zweier unterschiedlich ausgerichteter Foramina war jedoch so selten, dass man sie eher als eine anatomische Besonderheit betrachten kann, anstatt sie als regelmäßig auftretende Gegebenheit anzuerkennen.

5. Zusammenfassung

Die Anwesenheit und der Verlauf des inzisalen Nervenbündels im anterioren Bereich der Mandibula war schon Gegenstand vieler Untersuchungen und kontroverser Diskussionen. Fest steht, dass es sich hierbei nicht um eine seltene anatomische Variation handelt, sondern in der vorliegenden Studie in allen Fällen nachgewiesen werden konnte.

Ebenso lässt sich feststellen, dass der Nervus incisivus nach seiner Abspaltung vom Nervus alveolaris inferior und nach dem Austritt des Nervus mentalis am Foramen mentale einen mehr oder weniger ausgeprägten kurvenartigen Verlauf auf seinem Weg zur Unterkiefersymphyse einschlägt. Ebenso hat sich in dieser wie auch in anderen Studien gezeigt, dass der Durchmesser des Nervenstranges mit zunehmendem Abstand zum Foramen mentale kontinuierlich abnimmt.

Dass es zu einer Überschreitung von Nervenfasern über die Mittellinie kommen kann, wurde ebenfalls in verschiedenen Studien festgestellt, konnte hier aber nicht belegt werden. Eine intraossäre Mittellinienüberschreitung scheint auch nur in seltenen Fällen vorzuliegen, wohingegen eine Kreuzinnervation im Weichgewebe häufiger nachgewiesen wurde.

Sensibilitätsstörungen nach Implantatinserktion im interforaminalen Bereich stellen eine ernstzunehmende Komplikation dar. Dabei zeigte sich, dass sie häufig durch eine Verletzung der anterioren Schleife des Nervus mentalis hervorgerufen werden, wenn der Abstand zu dieser anatomischen Struktur zu gering gewählt worden war. Es wurde aber auch von einem Fall berichtet, bei dem Implantate bei ausreichendem Sicherheitsabstand direkt in ein ausgeprägtes inzisales Nervenbündel gesetzt worden waren, was zu erheblichen Empfindungsstörungen geführt hatte.

Inwieweit der Durchmesser des Nervus incisivus bei Implantationen in der anterioren Mandibula von Relevanz ist, oder ob es sich in diesem Fall um einen Einzelfall handelt, könnte Gegenstand einer groß angelegten klinischen Studie sein.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass Orthopantomogramme oft nicht in der Lage sind, ein genaues Bild der anatomischen Strukturen wiederzugeben. Deutlich bessere Ergebnisse lieferten Computertomogramme. Das sollte bei der präoperativen Planung chirurgischer Eingriffe beachtet werden, um die Verletzung anatomischer Strukturen sowie postoperative Komplikationen zu vermeiden.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, inwieweit die immer häufiger eingesetzte digitale Volumentomographie den Verlauf des Nervus incisivus darzustellen vermag. Auch hier verbirgt sich weiteres Untersuchungspotential.

6. Literaturverzeichnis

1. **Adatia AK.** Innervation of mandibular central incisors. *Br Dent J* 145: 43-46, 1978.
2. **Arzouman MJ, Otis L, Kipnis V, and Levine D.** Observations of the anterior loop of the inferior alveolar canal. *Int J Oral Maxillofac Implants* 8: 295-300, 1993.
3. **Barker BC and Davies PL.** The applied anatomy of the pterygomandibular space. *Br J Oral Surg* 10: 43-55, 1972.
4. **Bavitz JB, Harn SD, Hansen CA, and Lang M.** An anatomical study of mental neurovascular bundle-implant relationships. *Int J Oral Maxillofac Implants* 8: 563-567, 1993.
5. **Carter RB and Keen EN.** The intramandibular course of the inferior alveolar nerve. *J Anat* 108: 433-440, 1971.
6. **De Andrade E.** Der intraossäre Verlauf der Nervenversorgung der Schneidezähne in der Unterkiefersymphyse. *internationales Journal für Parodontologie & Restaurative Zahnheilkunde* 21: 537-543, 2001.
7. **Denissen HW, Veldhuis HA, and van Faassen F.** Implant placement in the atrophic mandible: an anatomic study. *J Prosthet Dent* 52: 260-263, 1984.
8. **Gallas-Torreira MM, Reboiras-Lopez MD, Garcia-Garcia A, and Gandara-Rey J.** Mandibular nerve paresthesia caused by endodontic treatment. *Med Oral* 8: 299-303, 2003.
9. **Haribhakti VV.** The dentate adult human mandible: an anatomic basis for surgical decision making. *Plast Reconstr Surg* 97: 536-541; discussion 542-533, 1996.
10. **Hunt DR and Jovanovic SA.** Autogenous bone harvesting: a chin graft technique for particulate and monocortical bone blocks. *Int J Periodontics Restorative Dent* 19: 165-173, 1999.
11. **Jacobs R, Mraiwa N, Van Steenberghe D, Sanderink G, and Quirynen M.** Appearance of the mandibular incisive canal on panoramic radiographs. *Surg Radiol Anat* 26: 329-333, 2004.
12. **Jacobs R, Mraiwa N, vanSteenberghe D, Gijbels F, and Quirynen M.** Appearance, location, course, and morphology of the mandibular incisive canal: an assessment on spiral CT scan. *Dentomaxillofac Radiol* 31: 322-327, 2002.
13. **Kohavi D and Bar-Ziv J.** Atypical incisive nerve: clinical report. *Implant Dent* 5: 281-283, 1996.
14. **Koole R, Bosker H, and van der Dussen FN.** Late secondary autogenous bone grafting in cleft patients comparing mandibular (ectomesenchymal) and iliac crest (mesenchymal) grafts. *J Craniomaxillofac Surg* 17 Suppl 1: 28-30, 1989.
15. **Mardinger O, Chaushu G, Arensburg B, Taicher S, and Kaffe I.** Anatomic and radiologic course of the mandibular incisive canal. *Surg Radiol Anat* 22: 157-161, 2000.

16. **Mardinger O, Chaushu G, Arensburg B, Taicher S, and Kaffe I.** Anterior loop of the mental canal: an anatomical-radiologic study. *Implant Dent* 9: 120-125, 2000.
17. **Misch CE and Crawford EA.** Predictable mandibular nerve location--a clinical zone of safety. *Int J Oral Implantol* 7: 37-40, 1990.
18. **Misch CM, Misch CE, Resnik RR, and Ismail YH.** Reconstruction of maxillary alveolar defects with mandibular symphysis grafts for dental implants: a preliminary procedural report. *Int J Oral Maxillofac Implants* 7: 360-366, 1992.
19. **Mraiwa N, Jacobs R, Moerman P, Lambrechts I, van Steenberghe D, and Quirynen M.** Presence and course of the incisive canal in the human mandibular interforaminal region: two-dimensional imaging versus anatomical observations. *Surg Radiol Anat* 25: 416-423, 2003.
20. **Narayana K and Vasudha S.** Intraosseous course of the inferior alveolar (dental) nerve and its relative position in the mandible. *Indian J Dent Res* 15: 99-102, 2004.
21. **Obradovic O, Todorovic L, Pesic V, Pejckovic B, and Vitanovic V.** Morphometric analysis of mandibular canal: clinical aspects. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol* 36: 109-113, 1993.
22. **Obradovic O, Todorovic L, and Vitanovic V.** Anatomical considerations relevant to implant procedures in the mandible. *Bull Group Int Rech Sci Stomatol Odontol* 38: 39-44, 1995.
23. **Olivier.** The inferior dental canal and its nerve in the adult. *Br Dent J* 49: 356- 358, 1928.
24. **Pogrel MA, Smith R, and Ahani R.** Innervation of the mandibular incisors by the mental nerve. *J Oral Maxillofac Surg* 55: 961-963, 1997.
25. **Polland KE, Munro S, Reford G, Lockhart A, Logan G, Brocklebank L, and McDonald SW.** The mandibular canal of the edentulous jaw. *Clin Anat* 14: 445-452, 2001.
26. **Raghoobar GM, Louwerse C, Kalk WW, and Vissink A.** Morbidity of chin bone harvesting. *Clin Oral Implants Res* 12: 503-507, 2001.
27. **Raghoobar GM, Meijndert L, Kalk WW, and Vissink A.** Morbidity of mandibular bone harvesting: a comparative study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22: 359-365, 2007.
28. **Rood JP.** The nerve supply of the mandibular incisor region. *Brit Dent J* 143: 227- 230, 1977.
29. **Rosenberg B.** [Intra-osseous distribution of the inferior alveolar nerve in fetus, new-borns and children until 2 years old]. *Rev Fac Odontol Sao Paulo* 13: 99-108, 1975.
30. **Rosenquist B.** Is there an anterior loop of the inferior alveolar nerve? *Int J Periodontics Restorative Dent* 16: 40-45, 1996.
31. **Serman NJ.** Differentiation of double mental foramina from extra bony coursing of the incisive branch of the mandibular nerve--an anatomic study. *Refuat Hashinayim* 5: 20-22, 1987.

32. **Serman NJ.** The mandibular incisive foramen. *J Anat* 167: 195-198, 1989.
33. **Sindet-Pedersen S and Enemark H.** Mandibular bone grafts for reconstruction of alveolar clefts. *J Oral Maxillofac Surg* 46: 533-537, 1988.
34. **Starkie C and Stewart D.** The Intra-Mandibular Course of the Inferior Dental Nerve. *J Anat* 65: 319-323, 1931.
35. **Uchida Y, Yamashita Y, Goto M, and Hanihara T.** Measurement of anterior loop length for the mandibular canal and diameter of the mandibular incisive canal to avoid nerve damage when installing endosseous implants in the interforaminal region. *J Oral Maxillofac Surg* 65: 1772-1779, 2007.
36. **Wadu SG, Penhall B, and Townsend GC.** Morphological variability of the human inferior alveolar nerve. *Clin Anat* 10: 82-87, 1997.
37. **Williams P, Warwick R, Dyson M, and Bannier L.** Gray's Anatomy. 2005.
38. **Wismeijer D, van Waas MA, Vermeeren JJ, and Kalk W.** Patients' perception of sensory disturbances of the mental nerve before and after implant surgery: a prospective study of 110 patients. *Br J Oral Maxillofac Surg* 35: 254-259, 1997.
39. **Zoud K and Doran GA.** Microsurgical anatomy of the inferior alveolar neurovascular plexus. *Surg Radiol Anat* 15: 175-179, 1993.

7. Lebenslauf

Name: Julia Maronna
Geburtsdatum: 08.09.1980
Staatsangehörigkeit: deutsch
Geburtsort: Köln

Schulische Ausbildung

1987-1990	Albert- Schweitzer- Grundschule, Köln- Junkersdorf
1990-1997	Städt. Apostelgymnasium, Köln- Lindenthal
1997-1998	Uppingham School, Rutland, East Midlands, England
1998-2000	Städt. Apostelgymnasium, Köln

Akademische Ausbildung

Oktober 2000	Studium der Zahnmedizin an der Universität zu Köln
Oktober 2001	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
April 2004	Zahnärztliche Vorprüfung
14. Juni 2007	Abschluss der zahnärztlichen Prüfung
Juni 2007	Approbation als Zahnärztin

Berufsausübung

Seit 17.03.2008	Tätigkeit als Vorbereitungsassistentin in der Praxis von Dr. Jung und Dr. Kuypers in Köln
-----------------	---

Köln, den 08.10.2010