

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. Dr. Norbert R. Kübler

**Determinierung der prä- und postoperativen Lagebestimmung des  
Canalis mandibulae bei dysgnathiechirurgischen Maßnahmen mittels  
Digitaler Volumentomographie**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin der Medizinischen Fakultät der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von  
Fabian Neudeck  
2019

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Uni.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Ulrich Meyer

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. dent. Benedict Wilmes

Meinen Eltern und Geschwistern gewidmet

## I Zusammenfassung

Die retrospektiv durchgeführte Studie untersucht die prä- und postoperative Lage des Canalis mandibulae im Corpus mandibulae mittels digitaler Volumentomographie (DVT). Zusätzlich wurde das Auftreten von temporären und permanenten postoperativen Sensibilitätsstörungen des N. alveolaris inferior im Bereich des Kinns und der Unterlippe untersucht mit besonderem Augenmerk auf auffällige Lagebeziehungen des Canalis mandibulae in prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen.

Die Studie befasst sich mit 87 Patienten, die sich in dem Zeitraum zwischen 2011 und 2013 in der Praxisklinik an der Promenade, Münster, einem mono- oder bignathen dysgnathiechirurgischen Eingriff unterzogen. Die Sensibilität des N. alveolaris inferior wurde in den Kontrolluntersuchungen bis zum Jahr 2016 untersucht. Die prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen wurden mit dem KaVo 3D eXam (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) durchgeführt. Alle Patienten wurden von demselben erfahrenen Operateur mit der mandibulären Umstellungsosteotomie nach Obwegeser/Dal Pont, modifiziert nach Epker, operiert.

Die Lage des Canalis mandibulae wurde an vier spezifischen Positionen in der koronalen Ebene je Unterkieferseite gemessen. Die Positionen (P1-P3) wurden folgendermaßen in den präoperativen Aufnahmen gesetzt: P1 distale Wurzel des ersten Molaren, P2 mesiale Wurzel des zweiten Molaren, P3 im Bereich der größten Steigung im aufsteigenden Ast. Die Position P2 befand sich zugleich in dem Bereich der späteren bukkalen Osteotomie-Linie. Die Position P4 wurde in den postoperativen Aufnahmen im Bereich der vertikalen bukkalen Osteotomie-Linie gesetzt. Gemessen wurde jeweils der vertikale Abstand B mittig vom basalen Unterkieferrand zur Mitte des Canalis mandibulae. Der horizontale Abstand L wurde von der lingualen Kortikalis des Unterkiefers horizontal zur Mitte des Canalis mandibulae gemessen. Bei der Position P2 fand zusätzlich eine horizontale Messung der Unterkieferbreite, sowie die Vermessung des bukkalen Abstands vom Canalis mandibulae zur bukkalen Kortikalis statt. Der postoperative Verlauf des Canalis mandibulae wurde bezüglich der genauen Lage zur Osteotomie-Linie analysiert.

Die untersuchte Patientengruppe bestand aus 57 Frauen und 30 Männern mit einem Durchschnittsalter am Operationstag von 27.4 Jahren ( $SD \pm 9.59$ ). Dabei war der jüngste Patient 15 Jahre und der älteste Patient 54 Jahre alt. Vierundsechzig Patienten unterzogen sich einem bignathen Eingriff und 41 Patienten einem monognathen Eingriff des Unterkiefers. Dabei wurde bei 63 Unterkiefern eine Vorverlagerung, bei 21 Unterkiefern eine Rückverlagerung und bei 3 Unterkiefern eine reine Schwenkung durchgeführt.

Von 174 operierten mandibulären Seiten kreuzte der N. alveolaris inferior 42 Mal die Osteotomie-Linie. Ein lateraler Verlauf des Canalis mandibulae und ein schmaler Unterkiefer an Position P2 korrelierten signifikant mit einer höheren Rate von Kreuzungen der Osteotomie-Linie. Kein Patient hatte eine permanente Sensibilitätsstörung der Unterlippe und des Kinns. Die Kreuzung der Osteotomie-Linie hatte keinen signifikanten Einfluss auf permanente postoperative Sensibilitätsstörungen.

Zusammenfassend wurde in dieser Studie ein Zusammenhang zwischen der präoperativen Position des Canalis mandibulae und dem Kreuzen der Osteotomie-Linie aufgezeigt. Sensibilitätsstörungen korrelierten mit der bukkalen Lage des Canalis mandibulae. Mittels präoperativer DVT-Diagnostik kann die Lage des Canalis mandibulae genau determiniert werden. Durch entsprechende chirurgische Maßnahmen kann das Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen auch bei weit lateralem Nervenverlauf oder Kreuzung der Osteotomie-Linie minimiert werden.

## II Abstract

The purpose of the study was to locate the mandibular canal position before and after bilateral sagittal split osteotomy (BSSO) of the mandible by cone beam computed tomography (CBCT) images. The incidence of temporary and permanent disturbance of the inferior alveolar nerve after BSSO and its position was evaluated.

The study is based on 174 CBCT images of 87 consecutively operated patients, who were treated with a BSSO in mono or bimaxillary orthognathic surgery in the “Praxisklinik an der Promenade”, Münster (Germany), between 2011 and 2013. Potential neurosensory disturbance was analysed until 2016. The CBCT images were made with the KaVo 3D eXam device (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) and processed with the software eXam Vision (Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) in coronal, transversal and axial planes.

All patients were treated with the BSSO technique of Epker by one specialised surgeon. U-shaped monocortical miniplates were used for the fixation of the mandible.

The mandibular canal was measured at four specific positions in the coronal plane of preoperative image: first position (P1) was set on the distal root of the first molar; second position (P2) was set on the mesial root of the second molar; and the third position (P3) was in the plane of the frontal border of the ascending branch of the mandible. The fourth position (P4) was measured in the plane of the osteotomy cut in the postoperative images.

The vertical distance B was measured from the middle of the basal border to the middle of the mandibular canal. The horizontal distance L was measured from the lingual border horizontal to the middle of the mandibular canal. At position P2 the horizontal wide and the buccal distance from the buccal border horizontal to the middle of the mandibular canal were measured. The postoperative position of the mandibular canal regarding to the osteotomy cut was analysed.

The patient group investigated consists of 57 females and 30 males. The mean age at time of surgery was 27.4 (SD  $\pm$  9.59) years with a minimum of 15 years and maximum of 54 years. Patients analysed underwent a bimaxillary (46 times) or a single BSSO of the mandible (41 times), thus 63 forward and 21 backward displacements and 3 slewing were operated. Out of 174 operated sites, the nerve crossing the osteotomy cut was observed in 42 mandible sites. A more lateral-running mandibular canal and narrow mandible at the second position correlated with a significant higher occurrence of crossing the split surface. No patient had permanent neurosensory disturbance. Crossing the split surface of the mandible has no significant influence on postoperative permanent neurosensory disturbance.

This study suggested a correlation between the preoperative position of the mandibular canal and the occurrence of crossing the split surface as well as postoperative neurosensory disturbance. Preoperative CBCT scans can determine the position of the mandibular canal precisely and the incidence of permanent nerve disturbance can be minimized by careful surgical performance, even when the nerve runs more laterally or crosses the osteotomy cut during surgery.

### III Abkürzungsverzeichnis

A	Arteria
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DVT	Digitale Volumetomographie
DICOM	<i>Digital Imaging and Communications in Medicine</i>
FOV	<i>Field of view</i>
mm	Millimeter
N	Nervus
M	Musculus
s	Sekunde
TSEP	Trigeminal somatosensibel evozierte Potentiale
V	Vena

## IV Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Historie der Dysgnathiechirurgie .....	1
1.2	Dysgnathie .....	4
1.2.1	Definition Eugnathie und Dysgnathie .....	4
1.2.2	Einteilung der Dysgnathien .....	5
1.2.3	Inzidenz von Dysgnathien .....	7
1.2.4	Operationsindikation .....	8
1.2.5	Operative Dysgnathiekorrekturen.....	9
1.2.5.1	Isolierte Unterkieferosteotomie .....	9
1.2.5.2	Bignathe Osteotomien .....	11
1.3	Nervus alveolaris inferior.....	12
1.3.1	Anatomie des N. alveolaris inferior.....	12
1.3.2	Verlauf des Canalis mandibulae .....	13
1.3.3	Röntgenologische Lagebestimmung des Canalis mandibulae .....	14
1.3.4	Sensibilitätsstörungen des N. alveolaris inferior .....	18
1.3.4.1	Symptomatik.....	18
1.3.4.2	Diagnostik.....	19
1.3.4.3	Risikofaktoren nach dysgnathiechirurgischen Maßnahmen.....	22
1.4	Digitale Volumetomographie.....	25
1.5	Ziel der Arbeit .....	28
2	Material und Methoden .....	30
2.1	Patientengut.....	30
2.2	Methodik .....	30
2.2.1	Studienaufbau .....	30
2.2.2	Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Längenmessungen.....	31
2.2.3	Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Rastereinteilung .....	35
2.2.4	Postoperativer Verlauf des Canalis mandibulae.....	36
2.2.5	Sensibilität des N. alveolaris inferior .....	37
2.3	Statistik .....	38
3	Ergebnisse .....	39
3.1	Patientenspezifische Daten .....	39
3.2	Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Längenmessungen .....	40
3.2.1	In Abhängigkeit von der Position je Unterkieferseite .....	40
3.2.2	Vergleich der rechten und linken Unterkieferseite.....	44
3.2.3	Abhängigkeit vom Geschlecht.....	45
3.3	Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Rastereinteilung.....	47
3.4	Postoperativer Verlauf des Canalis mandibulae .....	48
3.5	Sensibilität des N. alveolaris inferior .....	50

4	Diskussion .....	54
4.1	Diskussion der Methodik .....	54
4.1.1	Messverfahren zur Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae.....	54
4.1.2	Auswertung der Sensibilität des N. alveolaris inferior.....	56
4.1.3	Digitale Volumentomographie .....	57
4.2	Diskussion der Ergebnisse .....	58
4.2.1	Prä- und postoperativen Lage des Canalis mandibulae.....	58
4.2.2	Postoperative Sensibilitätsstörungen .....	63
4.2.3	Schlussfolgerung .....	67
5	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	68
	Danksagung .....	74



# 1 Einleitung

## 1.1 Historie der Dysgnathiechirurgie

Die heutige Dysgnathiechirurgie befasst sich mit der Korrektur von skelettalen Fehlstellungen der Maxilla und Mandibula. Die ersten operierten Kieferfehlstellungen lassen sich auf Mitte des 19. Jahrhunderts in Amerika zurückführen und betrafen hauptsächlich den Unterkiefer. Bereits 1849 publizierte der Arzt und Oralchirurg Simon Hüllihen eine operative Korrektur eines in Folge ausgeprägter Verbrennungen deformierten Unterkiefers. Hüllihen behandelte den durch Nabenzüge entstandenen offenen Biss durch eine alveoläre subapikale Unterkieferosteotomie im anterioren Bereich, sodass die Kippung und Wiederaufrichtung des anterioren Segmentes mit Drahtligaturen an den Nachbarzähnen zu einer stabilen Verzahnung führte. Hüllihen veröffentlichte 1849 den Fallbericht hierüber im *American Journal of Dental Science* [1]. Dieser gilt bis heute als erster dokumentierter dysgnathiechirurgischer Eingriff in der Medizin [2]. Erst später im Jahre 1897 wurde die bahnbrechende St. Louis-Operation – eine Doppelresektion des Unterkiefers bei einer mandibulären Prognathie – zur Korrektur von ästhetischen, vermutlich jedoch auch funktionellen Problemen durchgeführt. Die aus St. Louis, USA, stammenden Initiatoren dieser Operation waren der Allgemeinchirurg Vilray Blair, der Kieferorthopäde Edward Angle und der Zahnarzt James Whipple. Alle drei Beteiligten bezeichneten sich in ihrer jeweiligen Publikation über diese OP als Erfinder der Methode. 60 Jahre später beschrieb Biedermann – amerikanischer Chemiker, Zahnarzt und Kieferorthopäde – den genauen Hergang inklusive Vorgeschichte dieser OP [3, 4]. Laut Biedermann erkannte Angle, der auch als Begründer der amerikanischen Kieferorthopädie gilt, schon frühzeitig, dass sich eine echte mandibuläre Prognathie nur durch chirurgische Maßnahmen korrigieren lässt, fand jedoch aufgrund des hohen OP-Risikos zunächst keinen willigen Operateur. Blair hingegen traute sich einen solch komplizierten Eingriff zu [4]. Als sich dem Zahnarzt Whipple ein langjähriger Patient, selbst Student des Medical Colleges, mit einer mandibulären Prognathie aufgrund eines späten mandibulären Wachstumsschubs erneut vorstellte, überwies Whipple diesen an Angle. Nachdem Angle – selbst kein Chirurg – die Behandlung des Patienten nicht durchführen konnte, da er keinen Operateur fand, wandte sich der Patient an den Operateur seines Medical Colleges Blair. Dieser traute sich den komplizierten Eingriff zu und führte am 19.12.1887 eine Doppelresektion am Unterkiefer durch. Der Zugang erfolgte von extraoral entlang des

Corpus mandibulae. Im Bereich der Prämolaren osteotomierte Blair zunächst 75 % des Knochens mittels einer doppelblättrigen Säge und anschließend die kontralaterale Seite. Der Unterkiefer wurde mittels eines Kupferbands in vorgebohrte Bohrlöcher fixiert. Zusätzlich wurde der Oberkiefer als Splint zur Fixierung verwendet, um ein stabileres Ergebnis zu erlangen. Aufgrund von Emesis des Patienten nach Operations-Ende musste jedoch die Fixierung wieder gelöst werden und es traten Wundheilungsstörungen auf [4]. Daraufhin suchte Blair mit dem Patienten den Zahnarzt Whipple auf. Eine erneute Schienung brachte letztlich den gewünschten Erfolg.

Blair, eigentlich Allgemeinchirurg, veröffentlichte im Jahr 1907 mehrere Techniken zur operativen Verlagerung des Unterkiefers. In dem Artikel „Operations on the jaw-bone and face“ beschrieb Blair die Wichtigkeit von Rassendifferenzen bei Planungen und die enge Verbindung der Gesichtsharmonie und bildender Kunst [4].

Gerade der Erste Weltkrieg trug zu weiteren Erkenntnissen und Entwicklungen in der Behandlung von Gesichtsverletzungen bei. Ausgelöst durch die neue Art der Kriegsführung mittels Verwendung von moderneren Schusswaffen kam es zu mehr und anderen Verletzungen im Kopfbereich. Vor Beginn des Krieges gab es keine zuständige Abteilung, die solche Verletzungen im Gesichtsbereich behandelte. Der Chirurg William C. Gorgas eröffnete 1917 eine Abteilung für Plastische und Orale Chirurgie und ernannte Wilray Blair zu dessen Leiter, mit dem Ziel zahnärztliche und chirurgische Erkenntnisse zu vereinen und diese zu optimieren. Blair und sein Assistent, Oralchirurg Robert H. Ivy, trainierten in einem Intensivkurs Allgemeinchirurgen gemeinsam mit Zahnärzten in der Behandlung von kraniofazialen Verletzungen [5]. Im April 1918 wurde ein Team von 20 Chirurgen und Zahnärzten nach Frankreich entsandt. Auf Grundlage der bereits erworbenen Erkenntnisse der Franzosen in der Behandlung von Kriegsverletzungen im Kopfbereich und aufgrund der großen Anzahl der Verletzten führte der Krieg zu einer Wissensexpansion und Verfeinerung der bereits erarbeiteten Techniken [5].

Während es in den USA weitere Entwicklungen im Bereich der Unterkieferosteotomien gab, die mit den Namen, Kazanjian, Dingman und Converse in Verbindungen gebracht werden [4], spielte in Mitteleuropa neben Zürich, Prag und Graz Berlin eine zentrale Rolle. Dort konzentrierte sich die Korrektur von Kieferfehlstellungen nicht allein auf den Unterkiefer. 1921 wurde von Cohn-Stock erstmals eine zweizeitige anteriore Oberkieferosteotomie durchgeführt [6]. Die Operation am Oberkiefer galt bis dahin als problematisch, da das Risiko für peri-operative Komplikationen wie starke Blutungen, Nekrosen und Zahnverluste deutlich höher eingeschätzt wurde als bei der Operation am

Unterkiefer [4]. 1935 publizierte Wassmund ein einzeitiges Verfahren zur Oberkieferverlagerung. Jedoch gelang ihm schon 1927, einen offenen Biss ohne totale Mobilisierung des Oberkiefers zu behandeln, welcher schließlich mit intermaxillären Gummizügen geschlossen wurde [7]. Zur gleichen Zeit im Jahr 1935 und ebenfalls in Berlin publizierte der Klinikchef der Charité Georg Axhausen die erste Oberkiefermobilisation mit vertikaler Spaltung [8]. Axhausen beklagte schon früh, dass bei einer maxillären Hyoplasie eine Rücksetzung des Unterkiefers erfolge, anstatt mit einer Korrektur der Maxilla die eigentliche Ursache zu behandeln [4].

Eine sehr bedeutende Rolle in der Entwicklung der Dysgnathiechirurgie spielte Karl Schuchardt, der als Assistent sowohl von Axhausen als auch von Wassmund lernte. Im Jahr 1942 veröffentlichte Schuchardt eine detaillierte Arbeit über die Behandlung von angeborenen und erworbenen Kieferfehlstellungen bei Soldaten. Schuchardt wies schon damals auf die Wichtigkeit der Zusammenarbeit von Chirurgie und Kieferorthopädie hin. In dem Artikel „Die Chirurgie als Helferin der Kieferorthopädie“ [9], erschienen im Jahr 1954, wurde zudem die Technik der intraoral durchgeführten schrägen Osteotomie im aufsteigenden Ast des Unterkiefers erwähnt [4]. Ein Jahr später entwickelte Schuchardt ein zweizeitiges Verfahren zum Verschluss eines frontalen offenen Bisses, wobei er den Verschluss durch eine posteriore maxilläre Osteotomie erzielte.

Kunfer modifizierte diese Technik bereits im Jahre 1960 zu einem einzeitigen Vorgehen [4].

Der Österreicher Hugo Lorenz Obwegeser, ein Schüler und Protegé von Richard Trauner, beschrieb 1955 in Graz erstmalig die stufenförmige sagittale Osteotomie. Diese sollte nicht nur die Komplikationsraten senken, sondern auch die Kontaktfläche der Knochen weiter vergrößern [10]. Die intraorale Schnitfführung erfolgte am vorderen Rand des aufsteigenden Unterkieferastes mit Ablösung des bukkalen Periosts. Durch Freilegung des N. alveolaris inferior am Foramen mandibulae konnte das Risiko der Nervenschädigung reduziert werden. Die streng intraorale Schnitfführung vermied die Entstehung von extraoralen Narben mit konsekutivem Zug am umgebenden Gewebe und verringerte die Rezidiv-Wahrscheinlichkeit [10]. Nach dem Wechsel von der Universität Graz an die Universität Zürich entwickelte Obwegeser die Le Fort I-Osteotomie und machte damit den entscheidenden Schritt in Richtung bignathe Operationstechnik [4]. 1970 beschrieb Obwegeser in dem Artikel „Die einzeitige Vorbewegung des Oberkiefers und Rückbewegung des Unterkiefers zur Korrektur der extremen Progenie“ die erste simultane

Operation des Ober- und Unterkiefers [11]. Mit ihr war es möglich, Ober- und Unterkiefer in allen drei Ebenen im Raum simultan zu operieren.

Im Jahre 1961 veröffentlichte der italienische Chirurg Giorgio Dal-Pont, der in der Zeit von 1958/59 als Assistent unter Obwegeser in Zürich tätig war, eine Modifikation der sagittalen Spaltung des Unterkiefers. Dal-Pont setzte den bukkalen Schnitt vertikal im Bereich des zweiten Molaren und erzielte damit eine noch größere knöcherne Anlagerungsfläche [12]. Außerdem blieben dadurch der Kieferwinkel und der Ansatz des Musculus masseter in ihrer Lage weitgehend unverändert [13]. Diese Technik der sagittalen Spaltung des Unterkieferastes nach Obwegeser mit Modifikation nach Dal-Pont ist bis heute eine präferierte Operationstechnik.

In den bereits genannten Modifikationen der sagittalen Spaltung war es das Ziel, eine größere knöcherne Anlagerungsfläche zu erhalten, wobei die Osteotomie-Linie der äußeren Kortikalis schrittweise von dem Kieferwinkel in den Unterkiefer verlegt wurde. Hunsuck modifizierte 1968 diese Technik, indem er sich auf die mediale Kortikalis zwischen Incisura semilunaris und Lingula konzentrierte [14]. Epker verzichtete ebenfalls in seiner Publikation 1977 auf die vollständige Osteotomie der medialen Kortikalis zum posterioren Rand des Ramus mandibulae und minimierte dadurch postoperative Komplikationen wie übermäßige Ödembildung, neurologische Komplikationen des N. alveolaris inferior, Blutungen und avaskuläre Nekrose der Segmente [15]. Im Unterschied zu Hunsuck ging Epker in seiner Publikation zusätzlich auf die von Dal Pont entwickelte bukkale Osteotomie ein und empfahl die komplette bukkale Osteotomie bis zur basalen Kortikalis des Unterkiefers, um Komplikationen wie ein *Bad Split* zu vermeiden [15, 16]. In der heutigen Dysgnathiechirurgie können entweder allein Maxilla oder Mandibula oder beide in Kombination in den drei Hauptebenen verschoben werden.

## **1.2 Dysgnathie**

### **1.2.1 Definition Eugnathie und Dysgnathie**

Eugnathie, von altgriechisch εὖ (eu) "gut, recht" und γνάθος (gnáthos) "Kiefer", beschreibt die morphologisch und funktionell optimale Stellung der Kiefer zueinander im Zusammenhang einer Normokklusion. Angeborene oder erworbene Abweichung in Form, Lage oder Größe eines oder beider Kiefer werden als Dysgnathie bezeichnet [13, 17, 18].

Dysgnathien werden in skelettale und dentoalveoläre Abweichungen eingeteilt. Skelettale Abweichungen beschreiben eine falsche Lage, Form und Größe der Kieferbasen zur Schädelbasis. Diese können in allen drei Raumebenen vorliegen (sagittal, transversal und vertikal); sowohl symmetrisches als auch asymmetrisches Auftreten ist möglich. Als Folge entstehen Artikulations- und Okklusionsstörungen, die mit ästhetischen und funktionellen Störungen einhergehen können [13, 18].

Dentoalveoläre Dysgnathien gehen mit Störungen einer oder beider Alveolarfortsätze bei in Bezug auf den Schädel korrekt stehenden Kieferbasen einher [13]. Meist liegt jedoch eine Kombination aus skelettalen und dentoalveolären Abweichungen vor.

### **1.2.2 Einteilung der Dysgnathien**

In der Literatur werden von mehreren Autoren unterschiedliche Einteilungen der Dysgnathien beschrieben. Die morphologische und funktionelle Variationsbreite der Lageanomalien und Zahnfehlstellungen erschweren eine eindeutige Klassifizierung von Dysgnathien.

Angle führte 1899 eine nach ihm benannte dentale Klassifizierung der sagittalen Ebene ein. Er bezog sich dabei auf die Verzahnung und Konstanz der Sechsjahr-Molaren im Ober- und Unterkiefer und zog Rückschlüsse auf die Lage der Kiefer zueinander. Nach Angle werden drei Klassen unterschieden, wobei die Klasse II in Klasse II.1 und in Klasse II.2 unterteilt wird:

<b>Angle-Klasse I:</b>	neutrale Bisslage
<b>Angle-Klasse II.1:</b>	distale Bisslage mit protrudierter Oberkiefer-Front
<b>Angle-Klasse II.2:</b>	distale Bisslage mit retrudierter Oberkiefer-Front
<b>Angle-Klasse III:</b>	mesiale Bisslage

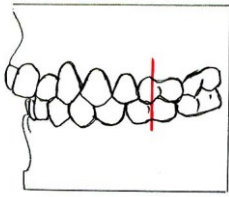


Abb. 1a: Angle-Klasse I: neutrale Bisslage [19].

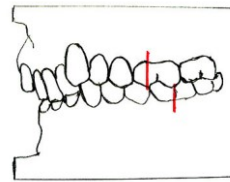
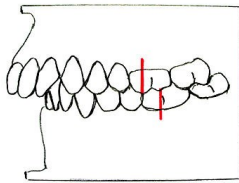


Abb. 1b: links: Angle-Klasse II.1: distale Bisslage mit protrudierter Oberkiefer-Front; rechts: Angle-Klasse II.2 mit retrudierter Oberkiefer-Front [19].

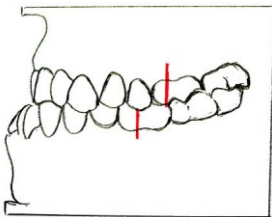


Abb. 1c: Angle-Klasse III: mesiale Bisslage [19].

Angles rein morphologische Einteilung und Beschreibung – basierend auf nur einer Ebene – führte zu vielerlei Kritik: z.B. dass der Mangel an Präzision und Diskontinuität bezüglich Befunderhebungen eine genaue Kommunikation der vorliegenden dreidimensionalen Veränderungen nicht zulasse [20].

Dabei kann ein zu weit vorstehendes Untergesicht in Form eines konkaven Gesichtsprofils im Sinne einer Klasse III auf eine mandibuläre Prognathie oder eine maxilläre Retrognathie zurückgeführt werden. Trotz der Kritik ist die Klassifizierung gerade im angloamerikanischen Raum aufgrund der Einfachheit der Beschreibung von sagittalen Veränderungen noch weit verbreitet. Kantorowicz und Korkaus konzentrierten sich 1928 auf eine Einteilung hinsichtlich Ätiologie und Genese der Dysgnathie. Sie unterschieden zwischen vererbten und erworbenen Lage- und Fehlstellungsanomalien. Jedoch zeigte sich

früh, dass in der Ätiologie der Dysgnathien kein definitiver Phänotyp einer Dysgnathieform regelmäßig einer Kausalität zuzuordnen war [21].

Eine ätiologische Einteilung und Klassifikation ist aufgrund der multifaktoriellen Genese der Anomalien nicht realisierbar. Die Komplexität der Klassifikation macht eine Umsetzung für die praktische Anwendung nicht möglich [22]. Die Vielfalt von morphologischen Veränderungen und ungenauen Beschreibungen der Lageanomalien führte zur Wahl von Leitsymptomen, die nicht im Sinne einer Diagnose gestellt werden, sondern das dominierende Hauptsymptom voran stellen [23]. Dabei wird gezielt auf eine Klassifikation der Diagnose verzichtet. Jedoch besteht die Gefahr, dass nicht erfassbare Veränderungen zu wenig beachtet werden und eine zu starke Konzentration auf das Leitsymptom erfolgt [24]. Die dysmorphologische Klassifikation nach Ehmer orientiert sich an der sagittalen Klassifikation nach Angle und unterteilt diese mit den korrespondierenden Leitsymptomen und den nicht korrespondierenden Leitsymptomen der transversalen und Einzelleitsymptome [21, 25]. Diese erhebt jedoch nicht den Anspruch, die Vielfalt der komplizierten ätiologischen, funktionellen, ästhetischen und morphologischen Aspekte vollständig in einer Klassifikation aufzuführen [21, 26]. Im Gegensatz zur dentalen und modellbezogenen Angle-Klassifikation besteht die Grundlage der dysmorphologischen Klassifikation aus der Erhebung der klinischen Untersuchung, der Analyse der Modelle und der Fernröntgenseitenaufnahme [21].

In der Praxis bewähren sich folgende Beurteilung und Kommunikation der Fehlstellung: Zuerst ist die sagittale Kieferrelation in Anlehnung an die Angle-Klassifizierung zu nennen, anschließend die vertikale und transversale Dimension, dann die Angabe des Gesichtstyps. Eine zusätzliche Ergänzung ist die Angabe und Beschreibung des Leitsymptoms.

### **1.2.3 Inzidenz von Dysgnathien**

Zurzeit existieren keine bundesweiten Register zur Erfassung der Häufigkeit von Dysgnathien. In der Literatur wird die Häufigkeit der Dysgnathien in Abhängigkeit von der Dentition und dem Alter angegeben. Im Milchgebiss werden unterschiedliche Dysgnathieformen mit Häufigkeiten von 30 % angegeben. Hierbei sind besonders der offene Biss und die sagittale Schneidekantenstufe als Folge von Lutsch- und anderen

Habits (orofaziale Dyskinesien) zu nennen [13, 24]. Im Wechselgebiss reduziert sich die Häufigkeit beim offenen Biss auf 1-2 %, die der sagittale Schneidekantenstufe auf 12 % [24]. Im bleibenden Gebiss ist die Unterkieferrückverlagerung am weitesten verbreitet. Hier wird im amerikanischen Raum eine Häufigkeit sowohl von 20 % als auch von 40 % angegeben. Letztere beinhaltet jedoch viele leichte Formen, die keiner chirurgischen Korrektur bedürfen [13].

#### **1.2.4 Operationsindikation**

Die Operationsindikation wird von Kieferorthopäden und Mund-Kiefer-Gesichtschirurgen gemeinsam gestellt. Ziel ist die funktionell-ästhetische Rehabilitation des Patienten im Sinne einer individuellen optimalen Okklusion und harmonischen Gesichtsproportion [27]. Wissenschaftliche Erkenntnisse und persönliche Erfahrungen des Kieferorthopäden und Kieferchirurgen fließen in die Entscheidung bzw. Indikationsstellung ein. So kommt es häufig zu unterschiedlich strengen Indikationsstellungen in Abhängigkeit des Behandlers [27]. Letztlich sind dysgnathiechirurgische Operationen Wahleingriffe [13].

Der chirurgische Eingriff ist dann indiziert, wenn die Dysgnathie allein mit kieferorthopädischen Behandlungsmitteln nicht zu therapieren ist. Die chirurgische Intervention findet vor allem bei ausgeprägten skelettalen Fehlstellungen Anwendung. Dabei treten Dysgnathien in der Regel kombiniert skelettal und dentoalveolär auf. Die prinzipielle Aufgabenteilung lässt sich vereinfacht darstellen: skelettale Fehlstellungen werden von der Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie behandelt, dentoalveoläre Fehlstellungen von der Kieferorthopädie [28]. Wichtige Kriterien für einen chirurgischen Eingriff sind dabei die Schwere der Dysgnathie bzw. Fehlstellung der Kieferbasen im kraniofazialen System, die mit konservativen Maßnahmen nicht adäquat bzw. zufriedenstellend zu therapieren sind, und funktionelle Aspekte, bei denen die Patienten in der Sprech-, Abbeiß- und Kaufunktion beeinträchtigt sind. Ursachen für diese funktionellen Einschränkungen können sein eine Deformität der Angle-Klasse II oder III, ein offener Biss, ein zu später Behandlungsbeginn mit Versäumnis der rechtzeitigen Korrektur einer Fehlstellung im Wachstum durch kieferorthopädische Maßnahmen oder ein später Wachstumsschub, wie er gerade bei der mandibulären Prognathie vorkommt, der nicht alleine mit konventionellen kieferorthopädischen Maßnahmen zu behandeln ist [13, 24, 29].



Generell ist bei abgeschlossenem Wachstum mit großer sagittaler skelettaler Fehlstellung oder einem offenen Biss die chirurgische Intervention eher indiziert. Bei leichter und milder Ausprägung der skelettalen Anomalien sollte die Indikation besonders im Hinblick auf die operativen Risiken besonders streng gestellt werden [29]. Besonders die psychosoziale Beeinträchtigung und der subjektive Grad der ästhetischen Störung bewegen Patienten dazu, sich einer Dysgnathie-Operation zu unterziehen [18, 24]. Dabei gaben in einer Untersuchung 61 % der behandelten erwachsenen Patienten an, wegen der Unzufriedenheit des eigenen Aussehens die Operation einzugehen [18]. Dieser große Faktor der psychosozialen Beeinflussung und die hohe ästhetische Zufriedenheit nach Beseitigung der disharmonischen Gesichtsprofile von 91 % spiegeln sich auch in einer reduzierten Anfälligkeit für funktionelle Probleme wieder [18].

## **1.2.5 Operative Dysgnathiekorrekturen**

Je nach Indikation können Ober- und Unterkiefer isoliert oder kombiniert in einer Operation verlagert werden. Als Operationsverfahren sollen nur die Standardverfahren der Umstellungsosteotomien beschrieben werden, die in den meisten Zentren praktiziert werden.

### **1.2.5.1 Isolierte Unterkieferosteotomie**

Als Standard hat sich die Unterkieferosteotomie durch sagittale Spaltung im aufsteigenden Ast nach Obwegeser/Dal Pont etabliert. Je nach Autor wird diese auch als retromolare sagittale Spaltung bezeichnet. In der englischen Literatur wird diese Technik als *bilateral sagittal split osteotomy* angegeben. Des Weiteren werden Modifikationen der sagittalen Spaltung nach Epker beschrieben, die in verschiedenen Zentren Anwendung finden.

Der operative Zugang erfolgt über eine intraorale Inzision an der Vorderkante des aufsteigenden Astes bei maximaler Mundöffnung. Das Mukoperiost wird kaudal bis in die bewegliche Schleimhaut des Unterkiefervestibulums präpariert. Kranial erfolgt die Durchtrennung und die Freilegung des Mukoperiost bis knapp unterhalb der Incisura semilunaris, lingual von kranial kommend wird bis zum Foramen mandibulae vorsichtig präpariert. Zum Schutz des Nervens darf nicht zu weit kaudal präpariert werden. Speziell

gebogene Instrumente werden von kranial kommend subperiostal eingesetzt, um ein Abgleiten schneidender bzw. sägender Instrumente in den retromolaren Raum zu verhindern. Dort befinden sich sowohl große Gefäße wie die V. retromandibularis als auch der Stamm des N. facialis [28]. Unter guter Sicht erfolgt die horizontale Osteotomie der lingualen Kortikalis meist durch eine oszillierende Säge. Die horizontale Osteotomie nach Obwegeser beschreibt eine vollständige Osteotomie bis zum hinteren Rand des Unterkiefers [10]. Die Modifikation nach Epker empfiehlt hier keine vollständige Osteotomie bis zum hinteren Rand des Unterkiefers und keine Abhebung der Masseter-Pterygoideus-Muskelschlinge [15]. Die Kaumuskulatur verbleibt so an den gelenktragenden Fragmenten und ermöglicht gerade bei Vorverlagerung des zahntragenden Fragmentes eine lockere Einstellung [30]. Komplikationen wie die Gefahr der Gefäßschädigung, übermäßige Ödembildung und avaskuläre Nekrosen der Segmente können so vermindert werden [31].

Die vertikale Osteotomie erfolgt in der bukkalen Kortikalis im Molaren Bereich. Hierbei darf nicht zu tief osteotomiert werden, um das Risiko einer Nervenschädigung des N. alveolaris inferior zu vermeiden. Die lingualen und bukkalen kortikalen Osteotomien werden nun auf der Vorderkante des aufsteigenden Unterkieferastes durch eine Osteotomie streng unterhalb der äußeren Kortikalis verbunden. Es folgt eine Spaltung des Knochens in Längsrichtung durch spezielle Dysgnathiemeißel. Dabei entstehen drei Fragmente, zwei proximale gelenktragende Fragmente und ein distales zahntragendes Fragment, das frei beweglich ist und zur korrekten späteren Einstellung verlagert werden kann [28]. Direkt im Anschluss erfolgt die Überprüfung des Canalis mandibulae; dieser kann bei der Spaltung teilweise oder komplett eröffnet sein. Häufig entsteht eine Öffnung des Canalis mandibulae mit Impressionen der bukkalen Kortikalis und freiliegendem Gefäßnervenbündel [28].

Nach Mobilisation des zahntragenden Fragments wird dieses mittels eines bereits vorgefertigten Okklusionssplints in die geplante Position eingestellt. Hierbei muss auf eine spannungsfreie und lockere Einstellung geachtet werden. Die Notwendigkeit der Positionierung der Gelenkfortsätze ist im deutschsprachigen Raum sehr umstritten [28]. Meist werden die Gelenkfortsätze manuell in eine retrale kraniale Position geführt, um diese in der Gelenkpfanne zu positionieren.

Manche Zentren bevorzugen eine exakte Einstellung der Kiefergelenke mittels einer stabilen Positionierungsplatte. Dabei wird präoperativ – nach abgeschlossener kieferorthopädischer Behandlung im Rahmen einer Schienenbehandlung – die beschwerdefreie Gelenkposition ermittelt und über einen Splint registriert. Das

Kiefergelenk wird intraoperativ noch vor der sagittalen Spaltung in die gewünschte Position mittels Splint eingestellt. Eine stabile Positionierungsplatte sichert über eine Fixierung im Unterkieferwinkel und am Oberkiefer die genaue Position der späteren gelenktragenden Fragmente. Bei einem bignathen Eingriff ist eine Fixierung am Jochbein notwendig.

#### **1.2.5.2 Bignathe Osteotomien**

Dysgnathien betreffen häufig beide Kiefer. Um ein funktionelles und ästhetisches Ergebnis zu erhalten, ist letztlich das Ausmaß der Dysgnathie entscheidend. Dabei fällt die Entscheidung, ob ein mono- oder bignather Eingriff stattfindet, nach kompletter Planung und Modelloperation. Bignathe Eingriffe werden meistens mit der Doppelsplintmethode durchgeführt. Zunächst wird der Oberkiefer osteotomiert und über einen Splint in die vorgesehene Position fixiert. Im Anschluss wird der Unterkiefer über einen zweiten Splint eingestellt. Beide Splinte werden im Vorfeld in der Modelloperation hergestellt und berücksichtigen die jeweilige alte beziehungsweise neue Lage des Kiefers, der gerade als Referenz dient [13].

Die Verlagerung des Oberkiefers findet in der Le Fort I-Ebene statt. Dabei handelt es sich um lineare Osteotomien, die analog zu den Frakturlinien nach Le Fort verlaufen. Die Osteotomie erfolgt dabei oberhalb der Wurzelspitzen und unterhalb des Foramen infraorbitale. Zunächst wird in der beweglichen Schleimhaut ein horizontaler Schnitt von der linken bis zur rechten Molaren-Region durchgeführt; dieser verläuft leicht bogenförmig nach kranial auslaufend. Das Mukoperiost wird abgelöst und die fazialen Kieferhöhlenwände, die Apertura piriformis und die Crista zygomatico-alveolaris werden dargestellt. Anschließend wird das Mukoperiost der Nasenschleimhaut basal vom Nasenseptum bis zur lateralen Nasenwand untertunnelt. Mit einer Septumschere oder einem Meißel wird das Nasenseptum in voller Länge getrennt. Die fazialen Kieferhöhlen- und lateralen Nasenwände werden mittels unterschiedlicher Instrumente wie Stichsäge, Lindemannfräse, oszillierender Säge und Meißel osteotomiert. Ein speziell abgebogener Meißel findet zur Ablösung des Oberkiefers retrotubar vom Flügelfortsatz Anwendung. Der als „*Down Fracture*“ benannte Schritt ist die mit einigem Kraftaufwand verbundene kaudale Verlagerung des zahntragenden Oberkiefers vom Mittelgesicht, wobei es zu einer Fraktur der Kieferhöhlenhinterwand kommt. Unter Sicht kann nun die Kieferhöhlenhinterwand mittels eines Meißels vorsichtig osteotomiert werden. Die folgende Mobilisation des Oberkiefers soll eine spannungsfreie Einstellung in den

Okklusionssplint ermöglichen. Bei Verlagerungen über ca. 5 mm bewirken die A. sphenopalatina und die A. palatina einen Widerstand. Bei größeren Verlagerungen ist eine Präparation des Gefäßnervenbündels im Canalis sphenoplatinum notwendig, was nicht selten mit einer Verletzung der Gefäße einhergeht. Trotz einer folgenden Unterbindung der Gefäße findet keine relevante Minderdurchblutung des Oberkiefers statt. Es erhöht sich nur leicht das Risiko einer seltenen partiellen Nekrose des Oberkiefersegments. Durch spezielle Dehnung des Weichgewebes ist eine Verlagerung bis 10 mm als risikoarm anzusehen. Größere Verlagerungen sind möglich, sollten aber die Ausnahme darstellen. Die Fixierung des Oberkiefers erfolgt über vier Miniosteosyntheseplatten, die im Bereich der anterioren Mittelgesichtspfeiler paranasal und auf der Crista zygomatica beidseits positioniert werden [13, 28].

### **1.3 Nervus alveolaris inferior**

#### **1.3.1 Anatomie des N. alveolaris inferior**

Der N. alveolaris inferior ist ein sensibler Ast des N. mandibularis, dieser hat seinen Ursprung vom fünften Hirnnerven, dem N. trigeminus. Auskommend von der Schädelhöhle verlässt der N. mandibularis diese durch das Foramen ovale und tritt in die Fossa infratemporalis ein. Dort teilt er sich in seine Endäste auf und innerviert durch speziell-viszeromotorische Fasern die Kaumuskulatur, die Mundbodenmuskulatur (vorderer Bauch des M. digastricus und des M. mylohyoideus) sowie das Gaumensegel und den M. tensor tympani. Durch somatosensible Äste versorgt der N. mandibularis als Ramus meningeus die Dura mater, als N. auriculotemporalis den Schläfenbereich sowie die Ohrmuschel, als N. lingualis die vorderen zwei Drittel der Zunge und den weichen Gaumen, als N. bukkalis die Wange und das Zahnfleisch der Molaren.

Der N. alveolaris inferior tritt zwischen dem M. pterygoideus medialis und lateralis in das Foramen mandibulae, das an der medialen Seite des Ramus mandibulae liegt, ein. Mit dem N. alveolaris inferior verlaufen als neurovaskuläres Bündel die gleichnamige Arterie und die Vene im Canalis mandibulae. Im Canalis mandibulae werden durch kleine Öffnungen die Unterkieferzähne und das umliegende Zahnfleisch sensibel versorgt. Weiter anterior verlässt der N. alveolaris inferior den Canalis mandibulae über das Foramen mentale, das

auf Höhe der Prämolaren liegt. Kurz vor dem Austritt gibt der N. alveolaris sensible Fasern ab, die die Unterkiefer-Frontzähne sensibel versorgen. Nach dem Austritt am Foramen mentale verläuft der N. alveolaris als N. mentalis und innerviert sensibel die Haut des Kinnbereichs.

### **1.3.2 Verlauf des Canalis mandibulae**

Der Canalis mandibulae verläuft ab dem Foramen mandibulae eher mittig bogenförmig nach kaudal und orientiert sich dann eher mittig oder lingual am Corpus mandibulae. Weiter anterior zieht der Canalis mandibulae in Höhe der Prämolaren wieder nach bukkal und verlässt im Foramen mentale den Corpus mandibulae. Dabei unterliegt der Verlauf des Canalis mandibulae großer anatomischer Vielfalt. Dieser grenzt sich durch seine dichtere spongiöse Knochenwand meist gut von dem umliegenden spongiösen Knochen und der äußeren Kortikalis ab. Nicht immer verläuft dieser als singuläre Struktur. So können sich auch ein zweiter Kanal oder aber auch ein zusätzlicher retromolarer Kanal im Coprus mandibulae befinden [32].

Studien, die auf der Auswertung von trockenen Gesichtsschädeln basieren, untersuchten früh den Verlauf des Canalis mandibulae [33-35]. Rajchel et al. [34] analysierten trockene Unterkiefer erwachsener Asiaten unbekanntes Geschlechts. Die trockenen Unterkiefer wurden an fünf spezifischen Positionen quer durchtrennt. Der Canalis mandibulae war im Bereich der Prämolaren weiter bukkal, während dieser im Bereich des ersten Molaren lingual lokalisiert war, um dann weiter posterior im Ramus mandibulae wieder weiter bukkal zu liegen. Denio et al. [35] untersuchten den Verlauf in Bezug auf die Wurzelspitzen der Prämolaren und dem ersten und zweiten Molaren. Auf Höhe der distalen Wurzel des zweiten Molaren lag der Canalis mandibulae bukkal, auf Höhe der mesialen Wurzel apikal, auf Höhe der mesialen und distalen Wurzelspitze des ersten Molaren lingual und änderte dann seine Richtung nach bukkal bzw. inferior in Höhe des zweiten Prämolaren. Denio et al. [35] bezeichnen diesen Verlauf in der Transversalebene, der bei 31 % der Patienten vorkam, als S-förmigen Verlauf.

Seit der Einführung der dreidimensionalen Röntgentechnik, erstmalig mit der Computertomographie (CT) und später mit der digitalen Volumetomographie (DVT), ist

es möglich, den Canalis mandibulae in allen drei Raumebenen röntgenologisch zu beurteilen und zu vermessen. Abhängig von dem zeitlichen Verlauf basieren ältere dreidimensionale röntgenologische Untersuchungen des Canalis mandibulae auf einer CT-Aufnahme [36-40]. Mit der Weiterentwicklung der Röntgentechnik und der Einführung des deutlich strahlungsärmeren DVT finden aktuellere Studien zur Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae mit dieser Aufnahmetechnik statt [41-43]. Sekerci et al. [41] untersuchten in präoperativen DVT-Aufnahmen von 250 Patienten die Lage des N. alveolaris inferior. An drei verschiedenen Positionen jeweils hinter dem jeweiligen Molaren wurde die genaue Position des N. alveolaris gemessen. Der kortikale Knochenrand und die äußere Begrenzung des Canalis mandibulae wurden als Referenz sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen gesetzt. Der Canalis mandibulae verläuft anterior im Bereich distal des ersten Molaren weiter lingual und zieht dann in den Regionen distal des zweiten und dritten Molaren nach bukkal. Die auf Röntgendaten basierten Studien bestätigen die Ergebnisse der bereits vorangegangenen Studien.

### **1.3.3 Röntgenologische Lagebestimmung des Canalis mandibulae**

Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich mit der Vielfalt der Verläufe des Canalis mandibulae im Hinblick auf die Dysgnathiechirurgie [32, 37, 40, 44, 45]. Diese beziehen sich zum Teil auf die axiale Ebene im DVT bzw. im CT oder in der Aufsicht auf das Orthopantomogramm. Gerade die Untersuchung und Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae in der koronalen Ebene im DVT oder CT ist für die operative Planung essentiell [37-39, 41, 42]. Die koronale Ebene ermöglicht die genaue räumliche Zuordnung des Canalis mandibulae in der dritten Raumebene, die bei einem konventionellen Orthopantomogramm fehlt bzw. nur bei dreidimensionalen bildgebenden Verfahren wie dem DVT oder CT möglich ist, (siehe Abb. 2).

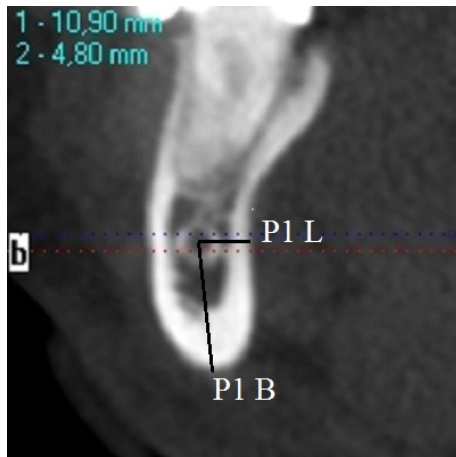


Abb. 2: Dargestellt ist in der koronalen Ansicht der rechte Unterkiefer auf Höhe des Zahnes 46 in der digitalen volumentomographischen Aufnahme. Der Canalis mandibulae wird mittels Software-Programms vermessen.

Seit der Einführung des DVT hat sich dieses gegenüber dem CT für die dreidimensionale röntgenologische Diagnostik und Operationsplanung als fester Bestandteil etabliert. Die S2k-Leitlinie zur dentalen digitalen Volumentomographie empfiehlt vor und nach komplexer Umstellungsosteotomie im Gesichtsschädelbereich die DVT-Aufnahme für die Diagnostik und Therapieplanung [46]. Großer Vorteil gegenüber dem CT ist die deutlich geringere effektive Strahlendosis [47, 48]. Zugleich treten Metallartefakte beim DVT, wie sie bei metallischen Füllungen oder gerade bei Osteosyntheseplatten postoperativ nach einer Dysgnathiechirurgie zu finden sind, deutlich seltener auf [49]. Weiterhin ist die Auflösung beim DVT höher, was sich positiv auf die Genauigkeit der Messungen auswirkt, aber dadurch auch sensibler für Bewegungsartefakte ist [40, 46]. Mittels einer adäquaten Anweisung und Fixierung des Kopfes des Patienten können solche Bewegungsartefakte auf ein Minimum reduziert werden. Die gängigen Software-Programme zur Bearbeitung und Auswertung der dreidimensionalen Röntgendatensätze ermöglichen die Bestimmung des Canalis mandibulae in allen drei Ebenen, wobei sich die koronale und die axiale Ebene am besten dazu eignen, den Canalis mandibulae visuell darzustellen und zu beurteilen. Die Programme können durch einen Erkennungsalgorithmus den Verlauf des Canalis mandibulae berechnen und stellen diesen farbige dar, (siehe Abb. 3 a und b). So kann der Verlauf auch in Bereichen, in denen er schlecht sichtbar ist, nachvollzogen werden. Dem Erkennungsalgorithmus reicht es lediglich, die beiden Foramina zu markieren, um den Verlauf zu berechnen. Um die Genauigkeit zu erhöhen, können zusätzliche Punkte markiert werden. Letztlich gilt es zu beachten, dass es sich um Berechnungen des Programms handelt. Das verwendete Programm – eXam Vision-Software (Imaging

Sciences International, Hatfield, Pa) – verweist auf die Eigenverantwortung des Betrachters und ersetzt nicht die medizinische Sachkenntnis und das Urteilsvermögen des Betrachters. Es handelt sich lediglich um ein Hilfsprogramm, (Abb. 3a und 3b).

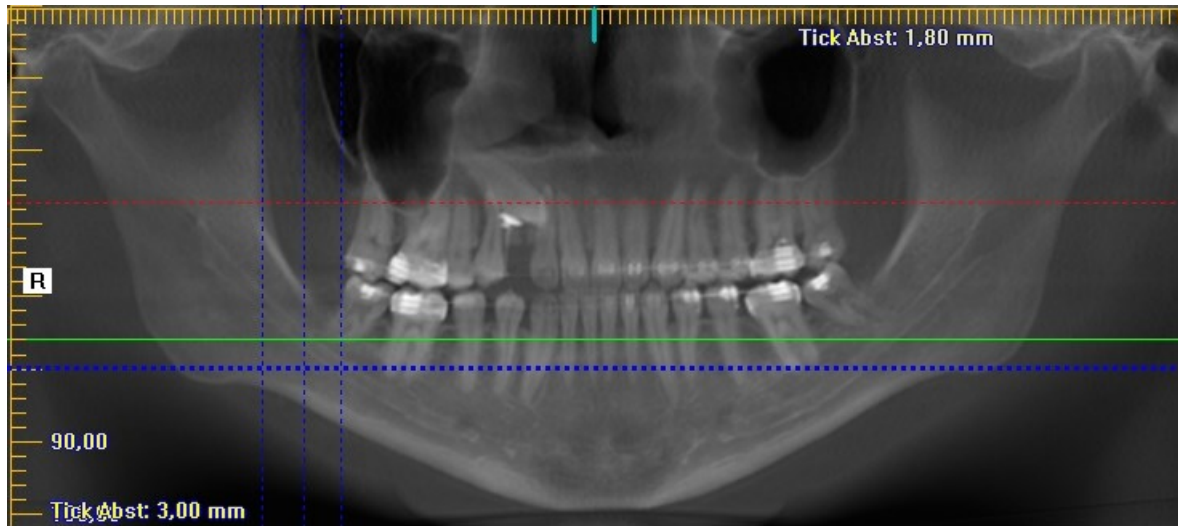


Abb. 3a: Darstellung einer rekonstruierten präoperativen Panoramaschichtaufnahme aus einer digitalen volumentomographischen Aufnahme ohne Berechnung des Canalis mandibulae.

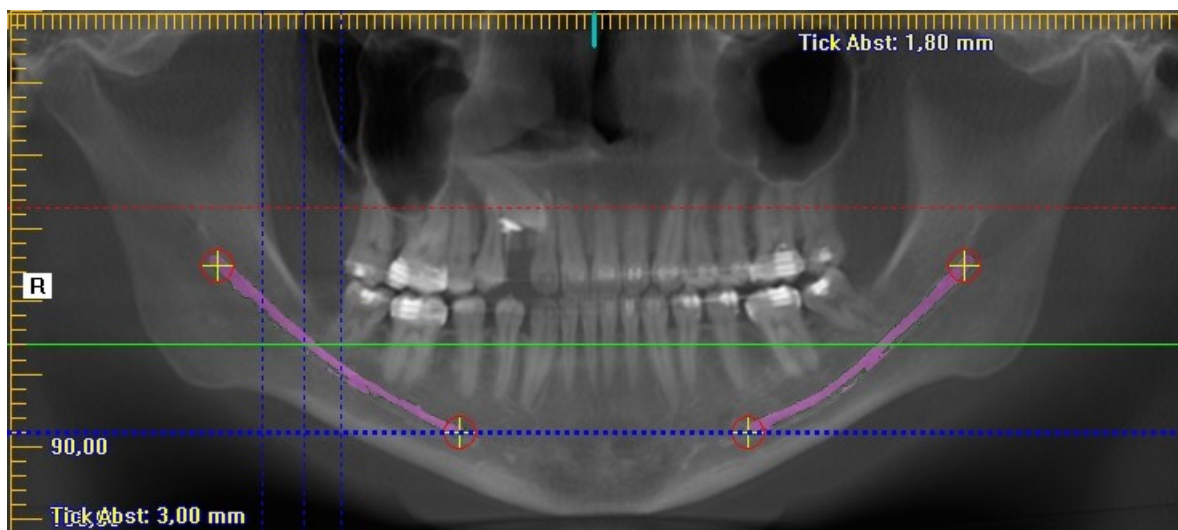


Abb. 3b: Darstellung einer rekonstruierten präoperativen Panoramaschichtaufnahme aus einer digitalen volumentomographischen Aufnahme mit Berechnung des Canalis mandibulae. Die oberen Markierungen (Kreuze) je Unterkieferseite sind auf Höhe des Foramen mandibulae gesetzt, die unteren Markierungen (Kreuze) sind auf Höhe des Foramen mentale gesetzt. Die lilafarbige Markierung kennzeichnet die Berechnung des Software-Programms zur Darstellung des Verlaufs des Canalis mandibulae.



Das Programm bietet die Möglichkeit, in den vorhandenen Datensätzen Messungen sowohl in der zweidimensionalen Ebene als auch in dreidimensionaler Ebene durchzuführen. Aufgrund der noch relativ neuen Technik ist die Studienlage bezüglich der Genauigkeit sehr gering. Zu dem unterscheiden sich die DVT-Geräte erheblich in der Genauigkeit – je nach Hersteller und verwendeter Röntgentechnik [50].

Es wird zwischen zwei Systemen unterschieden, dem Röntgenbildverstärkungsdetektor (*image-intensifier detector*, IID) und dem neueren Flachbilddetektor (*flat-panel detector*, FPD). Letzterer bietet eine höhere räumliche Auflösung, weniger Verzerrung, Dosisreduktion und höhere Dynamik [51, 52]. Einen weiteren Einfluss auf die Genauigkeit hat die verwendete Software zum Auslesen der Rohdaten der Scans, die üblicherweise im *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) Format ausgegeben werden. Spezielle Algorithmen rekonstruieren den dreidimensionalen Datensatz zu einem großen 3D-Bild. Dieser Algorithmus unterscheidet sich wiederum von Software zu Software. Unterschiedliche Einstellungsparameter seitens des Röntgengerätes können sich auf die Genauigkeit der Messungen auswirken. So führt eine geänderte Einstellung der Voxel-Größe zu einer veränderten Auflösung und beeinflusst so die Genauigkeit der Messungen [53]. Der durchschnittliche Messfehler des KaVo 3D eXam-Gerätes (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) wird in den Studien bei einer Voxel-Größe von 0,4 mm (geringe Auflösung) mit  $0,05 \pm 0,04$  mm und bei einer Voxel-Größe von 0,25 mm (hohe Auflösung) mit  $0,07 \pm 0,05$  mm angegeben [50]. Patcas et al. [53] unterscheiden zusätzlich zwischen vertikalen und horizontalen linearen Messungen. Diese rangieren zwischen -0,13 mm und 0,13 mm und weisen bei einer geringeren Auflösung mit einer Voxel-Größe von 0,4 mm höhere Abweichungen auf.

In den Studien werden meist trockene Schädel oder auch in Lösungen eingelegte Schädel verwandt. Die verschiedenen Methoden weisen jedoch spezifische methodische Fehler auf. So wurde in der Studie von Suomalainen et al. [54] ein höherer Messfehler bei trockenen Schädeln gefunden. Der ermittelte Messfehler wurde bei dem verwendeten Gerät, 3D Accutomo, mit 4,7 % an trockenen Schädeln und mit 2,3 % an Schädeln in Saccharoselösung angegeben. Im Vergleich dazu wurden beim Spiral-CT höhere Messfehler mit 8,8 % und mit 6,6 % angegeben. Als weitere Limitation der genannten Studien gilt das fehlende Weichgewebe. Dieses ermöglicht eine präzisere Abgrenzung der Knochenoberfläche in den DVT-Aufnahmen [50, 53]. Keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit hat eine leicht veränderte Positionierung des Schädels oder die rechte bzw. linke Seite des Schädels [55].

Um die Lage des Canalis mandibulae genauestens bestimmen zu können, muss dieser gut ersichtlich im Corpus mandibulae sein und sich klar von den Nachbarstrukturen abgrenzen. Der hohe Kontrast des DVT ermöglicht es, die Knochenstruktur genau zu beurteilen, und bildet speziell den spongiösen Knochen noch besser ab als das Spiral-CT [44, 56]. So lässt sich der Canalis mandibulae durch seine abgrenzende und leicht verdichtete spongiöse Verknöcherung gut vom umgebenen, eher lockereren spongiösen Knochen unterscheiden. Röntgenologisch ähnelt die Wand des Canalis mandibulae meist eher dem kortikalen Knochen [44]. Jedoch weist die Wand des Canalis mandibulae aufgrund der spongiösen Verknöcherung nicht regelmäßig genau definierte Abgrenzungen auf. Die verschiedene Dichte des spongiösen Knochens variiert je nach Position im Knochen des Unterkiefers und ist von Individuum zu Individuum sehr unterschiedlich. Sie weist im posterioren Bereich eine geringere Dichte auf als im anterioren Bereich. Das neurovaskuläre Bündel tritt zusätzlich vermehrt als Plexus auf und verläuft nicht immer deutlich als Kanal [33, 44]. Carter et al. [33] vermuten eine geringe Ossifikation der Kanalwand und folglich eine schlechtere Darstellung im Röntgenbild. Studien zeigen, dass sich der Canalis mandibulae progressiv von posterior nach anterior verkleinert und im anterioren Bereich deutlich schwieriger radiologisch erkennbar wird [35, 57]. Einzeln betrachtete koronale DVT-Bilder erschweren zusätzlich die Lokalisation des Canalis mandibulae. In der Studie von Loftag-Hansen et al. [58] wurde gezeigt, dass die Sichtbarkeit sich deutlich erhöht, wenn der ganze Verlauf des Canalis mandibulae betrachtet wurde. Nur jedes dritte einzeln betrachtete koronale DVT-Bild wurde als „*clearly visible*“ angegeben.

### **1.3.4 Sensibilitätsstörungen des N. alveolaris inferior**

#### **1.3.4.1 Symptomatik**

Eine Läsion des N. alveolaris inferior führt zu Gefühlsstörungen der sensiblen Innervation, die typischerweise im gleichseitigen Bereich der Unterlippe mit Beteiligung des Lippenrots sowie der vestibulären Lippenschleimhaut auftreten und sich bis zum Kinnbereich ziehen. Die Zähne im gleichseitigen Bereich reagieren auf die Kälteprüfung negativ. Je nach Umfang der Läsion kann es zu einer temporären oder dauerhaften Sensibilitätsstörung kommen. Diese wird meist mit einer verminderten oder erhöhten

Empfindungswahrnehmung, aber auch mit einer kompletten Aufhebung der Empfindung angegeben [59]. Eine Beschreibung der Sensibilitätsstörung lässt sich durch die Nomenklatur der veränderten Wahrnehmung (s.u.) genauer angeben. So können klinische Charakteristika neurologischer Ausfälle der somatosensorischen Nerven zu unterschiedlichen subjektiven Wahrnehmungen und Empfindungen führen.

#### **Sensibel: Ausfallserscheinungen**

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| • <b>Hypästhesie</b>         | verringertes Empfinden auf Reize             |
| • <b>Taktile Hypästhesie</b> | Herabsetzung der Berührungsempfindung        |
| • <b>Anästhesie</b>          | Aufhebung des sensiblen Empfindungsvermögens |
| • <b>Taktile Anästhesie</b>  | Aufhebung der Berührungsempfindung           |
| • <b>Hypalgesie</b>          | Herabsetzung der Schmerzempfindung           |
| • <b>Analgesie</b>           | Aufhebung der Schmerzempfindung              |

#### **Sensibel: Reizerscheinung**

- |                        |  |
|------------------------|--|
| • <b>Allodynie</b>     | Schmerzauslösung durch inadäquaten Reiz            |
| • <b>Parästhesie</b>   | spontane Missempfindung                            |
| • <b>Hyperästhesie</b> | Steigerung des Empfindungslevels                   |
| • <b>Hyperpathie</b>   | Überempfindlichkeit aller sensiblen Reizqualitäten |
| • <b>Dysästhesie</b>   | qualitative Empfindungsänderung                    |
| • <b>Kausalgie</b>     | intensiver „Glüh-Brenn-Schmerz“                    |

#### **1.3.4.2 Diagnostik**

Die klinische Untersuchung kann auf unterschiedliche Art und Weise vorgenommen werden. Die Untersuchung im Ausfallgebiet sollte möglichst im Seitenvergleich durchgeführt werden. Dabei helfen eine exakte Markierung und die fotografische Dokumentation des Hautareals, um eine genaue Verlaufskontrolle zu ermöglichen. Sensorischen Prüfungsmethoden aus dem Bereich der Psychophysiologie werden quantitativ genutzt, um die sensorischen Fähigkeiten des Patienten zu beurteilen und zu

dokumentieren. Gegebenenfalls muss entschieden werden, ob weitere therapeutische Maßnahmen notwendig sind. Unterschiedliche Stimuli werden hierbei eingesetzt:

### **Subjektive Messmethoden**

- Druck- und Berührungsempfindung mit einem Wattebausch
- durch eine sterile Einmalkanüle provozierte Schmerzempfindung
- Warm-Kalt-Diskriminierung
- Zweipunkt-Diskriminierung
- Spitz-Stumpf-Diskriminierung

### **Objektive Messmethoden**

- Trigeminal somatosensibel evozierte Potentiale (TSEP)
- Kieferöffnungsreflex (jaw-opening reflex)
- Elektromyographie

Besonders die Zweipunkt-Diskriminierung hat sich in der Praxis bewährt, um eine quantifizierbare Aussage zu treffen und den Verlauf zu erstellen [60]. Dabei wird das Instrument auf einen vorher definierten Abstand eingestellt und über das zu untersuchende Hautareal bewegt. Folgende Referenzwerte gelten für bestimmte Hautareale [60]:

- Supramental 2 - 4 mm
- Unteres Lippenrot 2 - 3 mm

Dabei bestimmt die Größe des rezeptiven Feldes das räumliche Auflösungsvermögen des jeweiligen Hautareals. Der kleinste noch wahrnehmbare Abstand zwischen zwei Reizen entspricht der Größe des rezeptiven Feldes. Bei Verletzungen peripherer Nerven wird die

durchschnittliche Regeneration der Axone mit 1 mm pro Tag angegeben. Die spätere Diskriminationsfähigkeit ist abhängig von dem Grad von Fehlorientierungen der Axone (*Mismatch*) [61]. Eine genaue Differenzierung des Schweregrads ist jedoch durch die klinischen Untersuchungsmethoden wie Zweipunkt-Diskriminierung und Spitz-Stumpf-Diskriminierung nicht möglich [62]. Objektive Verfahren wie die Erfassung von TSEP ermöglichen die Messung der Nervenleitfähigkeit. Durch wiederholte elektrische Reizung kommt es zur Auslösung von Aktionspotenzialen, die von Ober- oder Nadelelektroden im Verlauf abgeleitet werden. Dabei können unter anderem auch in einer modifizierten TSEP-Messung zwei elektrostimulierende Clips im Bereich der Mukosa der Unterlippe und der Gesichtsoberfläche angewendet werden [63]. Die direkte Methode mittels Nadelelektrode wird aufgrund der anatomischen Lage des N. alveolaris inferior im Canalis mandibulae intraoperativ angewendet [64]. In der Literatur gibt es nur wenige Untersuchungen zu intraoperativen Tests des N. alveolaris inferior mittels TSEP [63-67]. Zur Erfassung der Nervenleitfähigkeit durch die TSEP-Messungen kann zwischen partiellen und vollständigen Läsionen des Nervenquerschnitts unterschieden werden [60]. Die Studien unterscheiden sich jedoch erheblich in Bezug auf die Komponenten und die ausgegebene Wellenform bzw. deren Latenzzeit [68]. Teerijoki-Oksa et al. [69] untersuchten die diagnostische Aussagekraft von subjektiven Patientenangaben, klinischen sensorischen Tests und elektrophysiologischen Tests. Messung der Nervenleitfähigkeit mittels TSEP und der quantitative Test der Warm-Kalt Diskriminierung verifizierten am besten die Aussagen des subjektiven Empfindens des Patienten und stellten am besten den Grad der Dysfunktion von dicken und dünnen Nerven dar.

Eine weitere Möglichkeit zur objektiven Messung ist die Registrierung des Kieferöffnungsreflexes, die die Temporalis- bzw. Masseter-Aktivität misst. Durch elektrische oder mechanische Stimulation des zweiten oder dritten Trigeminasastes tritt der Kieferöffnungsreflex infolge der Hemmung der Aktivität der vorinnervierten Kieferschließmuskulatur ein. Die beidseitige Reflexschwelle sowie die Reflexantwort werden gemessen und ergeben so eine klinisch-neurologische Analyse der trigeminalen Sensibilität [70]. Allgemein fehlt es jedoch sowohl an nationalen als auch internationalen standardisierten Untersuchungsmethoden oder Bewertungsverfahren zur Erfassung von Sensibilitätsstörungen [71].

### 1.3.4.3 Risikofaktoren nach dysgnathiechirurgischen Maßnahmen

Läsionen des N. alveolaris inferior stellen die häufigste und wichtigste Komplikation in der Dysgnathiechirurgie des Unterkiefers dar. Auch bei sorgfältigsten Operationstechniken lassen sich Komplikationen beziehungsweise temporäre Sensibilitätsstörungen nicht vermeiden. Diese stellen eher die Regel als Ausnahme dar. Auf dieser Grundlage ist eine umfangreiche Aufklärung und röntgenologische Diagnostik des Canalis mandibulae mittels DVT seitens des Chirurgen unverzichtbar. Die Erkennung knöcherner Strukturen des Canalis mandibulae mittels DVT ist dabei unstrittig [46]. In der Literatur schwanken die Angaben zur Häufigkeit der postoperativen Sensibilitätsstörungen aufgrund von unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und Operationstechniken deutlich. Die Angaben von postoperativen Sensibilitätsstörungen einen Monat nach der Operation bewegen sich zwischen 25 - 98 %. Dieser hohe Prozentsatz senkt sich nach sechs Monaten je nach Studie auf 11 - 85 % [13, 65, 72-75]. Je nach Studie werden Sensibilitätsstörungen ein Jahr postoperativ mit 0 - 40 % angegeben [69, 75-77]. Eine deutliche Verringerung tritt bereits nach drei Monaten auf [69], die mit der Zeit der Regeneration demyelinisierter Nerven von 4 Monaten korreliert [78]. Postoperative Sensibilitätsstörungen werden allgemein mit mechanischen Traumen des N. alveolaris inferior im Zusammenhang gebracht. Jedoch treten diese auch auf, wenn der Nerv während der Operation sichtlich intakt bleibt [75, 79].

In vergangenen Studien konnte gezeigt werden, dass bestimmte Faktoren wie das Alter, die Strecke der Vor- und Zurücksetzung des Unterkiefers sowie zusätzliche Genioplastik zu einem erhöhten Risiko länger andauernder oder aber auch permanenter Sensibilitätsstörungen führen können. Das Patientenalter spielt eine wesentliche Rolle. Gerade Patienten über 30 Jahre zeigen eine deutlich höhere Inzidenz potentieller Sensibilitätsstörungen und benötigen längere Erholungszeiten beim Auftreten solcher Sensibilitätsstörungen [75-77, 80]. Verweij et al. [76] untersuchten 263 Patienten, von denen 15,2 % der über 30-jährigen Patienten nach einem Jahr noch Sensibilitätsstörungen aufwiesen, aber nur 4,8 % bzw. 7,9 % der unter 19-jährigen bzw. den 19-30-jährigen. Ylikontiola et al. [75] untersuchten eine kleine Gruppe von 30 Patienten, bei denen eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter und dem Auftreten von Sensibilitätsstörungen zu verzeichnen war. Sowohl bei den über 30-jährigen als auch bei den unter 30-jährigen gaben die Patienten keine ausgeprägte Sensibilitätsstörung an, die länger als ein Jahr andauert. Jedoch verweisen die Autoren darauf, dass Patienten, die eine milde Sensibilitätsstörung hatten, diese im Laufe der Zeit adaptierten und als „normal“ angaben.

In einem kleinen Patientenkollektiv von 20 Patienten, untersucht von Teerijoki-Oksa et al. [81], konnten keine Korrelation des Alters der Patienten zum elektrophysikalischen Grad der Nervenschädigung gefunden werden. In der Studie von Alolayan et al. [77], die über einen zweijährigen Untersuchungszeitraum ging und 238 Patienten untersuchte, konnte gezeigt werden, dass über 30-jährige Patienten zwar in den ersten sechs Monaten eine höhere Rate an Sensibilitätsstörungen aufwiesen als unter 30-jährigen Patienten, sich aber ein bzw. zwei Jahre postoperativ wieder erholten und keine signifikant erhöhte Anzahl von Sensibilitätsstörungen im Vergleich zu den jüngeren Patienten hatten. Eine deutliche Korrelation zwischen dem Alter der Patienten und zusätzlichen Risikofaktoren wie längere Verlagerungsstrecke und Genioplastik zeigte sich in der Studie von Van Sickels et al. [80]. Ältere Patienten wiesen deutlich mehr postoperative Sensibilitätsstörungen auf als jüngere Patienten, aber auch gleichaltrige Patienten ohne zusätzliche Genioplastik bzw. längere Verlagerungsstrecke.

Ein weiterer Faktor, der Sensibilitätsstörungen begünstigen kann, ist die Verlagerungsstrecke von über 6 - 7 mm. Während der Vorverlagerung kommt es zu einer Dehnung bzw. zu einer Stauchung bei einer Rückverlagerung des N. alveolaris inferior. Mehrere Autoren beschreiben einen positiven Einfluss von größeren Verlagerungsstrecken über 6 - 7 mm und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen [75, 80, 82]. Kuhlefeld et al. [73] fanden keine Korrelation zwischen der Länge der Verlagerungsstrecke und dem Auftreten von Sensibilitätsstörungen. Die Verlagerungsstrecke wurde jedoch von den Autoren in drei Kategorien ( $<5$  mm, 5 - 7 mm, und  $>7$  mm) unterteilt und nicht wie bei den anderen Studien in zwei Kategorien ( $<7$  mm und  $\geq 7$  mm).

Eine zusätzliche Genioplastik wirkt sich positiv auf postoperative Sensibilitätsstörungen aus. Als Grund dafür wird die enge Beziehung des N. mentalis zum Operationsgebiet angenommen. Direkte Nerventraumen oder Streckungen können durch chirurgische Instrumente ausgelöst werden. So konnte gezeigt werden, dass Patienten, die eine Genioplastik zusätzlich zu der Unterkieferverlagerung erhielten, mehr Sensibilitätsstörungen angaben als Patienten, die keine Genioplastik bekommen hatten [77]. In der Studie von Van Sickels et al. [80] wiesen Patienten mit einer Genioplastik nur initial in den ersten Wochen eine erhöhte Sensibilitätsstörung auf. Dabei gaben gerade ältere Patienten mit Genioplastik signifikant mehr Sensibilitätsstörungen an als die jüngeren Patienten. Bezogen auf eine zweijährige Nachuntersuchung erholten sich jedoch auch diese älteren Patienten und zeigten kein erhöhtes Risiko für permanente Sensibilitätsstörungen.

Keinen Einfluss auf einer Erhöhung postoperativer Sensibilitätsstörungen haben das Geschlecht, die Operationsseite sowie eine zusätzliche Oberkieferverlagerung in Form eines bimaxillären Eingriffes [75, 76, 79]. Die vorherrschende Dysgnathie des Patienten, Angle-Klasse II oder Angle-Klasse III, und die daraus resultierende Vor- bzw. Rückverlagerung des Unterkiefers führen zu keiner Erhöhung von postoperativen Sensibilitätsstörungen [76, 79], die Erfahrung des Operateurs hingegen kann einen möglichen Einfluss auf das Auftreten postoperativer Sensibilitätsstörungen haben [79]. Patienten, die von einem unerfahreneren Operateur operiert wurden, gaben in der Studie von Westermarck et al. [79] mehr Sensibilitätsstörungen an als Patienten, die von einem erfahrenen Operateur operiert wurden. Als möglicher Grund wird die Beherrschung der medialen Freilegung und Osteotomie im Ramus mandibulae angegeben. Dabei kann es zu traumatischen Biegungen des N. alveolaris inferior kommen. Westermarck et al. [79] beschreiben diese chirurgische Prozedur als sehr schwierig und zeitintensiv zu erlernen. Im Gegensatz dazu fand die Studie von Alolayan et al. [77] keinen Zusammenhang zwischen einem unerfahrenen und einem erfahrenen Operateur.

Der N. alveolaris inferior und dessen Endast, der N. mentalis, können durch den operativen Eingriff auf unterschiedlichste Art und Weise traumatisiert, irritiert und beschädigt werden. Sie können indirekt wie zum Beispiel durch Kompression während der Fixierung, Bildung von postoperativen Ödemen, Hämatomen oder direkt durch Streckung, Stauchung, Biegung und Durchtrennung des Nervens entstehen [83].

Die Freilegung und Präparation des medialen Weichgewebes am Ramus mandibulae ist eine besonders schwierige Prozedur und verlangt vom Operateur ein vorsichtiges Vorgehen. Die Operationstechnik nach Obwegeser/Dal Pont, modifiziert nach Epker, empfiehlt hier keine vollständige Dissektion des medialen Segmentes bis zum posterioren Ende des Ramus mandibulae (siehe Abb. 10 d). Dabei wird vorsichtig unter Sicht das Neurovaskuläre Bündel frei gelegt, um Komplikationen im Ödeme, direkte Nerventraumen und hämorrhagische Nekrosen zu vermeiden. Gerade ein Abgleiten in den retromolaren Raum kann zu einer Verletzung der V. retromandibularis und des Stamms des N. facialis führen.

Während der sagittalen Spaltung des aufsteigenden Unterkieferastes kann es zu einer vollständigen oder teilweisen Eröffnung des Canalis mandibulae kommen. Ist dieser nicht eröffnet, ist eine Verletzung des Nervens während der Spaltung sehr unwahrscheinlich



[28]. Weitaus häufiger kommt es jedoch zu einer teilweisen Eröffnung, wobei deutliche Impressionen des Kanals im lateralen kiefergelenkstragenden Fragment ersichtlich sind. Gerade hierbei sind direkte Traumen nicht auszuschließen oder auch Einblutungen in den Kanal, die zu einem erhöhten Druck führen [28]. Mehrere Studien konnten eine Beziehung zwischen postoperativen Sensibilitätsstörungen und dem Grad der Nervenmanipulation feststellen [73, 75, 84, 85], speziell wenn der N. alveolaris inferior komplett exponiert war oder von einem Fragment frei präpariert werden musste. Jedoch treten Sensibilitätsstörungen ebenfalls auf, wenn der N. alveolaris intraoperativ sichtbar intakt bleibt [75, 79]. Andere Studien wiederum verweisen darauf, dass die Exposition einen geringeren Einfluss hat als angenommen. Vielmehr wird die Beherrschung der Präparation des Weichgewebes an der medialen Osteotomie als Grund für Sensibilitätsstörungen angenommen [79, 81, 86].

#### **1.4 Digitale Volumentomographie**

Die digitale Volumentomographie (DVT), (engl.: *cone beam computed tomography*, CBCT) ist eine relativ neue digitale Röntgenmethode, die sich in den letzten zehn Jahren mehr und mehr im klinischen Alltag etabliert hat. Sie ermöglicht eine genaue Querschnittsdiagnostik der Strukturen in allen drei Raumebenen [87].

Das erste DVT-Gerät wurde in Europa im Jahr 1996 mit dem NewTom 9000 von der Firma QR s.r.l Italia, Verona eingeführt. Erst fünf Jahre später im Jahr 2001 kam das erste Gerät auf den amerikanischen Markt. DVT-Geräte verwenden einen 2D-Röntgendetektor in Kombination mit einem konusförmigen Strahlenbündel für die volumetrische Tomographie. In definierten Abständen werden Einzelaufnahmen produziert und mittels Algorithmus zu einem dreidimensionalen Datensatz berechnet. Dabei reicht eine 360 Grad Drehung um den fixierten Kopf des Patienten aus. Röntgenquelle und Detektor umfahren auf einer zirkulären Bahn synchron den Patienten. Die aus den Daten ermittelte Rekonstruktion wird als zylinderförmiger Datensatz ausgegeben, dem sogenannten Voxel. Die Größe des Voxels bestimmt die Auflösungsfähigkeit und wird im Zehntelmillimeter-Bereich angegeben [88]. Jedes Voxel hat einen bestimmten Graustufen-Wert, der die röntgenologische Dichte der jeweiligen Struktur repräsentiert. Die meisten Systeme verwenden 12 Bit-Aufnahmen, was einem Graustufenbereich von 4096 Graustufen entspricht. Eine geringe Voxel-Größe geht mit einer erhöhten Aufnahmezeit und somit

einer höheren effektiven Strahlendosis einher. Zudem werden anatomische Strukturen detailreicher dargestellt, führen zu allgemein „weicheren“ Bildern und bilden weniger Metallartefakte aus [50].

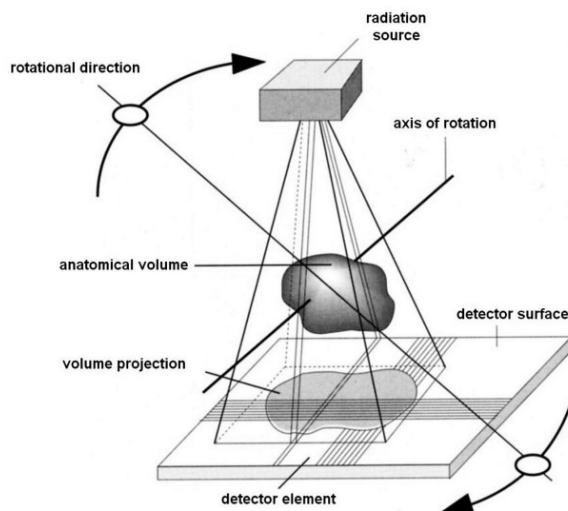


Abb. 4: Die Abbildung zeigt das technische Prinzip der digitalen Volumentomographie. Der Detektor und die Röntgenquelle umfahren das mittig positionierte anatomische Volumen. Dabei wird von der Röntgenquelle ein konusförmiges Strahlenbündel genutzt [89].

Generell wird zwischen zwei unterschiedlichen Systemen unterschieden. Die ersten Geräte, die auf den Markt kamen, nutzten einen Röntgenbildverstärkungsdetektor (*image-intensifier detector*, IID) zur Aufnahme. Die neueren und heutzutage gängigen Geräte nutzen einen Flachbilddetektor (*flat-panel detector*, FPD). Diese bieten im Vergleich zu den Geräten mit einem Röntgenbildverstärkungsdetektor eine höhere räumliche Auflösung, weniger Verzerrung, Dosisreduktion und höhere Dynamik. Zudem ermöglichen sie eine kompaktere Bauweise und eine schnellere Auslesung der ermittelten Daten [51, 52]. Weiter unterscheiden sich die Geräte der Hersteller in ihrer Größe des abgebildeten Volumens, *Field of View* (FOV), und der Art der Patientenpositionierung – sitzend, liegend oder stehend. Die meisten DVT-Geräte kommen mit einer vorinstallierten Software zur Bildbearbeitung und vielen Zusatzfunktionen wie Messungen bestimmter Distanzen oder dreidimensionale Planung im Bereich der Dysgnathiechirurgie.

Im Rahmen der rasanten Entwicklung von digitalen röntgenologischen Bildgebungssystemen, vor allem mit der Einführung der ersten Computertomographie von

Sir Hounsfields in den 1970er Jahren, entschied man sich für eine Vereinheitlichung der zu bearbeitenden Daten. Das American College of Radiology (ACR) und der National Electrical Manufacturers Association (NEMA) bildeten im Jahr 1983 ein Komitee, um einen Standard zu entwickeln. 1985 wurde der erste Standard unter dem Namen ACR/NEMA veröffentlicht. Im Jahr 1993 änderte das Komitee den Namen in Digital Imaging and Communications in Medicine. Der DICOM-Standard ermöglicht die Bearbeitung und Weitergabe der Röntgen-Datensätze, unabhängig von welchem DVT-Gerät die Röntgen-Aufnahmen erstellt werden [90].

Der weitaus größte Vorteil des DVT ist die niedrige Strahlenbelastung im Vergleich zu dem CT. Die Strahlenbelastung unterliegt jedoch starken Schwankungen und ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich [46]. In der Metaanalyse aus S2k-Leitlinie zur dentalen digitalen Volumentomographie ergeben sich folgende durchschnittliche effektive Dosiswerte, die nach der vorgeschlagenen Unterteilung der FOV von Ludlow und Ivanovic [47] wie folgt angegeben werden: FOV kleiner als 10 cm, 92  $\mu$ Sv (Median 49  $\mu$ Sv); mittlere FOV zwischen 10 cm und 15 cm, 118  $\mu$ Sv (Median 87  $\mu$ Sv); größerer FOV über 15 cm, 114  $\mu$ Sv (Median 73  $\mu$ Sv) [46]. Die unterschiedlichen FOV erklären auch die großen Schwankungen der Angaben der Strahlenbelastung einzelner Hersteller. Jedoch fällt auf, dass der mittlere FOV größere effektive Dosen hat als der FOV über 15 cm. Dies ist laut Studie den unterschiedlichen Einstellungsmöglichkeiten der Geräte geschuldet [46]. Im Vergleich wird das Orthopantomogramm mit Werten von 10  $\mu$ Sv bis 20  $\mu$ Sv angegeben [46, 91]. Gegenüber dem CT erreicht das DVT eine deutliche Reduktion der effektiven Strahlendosis [47, 48], diese wird beim CT mit  $778 \pm 334$   $\mu$ Sv angegeben [47, 92]. Zugleich treten Metallartefakte, wie sie bei metallischen Füllungen oder gerade bei Osteosyntheseplatten postoperativ nach einer Dysgnathiechirurgie zu verzeichnen sind, beim DVT deutlich seltener auf [49]. Eher sorgen Bewegungsartefakte beim DVT für Qualitätseinbußen, während sie beim CT fast gar nicht zu beobachten sind [49]. Folglich ist eine suffiziente Fixierung und Anweisung des Patienten von großer Wichtigkeit. Bei der Beurteilung von sehr feinen Strukturen wie dem Parodontalspalt ist das CT dem DVT überlegen, da es diese feinen Strukturen deutlicher darstellt [49]. Dagegen ist das DVT in der Dysgnathiechirurgie gerade in Bezug auf metallische Osteosyntheseplatten und deren geringe Artefakt-Bildung von Vorteil [49]. Die ausgegebenen dreidimensionalen Datensätze erzielen eine hohe Dimensionstreue und werden ungefähr in Originalgröße dargestellt [46]. In vergangenen Studien bezogen auf das KaVo 3D eXam-Gerät (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) gaben diese Messgenauigkeiten von -0,13 mm bis

0,13 mm bei Voxel-Größen von 0,4 mm und 0,125 mm [53] bzw. bei einer Voxel-Größe von 0,4 mm (geringe Auflösung) mit  $0,05 \pm 0,04$  mm und bei einer Voxel-Größe von 0,25 mm (hohe Auflösung) mit  $0,07 \pm 0,05$  mm an [50].

In der Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie werden mögliche Indikationen für den Einsatz des DVT genannt. Diese beinhalten die röntgenologische Diagnostik und Operationsplanung bei komplexen Fehlbildungen [87]. Das DVT macht es gerade erst möglich, eine Aussage zur räumlichen Zuordnung und Tiefenausdehnung, zur Breite der Knochenverhältnisse sowie zur Lage des Canalis mandibulae zu geben [87], ohne ein CT anwenden zu müssen, das eine deutlich höhere Strahlenbelastung hat. Der Aussagewert des DVTs zur Beurteilung des Canalis mandibulae ist in der Literatur anerkannt [46, 87].

Es gilt wie bei jeder röntgenologischen Untersuchung, dass die rechtfertigende Indikation zur Aufnahme, also der gesundheitliche Nutzen der Strahlenbelastung überwiegt. Allem voran gilt auch bei dem DVT das ALARA Prinzip (*as low as reasonably achievable*). So ist gerade beim DVT auf die korrekte Einstellung des FOV und der Voxel-Größe zu achten. Es gilt zu hinterfragen, ob ein geringeres FOV und eine höhere Voxel-Größe die gewünschte Information und entsprechende Bildqualität bereitstellt. Die Einstellung der FOV und die Voxel-Größe sowie die damit verbundene Auflösung und Genauigkeit der Aufnahmen geht einher mit längeren Aufnahmezeiten und erhöht so die Strahlenbelastung. Die Röntgenverordnung verlangt, dass alternative Aufnahmen wie das konventionelle Orthopantomogramm bei der rechtfertigenden Indikation in Betracht gezogen werden [93]. Die deutliche Verringerung der Strahlenbelastung hat der dreidimensionalen Bildgebung mehr Indikationsbereiche aufgezeigt und sie zu einem unverzichtbaren diagnostischen Medium zur besseren Einschätzung gefährdeter anatomischer Gegebenheiten gemacht.

## **1.5 Ziel der Arbeit**

Ziel dieser retrospektiven Studie war die prä- und postoperative Lage des Canalis mandibulae mittels DVT zu untersuchen. Auffällige präoperative Verläufe, wie ein weit bukkal verlaufender Canalis mandibulae wurden bezüglich der postoperativen Lage und Kreuzung der Osteotomie-Linie untersucht. Zusätzlich fand eine Auswertung möglicher

dokumentierter postoperativer Sensibilitätsstörungen statt. Keine Studie hat bisher in postoperativen DVT-Aufnahmen die Lage des Canalis mandibulae zur Osteotomie-Linie und ein mögliches erhöhtes Risiko für postoperative Sensibilitätsstörungen untersucht.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientengut**

Die retrospektive Studie befasst sich mit 87 Patienten, die sich zwischen 2011 und 2013 in der Praxisklinik an der Promenade in Münster, Deutschland, einer Dygnathieoperation unterzogen. Die Umstellungsosteotomie fand entweder nur im Unterkiefer oder in Form einer bignathen Umstellungsosteotomie in Ober- und Unterkiefer statt. Zur Unterkieferumstellungsosteotomie wurde bei einigen Patienten zusätzlich eine Genioplastik vorgenommen. Alle Patienten wurden von demselben erfahrenen Operateur mit der Unterkieferosteotomietechnik nach Obwegese/Dal Pont, modifiziert nach Epker, operiert. Der Unterkiefer wurde mit monokortikalen Schrauben und u-förmigen Miniosteosyntheseplatten fixiert (siehe Abb. 10 a).

Prä- und postoperative DVT-Aufnahmen von jedem Patienten wurden mit dem KaVo 3D eXam-Gerät (KaVo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) angefertigt. Die postoperativen DVT-Aufnahmen wurden am zweiten postoperativen Tag in der Praxisklinik an der Promenade erstellt. Die rechtfertigende Indikation zur Anfertigung der DVT-Aufnahmen war unabhängig von dieser Studie.

### **2.2 Methodik**

#### **2.2.1 Studienaufbau**

In der retrospektiven Studie wurden prä- und postoperative dreidimensionale Röntgendaten der Patienten vermessen und ausgewertet. Aus den Patientenakten wurden weitere Daten wie Geburtstag, Geschlecht, Operationsdatum, Versicherungsstatuts, Operationsart, Diagnose, Untersuchung der Sensibilität durch die Patientenummer anonymisiert erhoben. Das Aktenzeichen des Ethikvotums ist 4437.

Die prä- und postoperativen dreidimensionalen Röntgenaufnahmen wurden mit dem KaVo 3D eXam-Gerät (KaVo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) in sitzender Position angefertigt. Der Kopf wurde anhand der Frankfurter Horizontale eingestellt, die waagrecht zum unteren Rand der Orbita und dem oberen Rand des Porus acusticus

externus verläuft. Die Aufnahmen wurden mit folgendenden eingestellten Parametern durchgeführt: 90 - 120 kVp, 5 - 8 mA, 8,5 s, Voxel-Größe 0,4 mm, FOV von 23 x 17 cm. Die daraus entstandenen dreidimensionalen Datensätze wurden im DICOM Format ausgegeben und mit der eXam Vision-Software (Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) geöffnet und bearbeitet. Zur Auswertung der Röntgendaten stand ein Laptop Lenovo ThinkPad T410s (Morrisville, North Carolina, USA) mit einer Displayauflösung von 1440 x 900 bereit.

### **2.2.2 Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Längenmessungen**

Zur Determinierung der prä- und postoperativen Position des Canalis mandibulae wurde ein eigenständiges Messprotokoll angefertigt. Dies beinhaltet die Ausrichtung der DVT-Aufnahme sowie die Messebene, in der die Position des Canalis mandibulae durch Vermessung von unterschiedlichen Messpunkten durchgeführt wurde. Die Ausrichtung, die Messebene und die Messpunkte sind wie folgt definiert:

Die Ausrichtung der DVT-Aufnahme fand in der sagittalen Ansicht anhand der Frankfurter Horizontalen statt. In der koronalen Ebene wurde die DVT-Aufnahme waagrecht zu dem unteren Rand der Orbita ausgerichtet. Drei präoperative Positionen wurden auf beiden Unterkieferseiten in der Ansicht einer rekonstruierten Panoramaschichtaufnahme wie folgt gesetzt: Position 1 (P1), Höhe der distalen Wurzelspitze des ersten Molaren; Position 2 (P2), mesiale Wurzelspitze des zweiten Molaren; Position 3 (P3), vorderer Rand des aufsteigenden Astes des Unterkiefers (siehe Abb. 5). In der postoperativen Aufnahme wurde die Position 4 (P4) auf Höhe der bukkalen vertikalen Osteotomie gesetzt (siehe Abb. 5). Diese befindet sich zwischen dem ersten und zweiten Molaren.

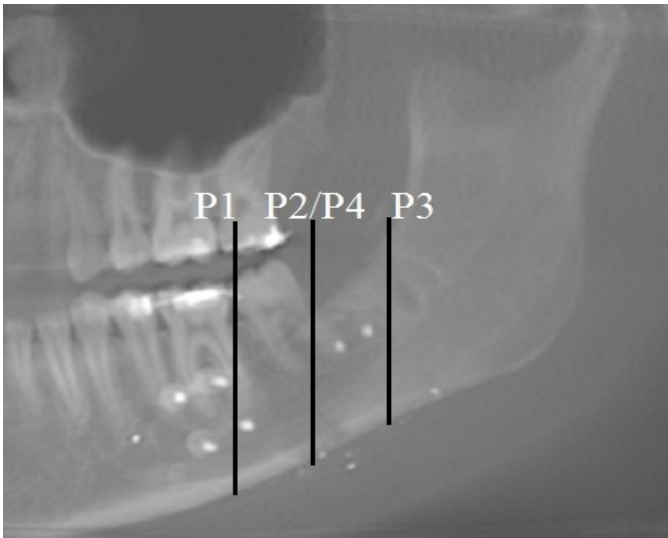


Abb. 5: Das Diagramm zeigt die linke Ober- und Unterkieferseite in der Ansicht einer postoperativen rekonstruierten halbseitigen Panoramaschichtaufnahme aus einer digitalen volumetomographischen Aufnahme. Grafisch eingezeichnet sind die jeweiligen Positionen der Messung (P1, P2, P3, P4), an denen die Distanzen in der koronalen Ebene ausgemessen wurden. Ausgerichtet ist die Aufnahme anhand der Frankfurter Horizontale.

An den definierten Positionen P1, P2, P3 und P4 fanden folgende Längenmessungen zur Determinierung der Position des Canalis mandibulae statt: Die vertikale Distanz B wurde von der Mitte des basalen kortikalen Knochens vertikal zur Mitte des Canalis mandibulae gemessen. Die horizontale Distanz L wurde von dem lingualen kortikalen Knochen waagrecht bis zur Mitte des Canalis mandibulae gemessen (siehe Abb. 6 a-d). In der Position 2 wurde zusätzlich die bukkale Distanz Buk horizontal von dem bukkalen kortikalen Knochen bis zur Mitte des Canalis mandibulae gemessen. Zudem wurde die Breite Br des Knochens auf der mittleren Höhe des Canalis mandibulae gemessen (siehe Abb. 6 d).



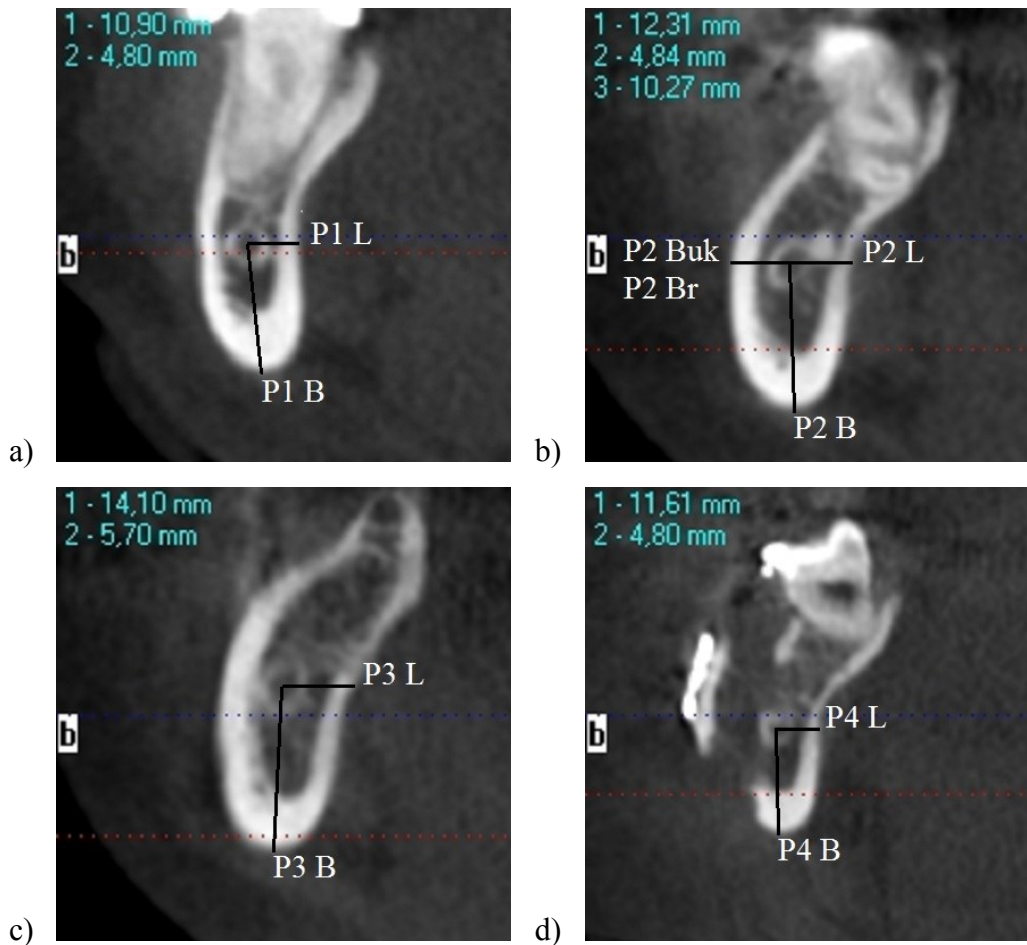


Abb. 6 a/b/c/d: Die Diagramme zeigen in der koronalen Ebene einer präoperativen (a, b, c) und postoperativen (d) digitalen volumetomographischen Aufnahme des rechten Unterkiefers die jeweiligen durchgeführten Messungen an den determinierten Positionen P1, P2, P3, P4.

Die Durchführung der Messungen der Lage des Canalis mandibulae an den Positionen P1, P2, P3 fand wie folgt statt: Die präoperative DVT-Aufnahme wurde geöffnet und in der sagittalen Ansicht anhand der Frankfurter Horizontale und in der koronalen Ansicht anhand der unteren Ränder der Orbita ausgerichtet. Die verwendete Software ermöglicht durch ein horizontales und vertikales Raster die genaue Einstellung dieser Ebenen. Daraufhin wurde die DVT-Aufnahme in der koronalen Ansicht geöffnet, wie es in Abb. 7 dargestellt ist. Zuerst wurde die Sichtbarkeit des Canalis mandibulae beurteilt. War der Canalis mandibulae nicht erkennbar, wurde er als „nicht erkennbar“ deklariert (siehe Abb. 8). Folglich waren dort keine Messungen möglich. War der Canalis mandibulae ausreichend gut ersichtlicher, wurden die Messungen mittels eines Entfernungs-Programms der eXam Vision-Software (Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) an den Positionen P1, P2 und P3 (wie oben beschrieben) durchgeführt. In den postoperativen

Aufnahmen wurde das gleiche Schema angewendet und ebenso wurden die Messungen an Position P4 durchgeführt.

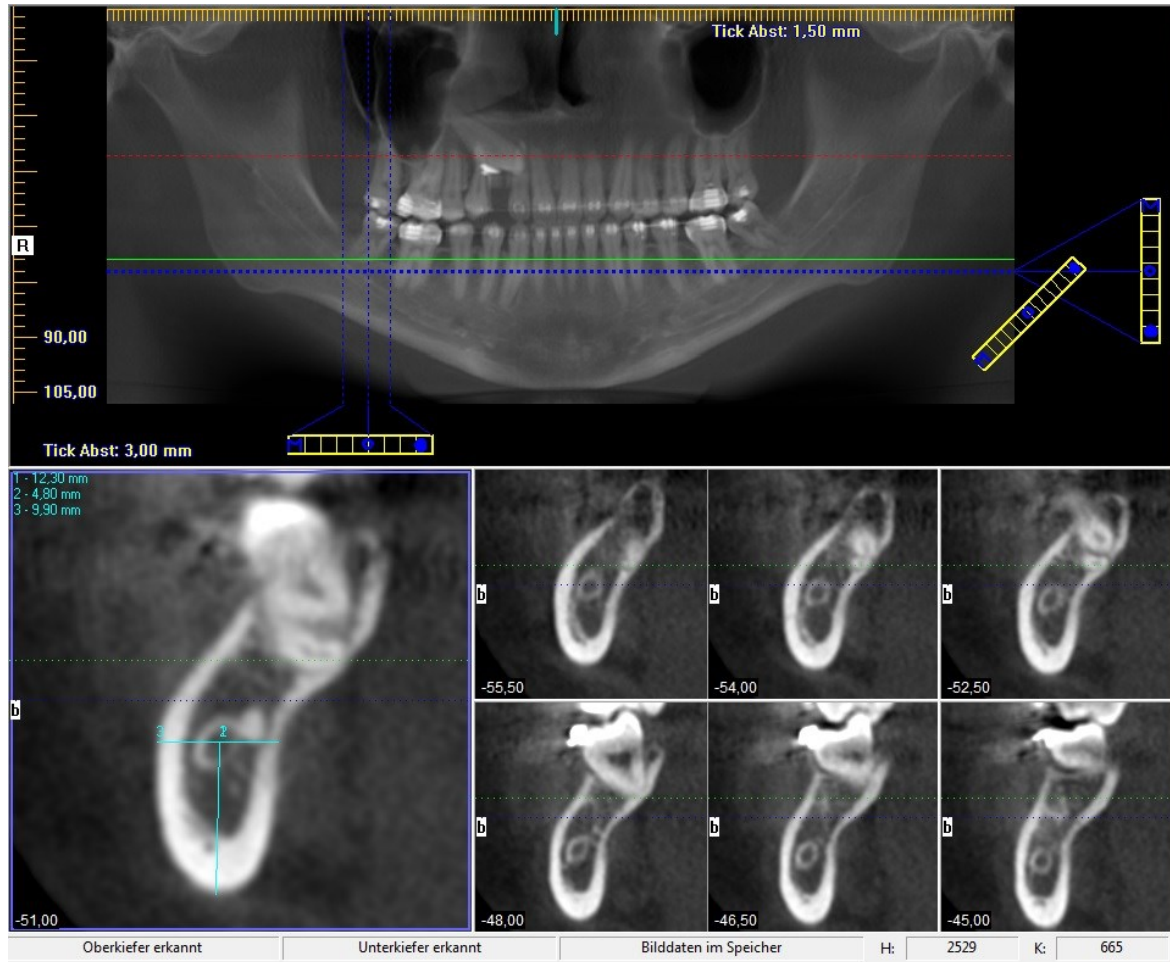


Abb. 7: Die Darstellung zeigt einen Ausschnitt der eXam Vision-Software (Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) zur Vermessung der Position des Canalis mandibulae. Im oberen Teil ist der Ober- und Unterkiefer in der rekonstruierten Panoramaschichtaufnahme aus einer digitalen volumentomographischen Aufnahme dargestellt. Die mittig verlaufende vertikale gepunktete Linie stellt die Ebene des unten links vergrößerten Bildes dar. Die rechten und linken gepunkteten Linien stellen die Begrenzung der sechs kleinen Bilder dar. Das obere linke Bild der sechs Bilder zeigt die posteriore, das untere rechte Bild die anteriore Begrenzung. Die blaue und die grüne gepunktete horizontale Linie in der oberen Panorama-Ansicht finden sich in jedem der kleinen Bilder wieder und markieren deren Ebene.

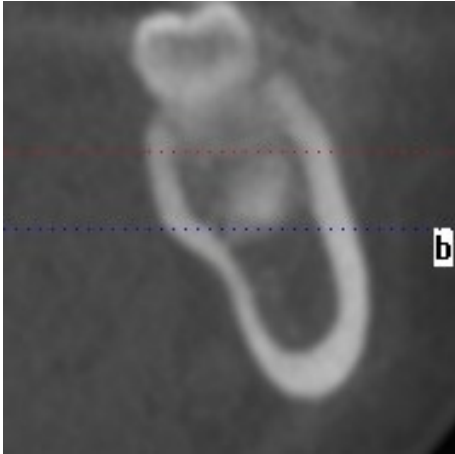


Abb. 8: Das Diagramm zeigt in der koronalen Ebene einer präoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahme des linken Unterkiefers an Position P1 einen nicht erkennbaren Canalis mandibulae.

### 2.2.3 Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Rastereinteilung

Zusätzlich zu den Messungen der Lage des Canalis mandibulae wurde in den Ebenen der Positionen P1, P2, P3 die Lage des Canalis mandibulae im Corpus mandibulae bezüglich der spongiösen und kortikalen Knochenverhältnisse untersucht. Der Canalis mandibulae wurde in drei Lagen in der horizontalen (bukkal-lingualen) Ausrichtung und in der vertikalen (basal-apikalen) wie folgt unterteilt: In der Horizontalen lingual (l): liegt lingual auf der Kortikalis auf oder ist sehr dicht an der Kortikalis  $\leq 1$  mm, unabhängig von der Breite der Kortikalis; zentral (c): liegt mittig ohne Kontakt zur Kortikalis, mindestens über 1 mm entfernt von der Kortikalis; bukkal (b): liegt bukkal der Kortikalis auf oder ist sehr dicht an der Kortikalis  $\leq 1$  mm, unabhängig von der Breite der Kortikalis; in der Vertikalen apikal (a): liegt im oberen Drittel der Strecke Wurzelspitze - basale Kortikalis unabhängig von der Dicke der Kortikalis; intermediär (i): liegt im mittleren Drittel der Strecke Wurzelspitze - basale Kortikalis; basal (b): liegt im unteren Drittel der Strecke Wurzelspitze - basale Kortikalis.

## 2.2.4 Postoperativer Verlauf des Canalis mandibulae

In postoperativen Aufnahmen wurde der gesamte Verlauf des Canalis mandibulae in Bezug auf die Osteotomie-Linie untersucht. Dabei wurden Auffälligkeiten wie Kreuzung der Osteotomie-Linie von dem zahntragenden medialen Fragment zum kiefergelenkstragenden lateralen Fragment, sehr nahe Verläufe zur Osteotomie-Linie mit Eröffnung des Canalis mandibulae oder Verläufe ohne Auffälligkeiten dokumentiert (siehe Abb. 9 a und b).

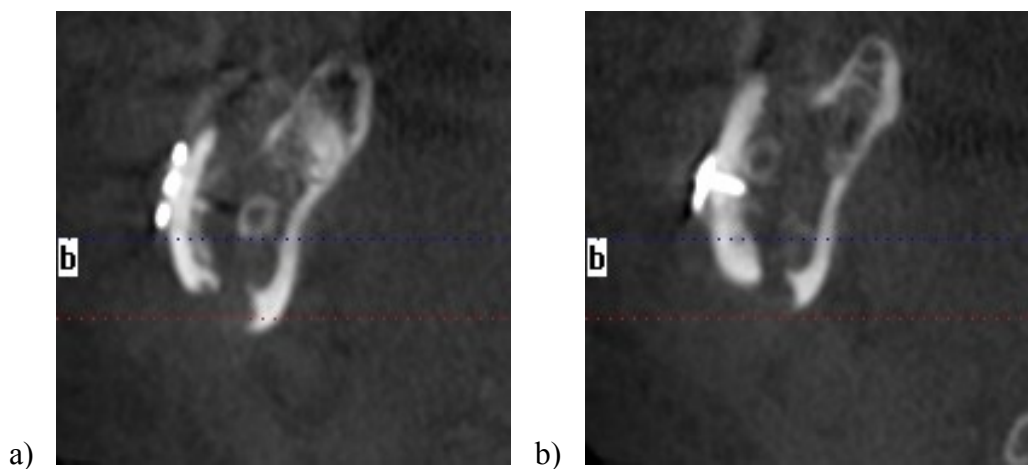


Abb. 9 a/b: Die Diagramme zeigen eine postoperative digitale volumetomographische Aufnahme in der koronalen Ansicht des rechten Unterkiefers. Das Diagramm a) liegt weiter anterior und zeigt den medialen Verlauf des Canalis mandibulae im zahntragenden medialen Fragment. Das Diagramm b) liegt weiter posterior, der Canalis mandibulae kreuzt die Osteotomie-Linie und liegt im posterioren Bereich im kiefergelenkstragenden lateralen Fragment.

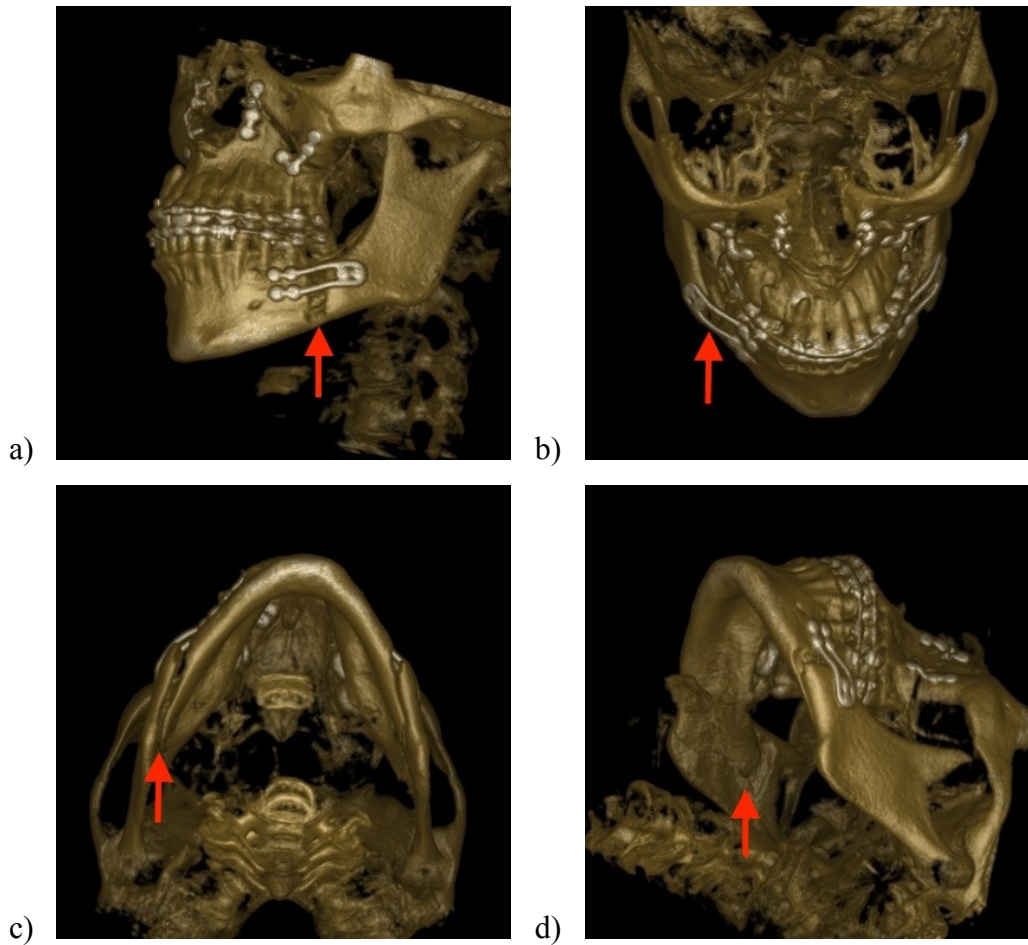


Abb. 10 a/b/c/d: Dreidimensionale Rekonstruktion einer postoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahme; a) laterale Ansicht mit Blick auf die vertikale bukkale Osteotomie-Linie (roter Pfeil) und die Fixierung mittels Miniosteosyntheseplatten; b) schräg kraniale Ansicht mit Blick auf die sagittale Spaltung (roter Pfeil); c) kaudale Ansicht mit Blick auf die sagittale Spaltung am Unterkieferrand (roter Pfeil); d) schräge kaudal laterale Ansicht auf die mediale Seite des Ramus mandibulae, keine Extension der medialen Osteotomie bis zum posterioren Rand des Unterkiefers (roter Pfeil).

### 2.2.5 Sensibilität des N. alveolaris inferior

Eine Sensibilitätsuntersuchung des N. alveolaris inferior fand in jeder Nachuntersuchung statt. Die Patienten gaben ihre subjektiv empfundene Gefühlswahrnehmung der Unterlippe und des Kinnbereichs an. Das Ergebnis der Sensibilitätsuntersuchung wurde in jeder Nachuntersuchung dokumentiert und ist aus der Patientenakte ersichtlich. Umfangreichere Untersuchungen der Sensibilität durch eine Zweipunkt-Diskriminierung fanden bei den Patienten erst bei länger bestehenden oder auffälligen postoperativen Sensibilitätsstörungen statt. Untersucht wurden alle Nachsorgetermine in der Patientenakte.

## 2.3 Statistik

Alle erhobenen Messungen und Daten wurden mit Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) erfasst. Die deskriptive Statistik wurde mit Excel durchgeführt. Die Graphiken, Diagramme und Tabellen wurden ebenfalls mit Excel erstellt. Die aufgeführten und erstellten Exceltabellen wurden zur weiteren statistischen Analyse in IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM, Armonk, NY, USA) überführt. Die Inferenz-Statistik wurde mit SPSS ausgewertet. Ein Signifikanzniveau von 0,05 wurde angewendet. Unterschieden wurde in der Auswertung zwischen nominal- und intervallskalierten Variablen. Die Auswertung der Mittelwertvergleiche fand durch den t-Test für verbundene Stichproben (parametrisch) statt. Die Prüfung der Normalverteilung als Voraussetzung für parametrische Tests fand durch den Kolmogorov-Smirnov-Test statt. Der Kolmogorov-Smirnov-Test ist nicht signifikant ( $p > 0,05$ ), die Stichprobe ist normalverteilt. Zu den intervallskalierten Parametern gehören u.a. alle Messungen der Distanzen in jeglicher Position. Weiter fand ein t-Test für unabhängige Stichproben, um Mittelwerte unterschiedlicher Gruppen zu vergleichen; dabei wurde einseitig getestet.

Des Weiteren wurden statistische Zusammenhänge der nominalskalierten Daten mittels Qui-Quadrat ( $\chi^2$ )-Tests untersucht. Zu den nominalskalierten Daten zählen u.a. das Auftreten von Sensibilitätsstörungen, auffällige postoperative Verläufe des N. alveolaris inferior (wie Kreuzung der Osteotomie-Linie, dicht an der Osteotomie-Linie), die Art der Verlagerung des Unterkiefers sowie Geschlecht des Patienten. Die Überprüfung von Zusammenhängen der intervallskalierten Daten mit nominalskalierten Daten wurde mittels der Biserale Korrelation untersucht.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Patientenspezifische Daten

Die untersuchte Patientengruppe bestand aus 57 weiblichen und 30 männlichen Patienten, diese waren im Durchschnitt am Tag der Operation 27,4 Jahre (SD  $\pm$  9,59) alt. Der jüngste Patient war 15 Jahre, der älteste Patient 54 Jahre alt. Die weiblichen Patienten, von denen die jüngste 15 Jahre und die älteste 54 Jahre alt war, waren im Durchschnitt 28,15 Jahre (SD  $\pm$  9,92) alt. Die männlichen Patienten waren im Durchschnitt mit 25,89 Jahre (SD  $\pm$  8,75) jünger als die weiblichen Patienten. Der jüngste männliche Patient war 15 Jahre, der älteste Patient 47 Jahre alt. Von den 87 Patienten waren 22 Patienten jünger als 21 Jahre alt, 37 Patienten waren zwischen 21 und 30 Jahre alt und 28 Patienten waren über 31 Jahre alt. Davon unterzogen sich 46 Patienten einem bignathen und 41 Patienten einem mandibulären dysgnathiechirurgischen Eingriff. Vier der Patienten wiesen eine Angle-Klasse I, 59 Patienten eine Angle-Klasse II und 24 Patienten eine Angle-Klasse III auf. Der Unterkiefer wurde bei 20 Patienten als prognath, bei 2 Patienten als prognath mit zusätzlicher Laterognathie, bei 58 Patienten als retrognath, bei einem Patienten als retrognath mit zusätzlicher Laterognathie, bei 6 Patienten als laterognath diagnostiziert. Bei 60 Patienten fand eine Vorverlagerung des Unterkiefers statt, bei 2 Patienten wurde zusätzlich zur Vorverlagerung der Unterkiefer geschwenkt. Eine Rückverlagerung fand bei 18 Patienten statt, bei weiteren 4 Patienten wurde zusätzlich der Unterkiefer geschwenkt. Eine reine Schwenkung des Unterkiefers fand bei 3 Patienten statt. Bei drei der 174 operierten Unterkieferseiten traten drei *Bad Splits* auf. Diese wurden durch zusätzliche Miniosteosyntheseplatten fixiert. Achtzig Patienten waren gesetzlich, sieben privat versichert.

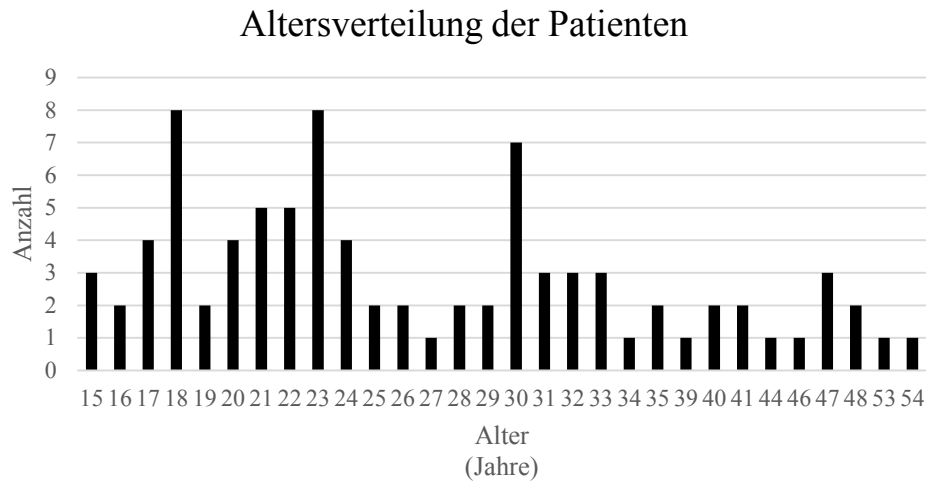


Abb. 11: Altersverteilung (Jahre) der weiblichen und männlichen Patienten zum Operationszeitpunkt.

### 3.2 Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Längenmessungen

In den prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen wurden die Distanzen an den Positionen P1, P2, P3 und P4 in der koronalen Ebene mit der eXam Vision-Software (Imaging Sciences International, Hatfield, Pa) gemessen. Zur Untersuchung und zum Vergleich der Lage in den prä- und postoperativen DVT-Aufnahmen wurden die Distanzen bezüglich ihrer deskriptiven Statistik untersucht. Tabelle 2 zeigt das Minimum, das Maximum und die Mittelwerte mit der Standardabweichung der jeweiligen Positionen und gemessenen Distanzen.

#### 3.2.1 In Abhängigkeit von der Position je Unterkieferseite

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Patienten auf beiden Unterkieferseiten der Verlauf des Canalis mandibulae an der anterioren Position P1 L signifikant lingualer im Corpus mandibulae liegt als an der weiter posterioren Position P3 L (siehe Tabelle 1). Des Weiteren liegt der Canalis mandibulae an der gemessenen Position P1 B signifikant weiter basal im Corpus mandibulae als an der posterioren Position P3 B (siehe Tabelle 1). Kein signifikanter Unterschied der Distanzen wurde zwischen den Positionen P1 B und P2 B auf beiden Seiten gefunden. Nur die Positionen P1 L und P2 L unterscheiden sich signifikant auf der linken Unterkieferseite. Kein Unterschied wurde auf der rechten



Unterkieferseite zwischen den gleichen Positionen gefunden. Die präoperativen Messungen der Position P2 B unterschieden sich signifikant zu der postoperativen Lage P4 B auf beiden Unterkieferseiten. Die lingualen Messungen an P2 und P4 unterschieden sich nur signifikant auf der linken Unterkieferseite. Abb. 12 a und b stellen graphisch die unterschiedliche prä- und postoperative Lage des Canalis mandibulae dar.

Tabelle 1: Übersicht der gemessenen Distanzen der prä- und postoperativen Positionen P1, P2, P3, P4 der Patientenzahl (n) im Vergleich je Unterkieferseite. \* signifikanter Unterschied  $p < 0,05$ .

	Position	Anzahl (n)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Mittelwert (mm)	SD ± (mm)	p-Wert	
rechte Unterkieferseite	P1 B	87	4,95	14,85	8,84	1,95	0,787	
	P2 B	86	4,74	14,06	8,91	2,09		
	P1 L	87	1,50	5,11	2,98	0,85	0,403	
	P2 L	86	1,20	5,40	3,09	0,97		
	P1 B	87	4,95	14,85	8,84	1,95	0,000*	
	P3 B	87	5,10	17,65	10,49	2,44		
	P1 L	87	1,50	5,11	2,98	0,85	0,002*	
	P3 L	87	1,24	6,63	3,35	1,08		
	P2 B	86	4,74	14,06	8,91	2,09	0,007*	
	P4 B	86	4,66	15,36	9,07	2,13		
	P2 L	86	1,20	5,40	3,09	0,97	0,165	
	P4 L	86	1,50	6,01	3,20	0,93		
	linke Unterkieferseite	P1 B	87	4,81	16,77	8,77	2,07	0,344
		P2 B	86	4,50	16,81	8,76	2,14	
P1 L		87	1,26	6,63	3,05	0,95	0,021*	
P2 L		86	1,65	7,20	3,26	1,03		
P1 B		87	4,81	16,77	8,77	2,07	0,000*	
P3 B		86	5,52	17,47	10,41	2,41		
P1 L		87	1,26	6,63	3,05	0,95	0,012*	
P3 L		86	1,60	7,60	3,32	1,10		
P2 B		86	4,50	16,81	8,76	2,14	0,000*	
P4 B		86	4,85	17,47	9,17	2,21		
P2 L		86	1,65	7,20	3,26	1,03	0,010*	
P4 L		86	1,50	6,31	3,14	1,04		

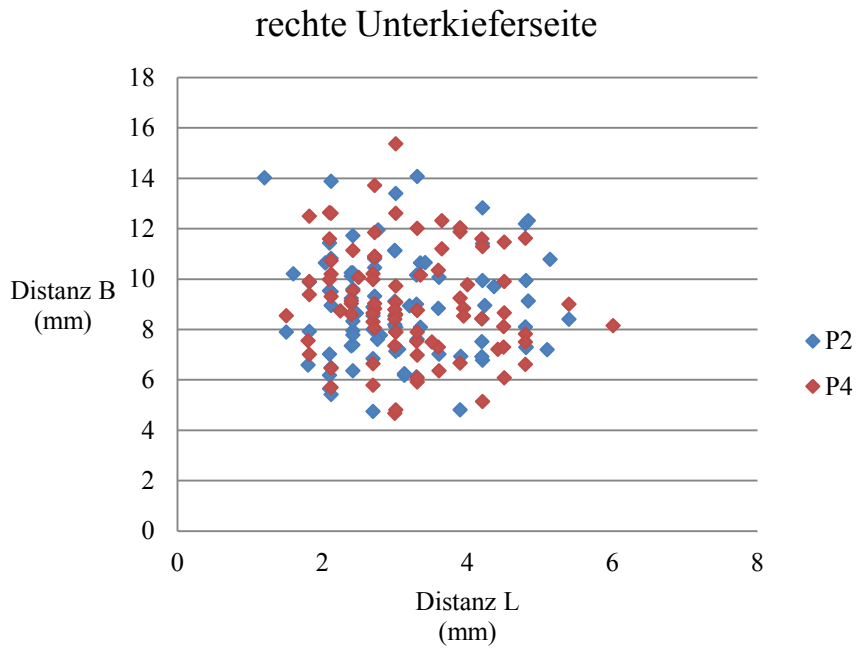


Abb. 12 a: Zweidimensionale Darstellung der prä- (P2) und postoperativen (P4) Lage des rechten Canalis mandibulae im Corpus mandibulae untersucht durch digitale volumetomographische Aufnahmen gemessen an der Position P2 und P4. Die x-Achse stellt die horizontale Distanz von der lingualen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar. Die y-Achse stellt die vertikale Distanz von der basalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar.

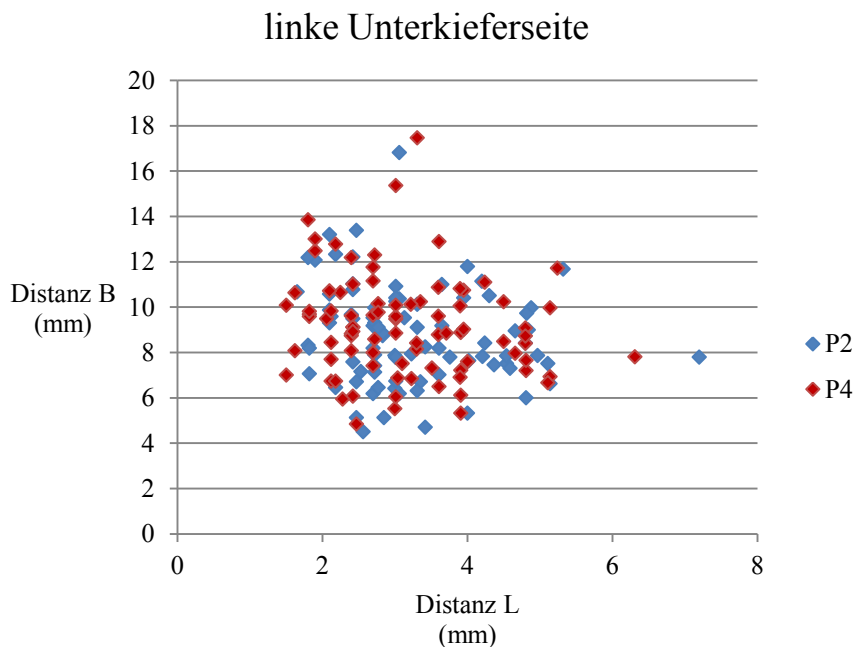


Abb. 12 b: Zweidimensionale Darstellung der prä- (P2) und postoperativen (P4) Lage des linken Canalis mandibulae im Corpus mandibulae untersucht durch digitale volumetomographische Aufnahmen gemessen an der Position P2 und P4. Die x-Achse stellt die horizontale Distanz von der lingualen Kortikalis des Unterkiefers zum N. alveolaris inferior dar. Die y-Achse stellt die vertikale Distanz von der basalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar.

### **3.2.2 Vergleich der rechten und linken Unterkieferseite**

In der untersuchten Patientengruppe wurde kein signifikanter Unterschied im Seitenvergleich der korrespondierenden Positionen P1, P2, P3 und P4 der Distanzen B und L sowie der Breite an der Position P 2 der rechten und linken Unterkieferseite gefunden (siehe Tabelle 2). Die Distanzen P2 Buk unterschieden sich signifikant im Vergleich zur Unterkieferseite. Die aufgeführten Werte sind als Mittelwert plus Standardabweichung (MW  $\pm$  SD mm) dargestellt. (rechte Unterkieferseite:  $7,13 \pm 1,41$  mm; linke Unterkieferseite:  $6,83 \pm 1,25$  mm;  $p = 0,004$ ).

Tabelle 2: Übersicht der gemessenen Distanzen an den Positionen P1, P2, P3, P4 im Vergleich zur rechten und linken Unterkieferseite. „re“ bzw. „li“ steht für rechte bzw. linke Unterkieferseite. \* signifikanter Unterschied  $p < 0,05$ .

Position	Unterkiefer- seite	Anzahl (n)	Minimal (mm)	Maximal (mm)	Mittelwert (mm)	SD ± (mm)	p-Wert
P1 B	re	87	4,95	14,85	8,84	1,95	0,607
	li	87	4,81	16,77	8,77	2,07	
P1 L	re	87	1,50	5,11	2,98	0,85	0,418
	li	87	1,26	6,63	3,05	0,95	
P2 B	re	86	4,74	14,06	8,91	2,09	0,309
	li	86	4,50	16,81	8,76	2,14	
P2 L	re	86	1,20	5,40	3,09	0,97	0,067
	li	86	1,65	7,20	3,26	1,03	
P2 Buk	re	86	4,20	11,47	7,13	1,41	0,004*
	li	86	3,91	9,69	6,83	1,25	
P2 Br	re	86	6,30	14,48	10,22	1,40	0,130
	li	86	6,84	14,14	10,09	1,44	
P3 B	re	87	5,10	17,65	10,49	2,44	0,619
	li	86	5,52	17,47	10,41	2,41	
P3 L	re	87	1,24	6,63	3,35	1,08	0,836
	li	86	1,60	7,60	3,32	1,10	
P4 B	re	86	4,66	15,36	9,07	2,13	0,475
	li	86	4,85	17,47	9,17	2,21	
P4 L	re	86	1,50	6,01	3,20	0,93	0,518
	li	86	1,50	6,31	3,14	1,04	

### 3.2.3 Abhängigkeit vom Geschlecht

Die getestete Patientengruppe wies – je nach Geschlecht – signifikante Unterschiede an folgenden Positionen auf: rechte und linke Unterkieferseite P1 B, P1 L, P2 B, P2 L, P3 B (siehe Tabelle 3). Dabei waren die vertikalen Distanzen B im Durchschnitt bei den Männern signifikant größer an den Positionen P1, P2, P3, P4 beidseitig des Unterkiefers. Die gemessenen horizontalen Distanzen L waren im Durchschnitt bei den Frauen signifikant größer an den Positionen P1, P2, P4. Keinen signifikanten Unterschied – bezogen auf die Geschlechter – zeigten die beidseitig gemessenen Werte: Unterkieferbreite P2 Br, bukkale Distanz P2 Buk und linguale Distanz an P3 L (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichung der gemessenen Distanzen an den Positionen P1, P2, P3, P4 im Vergleich der Geschlechter. \* signifikanter Unterschied  $p < 0,05$ .

	Position	Geschlecht	Anzahl (n)	Mittelwert (mm)	SD $\pm$ (mm)	p-Wert
rechte Unterkieferseite	P1 B	männlich	30	9,66	1,92	0,002*
		weiblich	57	8,41	1,86	
	P1 L	männlich	30	2,75	0,80	0,037*
		weiblich	57	3,10	0,87	
	P2 B	männlich	30	9,75	2,24	0,003*
		weiblich	56	8,45	1,89	
	P2 L	männlich	30	2,82	0,90	0,029*
		weiblich	56	3,24	0,99	
	P2 Buk	männlich	30	7,33	1,21	0,175
		weiblich	56	7,03	1,53	
	P2 Br	männlich	30	10,15	1,65	0,368
		weiblich	56	10,26	1,46	
	P3 B	männlich	30	11,32	2,39	0,011*
		weiblich	57	10,06	2,40	
	P3 L	männlich	30	3,20	1,04	0,174
		weiblich	57	3,43	1,12	
	P4 B	männlich	29	9,91	2,12	0,005*
		weiblich	57	8,64	2,04	
P4 L	männlich	29	2,96	0,86	0,046*	
	weiblich	57	3,33	0,96		
linke Unterkieferseite	P1 B	männlich	30	9,94	2,15	0,000*
		weiblich	57	8,16	1,77	
	P1 L	männlich	30	2,64	0,82	0,002*
		weiblich	57	3,27	0,95	
	P2 B	männlich	30	9,94	2,24	0,000*
		weiblich	56	8,13	1,82	
	P2 L	männlich	30	2,90	0,96	0,009*
		weiblich	56	3,45	1,02	
	P2 Buk	männlich	30	7,12	1,11	0,057
		weiblich	56	6,67	1,31	
	P2 Br	männlich	30	10,02	1,47	0,379
		weiblich	56	10,12	1,45	
	P3 B	männlich	30	11,66	2,67	0,000*
		weiblich	56	9,75	2,01	
	P3 L	männlich	30	3,18	1,03	0,204
		weiblich	56	3,39	1,14	
	P4 B	männlich	29	10,36	2,39	0,000*
		weiblich	57	8,56	1,89	
P4 L	männlich	29	2,82	0,98	0,020*	
	weiblich	57	3,31	1,04		

### 3.3 Lagebestimmung des Canalis mandibulae mittels Rastereinteilung

Der Canalis mandibulae wurde hinsichtlich seiner Lage im Corpus mandibulae untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass der Canalis mandibulae beidseitig in der anterioren Position P1 in der horizontalen Einteilung lingualer verlief als in den Positionen P2 und P3. Wie aus Abb. 13 a und b ersichtlich, reduzierte sich auf beiden Unterkieferseiten die Anzahl der intermediär lingual verlaufenden Canales mandibulae von P1 zu P2 und zu P3. Im Gegensatz dazu stieg auf beiden Unterkieferseiten die Anzahl der intermediär zentral verlaufenden Canales mandibulae, je weiter der Messbereich posterior lag. Die Anzahl der bukkal verlaufenden Canales mandibulae war mit rechte Unterkieferseite: P1: 1; P2: 0; P3: 6, linke Unterkieferseite: P1: 1; P2:1; P3: 4 sehr gering.

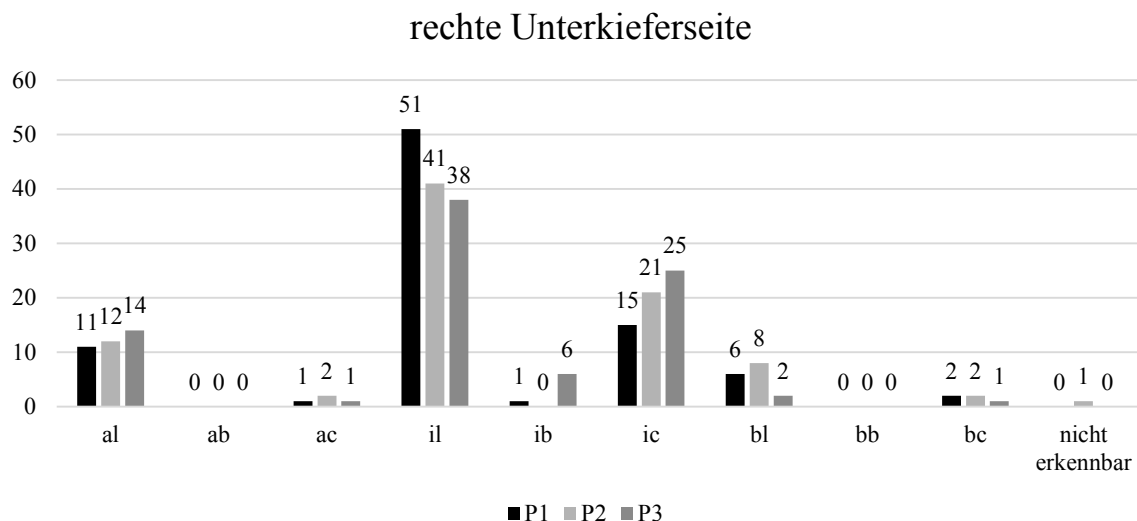


Abb. 13 a: Das Balkendiagramm zeigt die Häufigkeiten der unterschiedlichen Lageeinteilungen des Canalis mandibulae an den Positionen P1, P2 und P3 bei der gesamten Patientenanzahl von 87 in den präoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahmen. al: apikal-lingual; ab: apikal-bukkal; ac: apikal-zentral; il: intermediär-lingual; ib: intermediär-bukkal; ic: intermediär-zentral; bl: basal-lingual; bb: basal-bukkal; bc: basal-zentral.

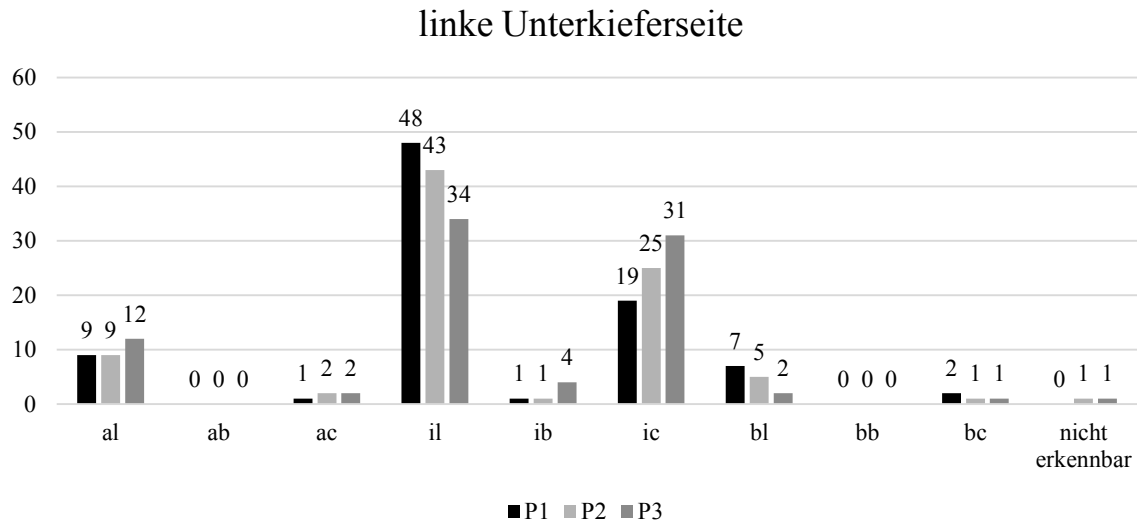


Abb. 13 b: Das Balkendiagramm zeigt die Häufigkeiten der unterschiedlichen Lageeinteilungen des Canalis mandibulae an den Positionen P1, P2 und P3 bei der gesamten Patientenanzahl von 87 in den präoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahmen. al: apikal-lingual; ab: apikal-bukkal; ac: apikal-zentral; il: intermediär-lingual; ib: intermediär-bukkal; ic: intermediär-zentral; bl: basal-lingual; bb: basal-bukkal; bc: basal-zentral.

### 3.4 Postoperativer Verlauf des Canalis mandibulae

In den untersuchten postoperativen DVT-Aufnahmen verlief der Canalis mandibulae auf der rechten Unterkieferseite bei 57 Patienten und auf der linken Unterkieferseite bei 66 Patienten im medialen zahntragenden Fragment. Bei 25 Patienten kreuzte der Canalis mandibulae in der rechten Unterkieferseite die Osteotomie-Linie, auf der linken Unterkieferseite nur bei 17 Patienten. Bei zwei Patienten verlief der Canalis mandibulae auf der rechten Unterkieferseite sehr dicht an der Osteotomie-Linie, auf der linken Unterkieferseite bei einem Patienten. Jeweils bei drei Patienten konnte der Verlauf im rechten und linken Unterkiefer nicht verfolgt werden (siehe Abb. 14 a und b). Bei 11 Patienten kreuzte der N. alveolaris inferior auf beiden Seiten, bei 51 Patienten kreuzte der N. alveolaris inferior keine der beiden Unterkieferseiten. Bei 25 Patienten kam es zu unterschiedlichen Verläufen.



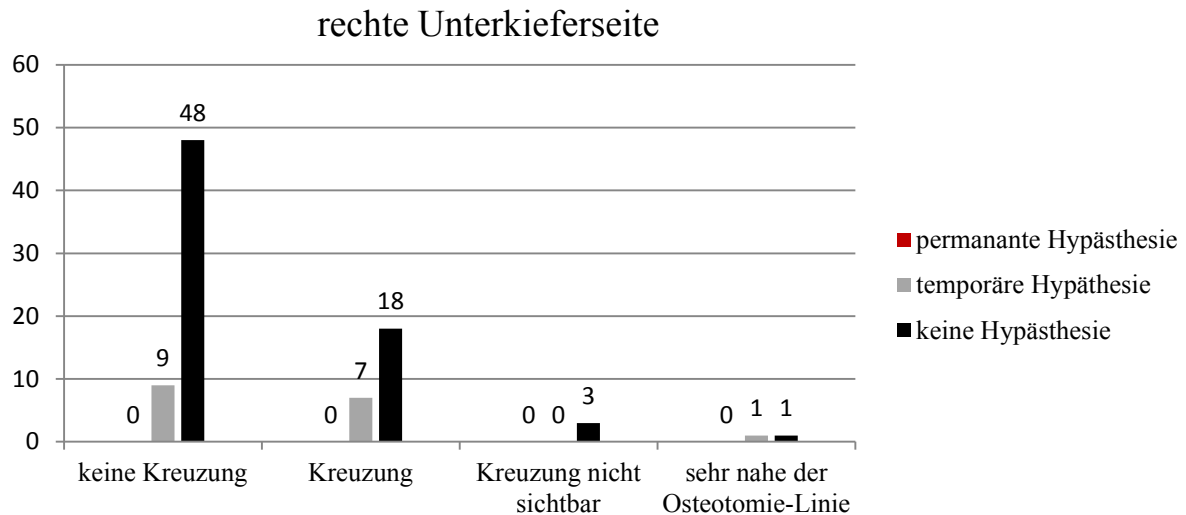


Abb. 14 a: Das Diagramm zeigt die Häufigkeiten von Sensibilitätsstörungen im Zusammenhang mit dem Verlauf des Canalis mandibulae in den postoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahmen.

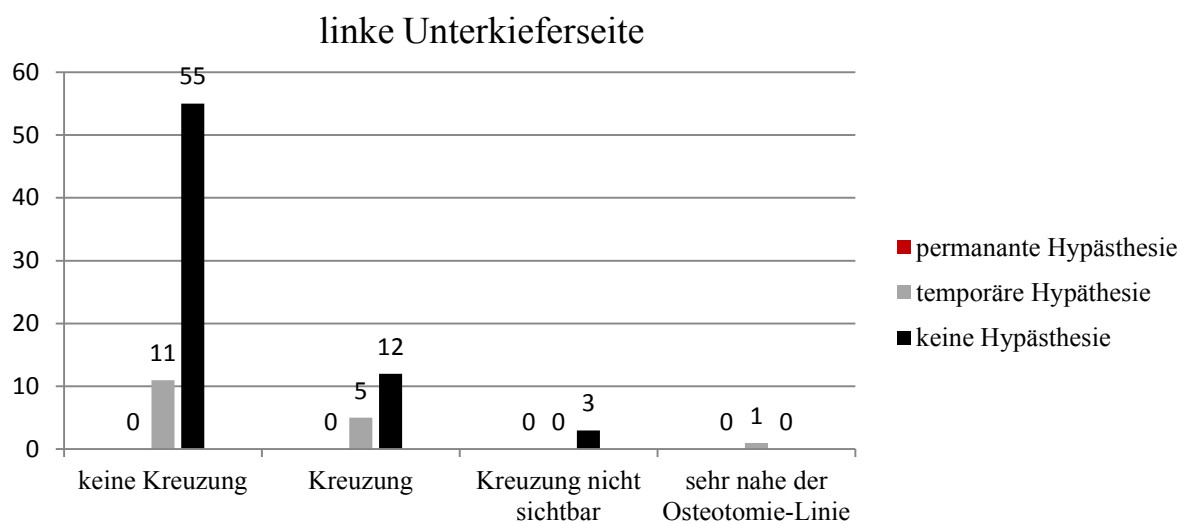


Abb. 14 b: Das Diagramm zeigt die Häufigkeiten von Sensibilitätsstörungen im Zusammenhang mit dem Verlauf des Canalis mandibulae in den postoperativen digitalen volumetomographischen Aufnahmen.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den präoperativ gemessenen lingualen Distanzen L an den beidseitigen Positionen P1, P2 und P3 und dem Kreuzen der Osteotomie-Linie zeigte eine signifikante Korrelation an folgenden Positionen: rechte Unterkieferseite: P2 L bei N = 86 Patienten,  $r = 0,188$ ,  $p = 0,042$ ; linke Unterkieferseite: P2 L bei N = 86 Patienten,  $r = 0,216$ ,  $p = 0,023$ ; P3 L bei N = 86 Patienten,  $r = 0,242$ ,  $p = 0,012$ ; einseitig getestet. Je weiter der Canalis mandibulae entfernt von der lingualen Kortikalis lag, desto öfter kreuzte der Canalis mandibulae die Osteotomie-Linie.

Ein signifikanter negativer Zusammenhang wurde zwischen den präoperativ gemessenen bukkalen Distanzen Buk an den beidseitigen Position P2 und dem Kreuzen der Osteotomie-Linie gefunden (rechte Unterkieferseite: P2 Buk bei N = 86 Patienten,  $r = -0,261$ ,  $p = 0,008$ ; linke Unterkieferseite: P2 Buk bei N = 86 Patienten,  $r = -0,271$ ,  $p = 0,006$ , einseitig getestet). Je näher der Canalis mandibulae an der bukkalen Kortikalis lag, desto öfter kreuzte dieser die Osteotomie-Linie. Auf der rechten Unterkieferseite konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den vertikalen Distanzen B an den Positionen P1 und P2 und dem Kreuzen der Osteotomie-Linie gefunden werden. Kein signifikanter Zusammenhang wurde auf der linken Unterkieferseite zwischen den vertikalen Distanzen B an den Positionen P1, P2 und P3 und dem Kreuzen der Osteotomie-Linie gefunden (rechte Unterkieferseite: P1 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,274$ ,  $p = 0,010$ ; P2 B bei N = 86 Patienten,  $r = -0,250$ ,  $p = 0,020$ ; P3 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,173$ ,  $p = 0,109$ ; linke Unterkieferseite: P1 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,046$ ,  $p = 0,672$ ; P2 B bei N = 86 Patienten,  $r = -0,048$ ,  $p = 0,660$ ; P3 B bei N = 86 Patienten,  $r = 0,096$ ,  $p = 0,381$ ; beidseitig getestet).

Weiter konnte kein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und der Häufigkeit der Kreuzung der Osteotomie-Linie ermittelt werden (rechte Unterkieferseite:  $\chi^2 = 2,063$ ,  $p = 0,559$ ; linke Unterkieferseite:  $\chi^2 = 1,768$ ,  $p = 0,622$ ).

### **3.5 Sensibilität des N. alveolaris inferior**

Die untersuchte Gruppe von 87 Patienten wies präoperativ keine Sensibilitätsstörungen auf. Von den untersuchten Patienten gaben 66 keine postoperativen Sensibilitätsstörungen an. Einundzwanzig Patienten hatten postoperative Sensibilitätsstörungen. Die mittlere Dauer der Sensibilitätsstörungen betrug 44,6 Tage ( $SD \pm 38,7$ ) mit einem Minimum von 9 Tagen und einem Maximum von 132 Tagen. Kein Patient hatte permanente Sensibilitätsstörungen nach der dysgnathiechirurgischen Operation.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Sensibilität und dem Verlauf des Canalis mandibulae der rechten Unterkieferseite zeigte bei P2 Buk (N = 86 Patienten,  $r = -0,208$ ,  $p = 0,028$ , einseitig getestet) eine signifikante Korrelation. Keinen signifikanten Zusammenhang zeigte die linke Unterkieferseite an der Position P2 Buk (N = 86 Patienten,  $r = -0,163$ ,  $p = 0,067$ , einseitig getestet). Das Streudiagramm (siehe Abb. 15) verdeutlicht den negativen Zusammenhang zwischen einem weiter an der bukkalen Kortikalis

laufenden Canalis mandibulae und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen. Bei den analysierten Verläufen zeigten Patienten, bei denen der Canalis mandibulae an der Position P2 Buk weniger als 6 mm entfernt von der bukkalen Kortikalis verlief, eine signifikant höhere Inzidenz von postoperativen Sensibilitätsstörungen an (siehe Abb. 17 a und b).

Von den 17 Patienten, bei denen auf der rechten Unterkieferseite der Canalis mandibulae unter 6 mm von der bukkalen Kortikalis verlief, gaben 7 Patienten eine Sensibilitätsstörung an. (rechte Unterkieferseite: P2 Buk  $\leq$  6 mm, total: 17; Sensibilitätsstörung 7; keine Sensibilitätsstörung 10; P2 Buk  $>$  6 mm, total 69; Sensibilitätsstörung 14; keine Sensibilitätsstörung 55; linke Unterkieferseite: P2 Buk  $\leq$  6 mm, total: 22; Sensibilitätsstörung 7; keine Sensibilitätsstörung 12; P2 Buk  $>$  6 mm, total 64; Sensibilitätsstörung 14; keine Sensibilitätsstörung 50).

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Sensibilität und der Breite des Unterkiefers an der Position P2 zeigte beidseitig eine signifikante Korrelation (rechte Unterkieferseite: P2 Br bei N = 86 Patienten,  $r = -0,181$ ,  $p = 0,048$ ; linke Unterkieferseite: P2 Br bei N = 86 Patienten,  $r = -0,296$ ,  $p = 0,035$ ; einseitig getestet). In dem Streudiagramm (siehe Abb. 16) wird die negative Korrelation einer geringeren Breite des Unterkiefers und des Auftretens postoperativer Sensibilitätsstörungen ersichtlich.

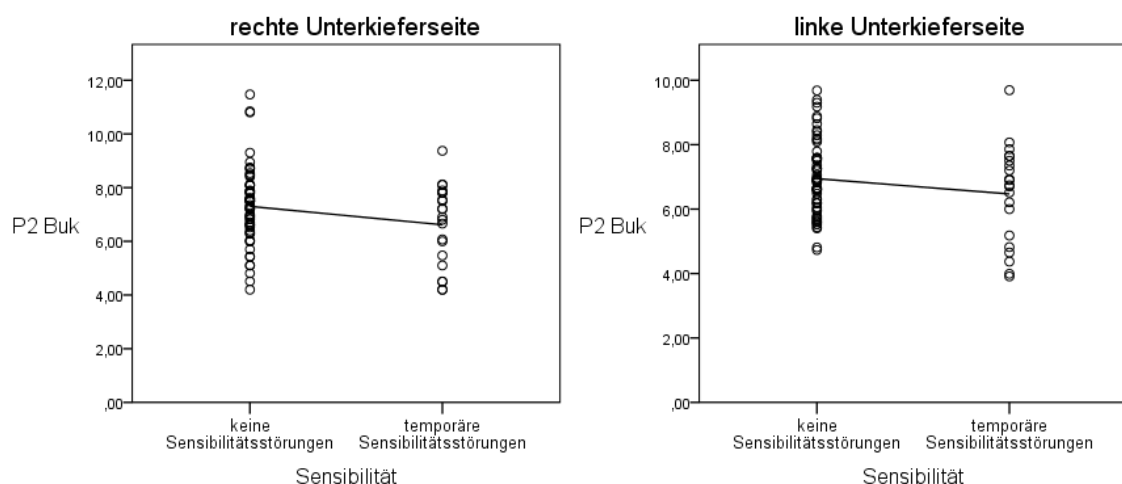


Abb. 15: Die Streudiagramme der rechten und linken Unterkieferseite zeigen die negative Korrelation zwischen der Distanz (mm) von der bukkalen Kortikalis zum Canalis mandibulae und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen.

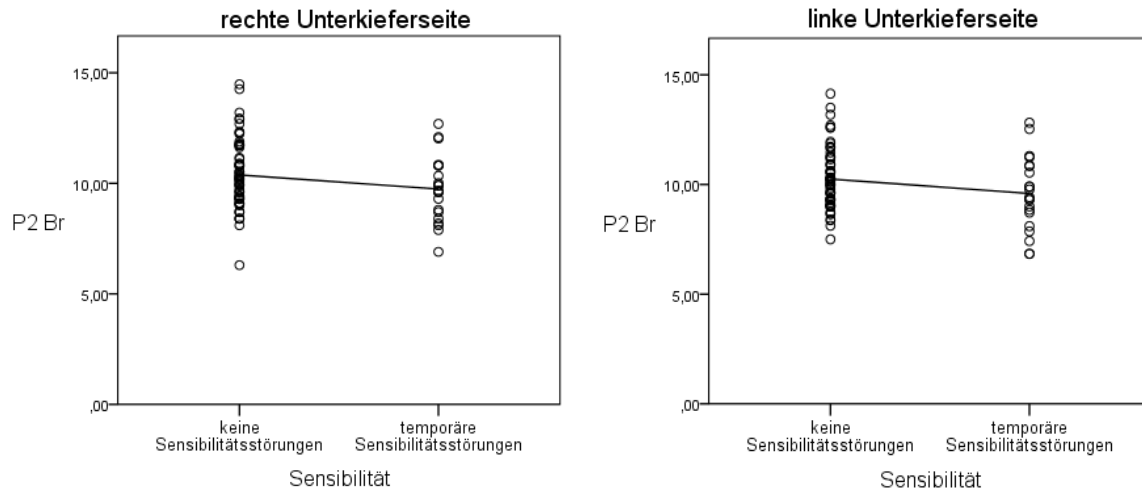


Abb. 16: Die Streudiagramme der rechten und linken Unterkieferseite zeigen die negative Korrelation zwischen der Unterkieferbreite, gemessen an Position P2 (mm), und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen

Keine signifikante Korrelation wurde zwischen den linguale Distanzen L und vertikalen Distanzen B an den beidseitig gemessenen Positionen P1, P2 und P3 und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen ermittelt: Rechte Unterkieferseite: P1 L bei N = 87 Patienten,  $r = -0,029$ ,  $p = 0,789$ ; P2 L bei N = 86 Patienten,  $r = 0,020$ ,  $p = 0,853$ ; P3 L bei N = 87 Patienten,  $r = -0,010$ ,  $p = 0,924$ ; linke Unterkieferseite: P1 L bei N = 87 Patienten,  $r = -0,107$ ,  $p = 0,326$ ; P2 L bei N = 86 Patienten,  $r = -0,077$ ,  $p = 0,479$ ; P3 L bei N = 86 Patienten,  $r = -0,059$ ,  $p = 0,591$ ; beidseitig getestet; rechte Unterkieferseite: P1 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,058$ ,  $p = 0,594$ ; P2 B bei N = 86 Patienten,  $r = -0,161$ ,  $p = 0,138$ ; P3 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,017$ ,  $p = 0,875$ ; linke Unterkieferseite: P1 B bei N = 87 Patienten,  $r = -0,100$ ,  $p = 0,358$ ; P2 B bei N = 86 Patienten,  $r = -0,153$ ,  $p = 0,160$ ; P3 B bei N = 86 Patienten,  $r = -0,019$ ,  $p = 0,865$ ; beidseitig getestet.

Die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der Kreuzung der Osteotomie-Linie und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen zeigte keine signifikante Korrelation auf beiden Unterkieferseiten (rechte Unterkieferseite:  $\chi^2 = 0,149$ ,  $p = 0,584$ ; linke Unterkieferseite:  $\chi^2 = 0,226$ ,  $p = 0,219$ ).

Kein Zusammenhang konnte zwischen der Art der Unterkieferverlagerung (Vor-Rückverlagerung oder Schwenkung) und dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen festgestellt werden ( $\chi^2 = 0,043$ ,  $p = ,922$ ).

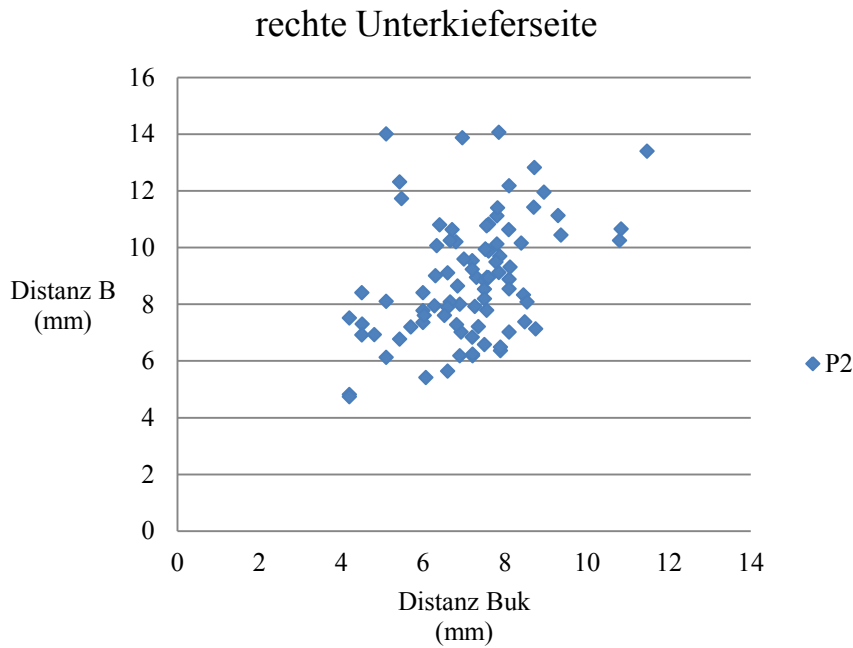


Abb. 17 a: Zweidimensionale Darstellung der präoperativen Lage des rechten Canalis mandibulae im Corpus mandibulae – untersucht durch digitale volumetomographische Aufnahmen und gemessen an der Position P2. Die x-Achse stellt die horizontale Distanz von der bukkalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar. Die y-Achse stellt die vertikale Distanz von der basalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar.

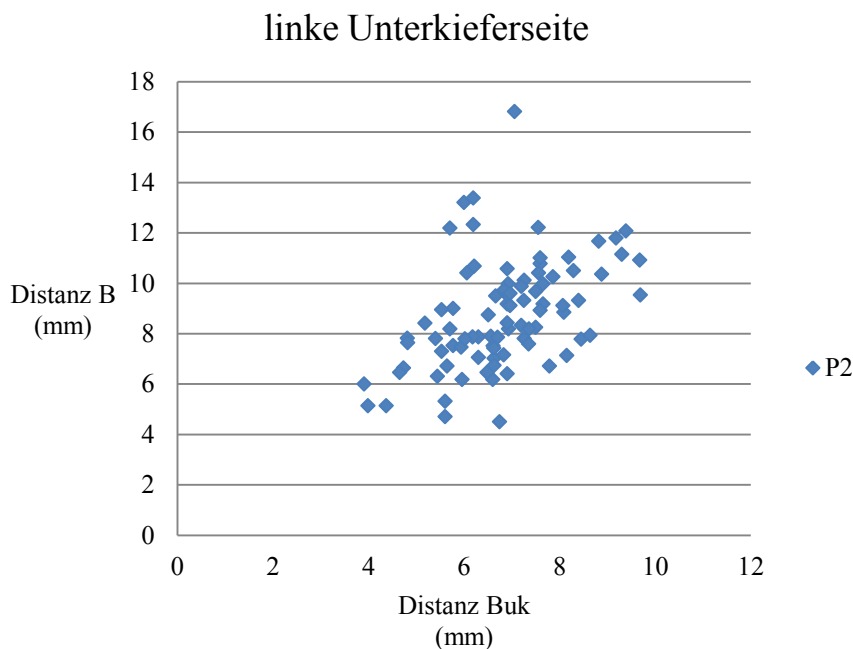


Abb. 17 b: Zweidimensionale Darstellung der präoperativen Lage des linken Canalis mandibulae im Corpus mandibulae – untersucht durch digitale volumetomographische Aufnahmen und gemessen an der Position P2. Die x-Achse stellt die horizontale Distanz von der bukkalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar. Die y-Achse stellt die vertikale Distanz von der basalen Kortikalis des Unterkiefers zum Canalis mandibulae dar.

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der Methodik

#### 4.1.1 Messverfahren zur Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurde der prä- und postoperative Verlauf des Canalis mandibulae für den in der Dysgnathiechirurgie interessanten Bereich der bukkalen vertikalen Osteotomie untersucht. Eine einheitliche Messmethode, Referenzebenen und Messpunkte zur Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae sind noch nicht Gegenstand aktueller Studien. So weisen die Studien unterschiedliche Messpunkte und Referenzebenen auf.

Als Referenzebene für die Ausrichtung des Röntgenbildes wurde die Frankfurter Horizontale gewählt. Diese entspricht der Ebene, in der die Patienten in dem Röntgengerät positioniert und die Aufnahmen durchgeführt wurden. Wir haben uns für folgende Messpositionen in der DVT-Aufnahme entschieden: präoperativ: anterior der späteren vertikalen Osteotomie in Höhe der distalen Wurzel des ersten Molaren P1, auf Höhe der späteren vertikalen Osteotomie an der mesialen Wurzel des zweiten Molaren P2 und posterior der späteren vertikalen Osteotomie im aufsteigenden Ast des Ramus mandibulae P3; postoperativ: vertikale Osteotomie-Linie (siehe Abb. 5). Wie in der Abb. 5 ersichtlich, war aufgrund der gewählten Referenzebene (Frankfurter Horizontale) der Unterkiefer leicht schräg nach anterior kaudal geneigt. Die koronale Ebene, in der die Messungen durchgeführt wurden, entsprach der Senkrechten zur Frankfurter Horizontale. In bereits publizierten Studien zur Bestimmung der Lage des Canalis mandibulae fanden sowohl die Frankfurter Horizontale [38, 39], die okklusale Ebene [37, 94] als auch der Unterkieferrand [95] als Referenzebene Anwendung. Wesentlicher Unterschied ist, dass die Referenzebenen sich bezüglich der sagittalen Neigung unterscheiden und folglich der Unterkiefer je nach Ebene anders geneigt ist. Diese unterschiedliche Neigung wirkt sich auf die Messungen des Canalis mandibulae in der koronalen Ebene aus. So kann es trotz gleicher Messpunkte, wie z.B. die Wurzelspitze, der Approximalkontakt oder die Bifurkation, zu unterschiedlichen Messungen des Canalis mandibulae kommen, da sich die koronale Bildebene je nach Referenzebene ebenfalls ändert. Aufgrund der gewählten Referenzebene und des leicht geneigten Unterkiefers in Bezug auf die Frankfurter Horizontale lag der zu vermessende Canalis mandibulae leicht anterior und entsprach

nahezu der Lage der vertikalen Osteotomie (siehe Abb. 5). Aufgrund dessen wurde die Position 2 (P2) zum Vergleich der postoperativen Lage verwendet. Die distale Wurzel des ersten Molaren und die mesiale Wurzel des zweiten Molaren waren die am engsten liegenden Messpunkte für den von uns untersuchten Bereich der vertikalen Osteotomie. Um eine größere Verlaufsbestimmung zu erhalten, setzten wir die dritte Position P3 an die vordere Kante des aufsteigenden Astes des Ramus mandibulae. Nur bei wenigen Patienten waren noch die dritten Molaren vorhanden, weshalb wir diese nicht als Referenzebene gesetzt hatten. Aufgrund der Neigung des Unterkiefers war auch in dieser Messebene die Position des Canalis mandibulae weiter anterior (siehe Abb. 5). In der Studie von Lee et al. [94] diente die Bifurkation des jeweiligen Unterkiefer-Molaren als Referenzebene. Diese wurde von den Autoren als reproduzierbarer und zuverlässiger Messpunkt angesehen. In einer weiteren Studie wurde der approximale Kontaktpunkt der Unterkiefer-Molaren als Referenz verwendet [41]. Aufgrund der unterschiedlichen Methoden und Messverfahren können die Ergebnisse zwar annähernd verglichen werden; um jedoch genauere Vergleiche mehrerer Studien zu ermöglichen, bedarf es einer einheitlichen Deklaration der Mess- und Referenzebenen. Als Limitation ist anzumerken, dass sich bei der vorliegenden Methodik die koronalen Bildebenen zur Bestimmung der prä- und postoperativen Lage nur annähernd decken. Jedoch erachten wir, dass sich die von uns gesetzte Position P2 mit der späteren postoperativen Position P4 deckt.

Eine andere Methode zur Bestimmung der prä- und postoperativen Lage des Canalis mandibulae ist die Ausrichtung des DVT-Bildes in der okklusalen Ebene. Als Messposition ist der approximale Kontaktpunkt der Molaren zu wählen, da die vertikale Osteotomie in diesem Bereich durchgeführt wird. Mögliche prä- und postoperative Lageveränderungen des Canalis mandibulae lassen sich mit dieser Methode ebenfalls untersuchen. Diese Methode hat den Vorteil, dass die Messebenen weniger von der Neigung des Unterkiefers abhängig sind, da sich die Referenzebene mittels Okklusion am Unterkiefer orientiert.

Zur Messung der Lage des Canalis mandibulae an den drei genannten präoperativen Positionen P1, P2, P3 wurden folgende Messpunkte gewählt: die basale und linguale Kortikalis und die Mitte des Canalis mandibulae; an der Position P2 wurde zusätzlich die bukkale Kortikalis gewählt. Um mögliche postoperative Lageveränderungen des Canalis mandibulae im DVT mit der präoperativen Lage vergleichen zu können, wurden die Messpunkte gewählt, die sich nicht durch die Unterkieferverlagerung veränderten. Die linguale und die basale Kortikalis an Position P1 und P2 wurden postoperativ nicht in der

Lage verändert (siehe Abb. 10c); anders die bukkale Kortikalis, diese wurde durch die Verlagerung des lateralen zahntragenden Fragmentes an Position P 2 und P 3 verändert. Auch die basale Kortikalis veränderte sich an Position P 3 durch die sagittale Spaltung in der postoperativen Aufnahme (siehe Abb. 6 a-d und Abb. 9).

Andere Studien konzentrierten sich auf die Vermessung der bukkalen Distanz zwischen Canalis mandibulae und der äußeren Kortikalis [36, 41, 94, 95]. Je nach Studie wurde der Canalis mandibulae unterschiedlich umfangreich vermessen und es wurden unterschiedliche Messpunkte gewählt. In den meisten Studien wurde die Wand des Canalis mandibulae als Messpunkt gewählt [36, 39, 41, 94]. Zwar unterscheiden sich die Messmethoden der Studien, jedoch werden Unterschiede im Verlauf des Canalis mandibulae an mehreren Positionen ebenfalls deutlich – unabhängig davon, ob die Mitte des Canalis mandibulae oder die Wand des Canalis mandibulae als Messpunkte gewählt wurden. Keine der Studien untersuchte die prä- und postoperative Lage des Canalis mandibulae im Corpus mandibulae mittels DVT-Aufnahmen. Der Canalis mandibulae wurde lediglich von Ueki et al. [38] im Ramus mandibulae in prä- und postoperativen CT-Aufnahmen untersucht.

Weiter entschieden wir uns für eine beschreibende Einteilung der Lage des Canalis mandibulae. Wie bereits in vorangegangenen Studien [37, 96] wurde der Canalis mandibulae bezüglich seiner spongiösen Knochenverhältnisse und seiner Lage zur bukkalen Kortikalis in folgende Kategorien eingeteilt: Canalis mandibulae hat Kontakt mit der bukkalen Kortikalis, hat keinen Kontakt und fusioniert mit der bukkalen Kortikalis. Wir teilten die Lage sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen ein. Dabei entschieden wir uns für ein Raster mit neun Feldern, in dem es jeweils drei vertikale und drei horizontale Einteilungen gab.

#### **4.1.2 Auswertung der Sensibilität des N. alveolaris inferior**

Die Auswertung der Daten der Sensibilität fand aufgrund des Studiendesigns basierend auf der Aktendokumentation statt. Ein Score oder ein Schema zur Klassifizierung von Sensibilitätsstörungen nach dysgnathiechirurgischen Maßnahmen, wie sie in prospektiven Studien Anwendung finden, wurde aufgrund der retrospektiven Studiendesigns nicht durchgeführt [79, 81]. Demnach kann ein direkter Vergleich zwischen dem Ausmaß



einzelner Störungen und den Angaben des subjektiven Empfindens der Patienten nicht gezogen werden, es ging also mehr um das Vorhandensein einer Störung und nicht um die Beurteilung des Ausmaßes. Bei langandauernden Sensibilitätsstörungen (über 6 Monate) fand eine zusätzliche Untersuchung der Sensibilität mittels Zweipunkt-Diskriminierung und Spitz-Stumpf-Diskriminierung statt. Jedoch erschien die Auswertung, ob eine Sensibilitätsstörung vorlag oder nicht, sinnvoll, um mögliche Zusammenhänge zu untersuchen. Trotz des ungenaueren Verfahrens konnten Korrelationen, wie sie im Abschnitt 3.6 erläutert wurden, aufgezeigt werden. Diese decken sich mit den Ergebnissen aus anderen Studien, die zur Erhebung der Sensibilität auf den subjektiven Methoden der Psychophysiologie basieren [39, 79, 86, 94, 97]. Der Fokus der retrospektiven Studie lag auf der Untersuchung der prä- und postoperativen Lage sowie der Analyse des postoperativen Verlaufs.

#### **4.1.3 Digitale Volumentomographie**

Eine mögliche Fehlerquelle für die Messung von Distanzen ist das je nach Studie verwendete DVT- oder CT-Gerät. Ältere Studien basieren meist auf CT-Aufnahmen, neuere Studien auf dem deutlich strahlungsärmeren DVT-Gerät. Aufgrund der relativ neuen Technik und der Vielzahl unterschiedlicher Geräte, die auf dem Markt erhältlich sind, existieren nur wenige Studien zu der Genauigkeit einzelner Geräte. Die Genauigkeiten der DVT-Geräte unterscheiden sich allerdings erheblich von Hersteller zu Hersteller und in der verwendeten Röntgentechnik [50]. Messungen mittels des KaVo 3D eXam-Gerätes (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) werden von den Studien als sehr genau angegeben, dabei unterschieden sich die Mittelwerte von röntgenologischen und tatsächlichen Messungen nicht signifikant: die mittleren Abweichungen wurden von -0,13 mm bis 0,13 mm angegeben [50, 53]. Damstra et al. [50] untersuchten 10 trockene menschliche Schädel mit dem KaVo 3D eXam-Gerät (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany). Dabei wurden 12 Markierungen mit Glaskugeln gesetzt und linear vermessen. Die DVT-Aufnahmen wurden in den Voxel-Größen 0,4 mm (FOV: 16 cm x 13 cm, Aufnahmezeit 8,5 s) und 0,25 mm (FOV: 16 cm x 13 cm, Aufnahmezeit 26 s) jeweils dreimal aufgenommen. Die Voxel-Größe hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Messung. Die Autoren vermuten, dass die kürzere Aufnahmezeit, die zu einer geringeren Exposition von Strahlung und geringerer Patientenbewegung führt, das geringere Auflösungsvermögen kompensiert. Anders die Studie von Patcas et al. [53]

zeigte diese Studie eine unterschiedliche Genauigkeit zwischen den Voxel-Größen 0,125 mm (FOV: 8 cm x 8 cm, Aufnahmezeit 26 s) und 0,4 mm (FOV: 16 cm x 13 cm, Aufnahmezeit 8,5 s). Die DVT-Scans wurden mit dem KaVo 3D eXam-Gerät (Kavo Dental GmbH, Bismarcking, Germany) vom Kopf acht intakter Kadaver angefertigt. Der höher aufgelöste Scan wurde jedoch mit einer Voxel-Größe von 0,125 mm aufgenommen, die mit einer erhöhten Aufnahmedauer von 26 s und einem geringeren FOV von 8 cm x 8 cm als „*Ultra-high Resolution*“ angefertigt wurde. Diese hochauflösende Einstellung findet jedoch in der präoperativen Operationsplanung für einen dysgnathiechirurgischen Eingriff keine Anwendung. Üblich ist die größere cephalometrische Aufnahme, die mit einem FOV: 23 cm x 17 cm, einer Aufnahmezeit von 8,5 s und einer Voxel-Größe von 0,4 mm aufgenommen wird. In der Studie wurde zudem zwischen horizontalen und vertikalen linearen Messungen unterschieden. Dabei fiel auf, dass die vertikalen Messungen leicht höhere Abweichungen aufwiesen als die horizontalen Messungen [53]. Letztlich spiegeln die Methoden der Messungen nicht die tatsächliche klinische Situation wider. Das fehlende Weichgewebe wird als erhebliche Limitation solcher Studien angesehen [50, 53]. Es erhöht die Präzision, die Knochenoberfläche genauer zu detektieren, weshalb in der Studie von Patcas et al. Kadaver genutzt wurden, um eine möglichst genaue anatomische Situation zu simulieren. Messungengenauigkeiten können in den Aufnahmen mit einer Voxel-Größe von 0,4 mm als sehr gering angenommen werden. In der S2k-Leitlinie wird postuliert, DVT-Aufnahmen anzufertigen, da sie die anatomischen Strukturen dimensionsgetreu darstellen und sich daher für lineare Messungen eignen [46].

## **4.2 Diskussion der Ergebnisse**

### **4.2.1 Prä- und postoperativen Lage des Canalis mandibulae**

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden mögliche Zusammenhänge zwischen dem prä- und postoperativen Verlauf des Canalis mandibulae und dem Auftreten von Sensibilitätsstörungen untersucht.

Die genaue Bestimmung des Verlaufs des Canalis mandibulae in Bezug auf die bilaterale sagittale Spaltung und postoperative Sensibilitätsstörungen ist Gegenstand mehrerer Studien [36-38, 41, 74, 86, 94, 98, 99]. Die Kenntnis des Verlaufs des Canalis mandibulae ist eine wesentliche Voraussetzung für die Planung und Durchführung einer Dysgnathie-

Operation. Speziell die vertikale und die horizontale Osteotomie der bilateralen sagittalen Spalt-Osteotomie bergen ein besonders hohes Risiko der direkten Nervenschädigung.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass die präoperative bukkale Lage des Canalis mandibulae im Corpus mandibulae mit einer erhöhten Häufigkeit von Kreuzungen der Osteotomie-Linie in postoperativen DVT-Aufnahmen einhergeht. Die Kreuzung der Osteotomie-Linie korrelierte jedoch nicht positiv mit einem erhöhten Auftreten permanenter postoperativer Sensibilitätsstörungen.

Die Analyse des Verlaufs des Canalis mandibulae zeigte, dass seine präoperative anatomische Lage im Bereich des ersten Molaren weiter lingual war. Der Canalis mandibulae orientiert sich posterior im Bereich des zweiten Molaren weiter lingual zentral und liegt im Bereich des aufsteigenden Astes häufig zentral. Sekerci et al. [41] analysierten 250 Unterkiefer mittels DVT-Aufnahmen und maßen horizontal und vertikal die Distanz des Canalis mandibulae zur Kortikalis an drei spezifischen Positionen: mittig zwischen dem ersten und zweiten Molaren, mittig zwischen dem zweiten und dritten Molaren und hinter dem dritten Molaren. Sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ebene fand die Studie signifikante Unterschiede zwischen den Positionen je Unterkieferseite. Die bukkale Distanz zwischen Canalis mandibulae und der äußeren Kortikalis verminderte sich, die linguale Distanz vergrößerte sich im Mittelwert signifikant von der anterioren Position zur posterior gemessenen Position. Zusätzlich wurde eine signifikante Zunahme der Distanz zwischen dem Canalis mandibulae und der Kortikalis in der Vertikalen von der weiter anterioren Position zur posterioren Position gemessen. Die Messungen sind vergleichbar mit unseren und bestätigen unsere Ergebnisse. Jedoch kam es in unseren Messungen zwischen P1 B und P2 B zu keinen signifikanten Unterschieden. Dies kann mit der deutlich geringeren Distanz zwischen der Position P1 und P2 in unserer Studie erklärt werden. Lediglich die linke Unterkieferseite wies zwischen den Positionen P1 L und P2 L einen signifikanten Unterschied auf. Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Verläufe zwischen den Geschlechtern, fanden Sekerci et al. die gleichen signifikanten Unterschiede für beide Unterkieferseiten an den Positionen: P1 L u. B, P2 B, P 3 L u. B. Im Gegensatz zu unserer Studie unterschieden sich die Position P2 L bei Sekerci et al. nicht signifikant. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern und den bukkalen Distanzen an P2 Buk und den lingualen Distanzen an P3 L. Wie in unserer Studie waren im Mittelwert die lingualen Distanzen bei den weiblichen Patienten größer, die basale Distanz hingegen bei den männlichen Patienten. Es lässt sich daraus schließen, dass der Verlauf des Canalis mandibulae bei den weiblichen Patienten weiter zentral und bei

den männlichen Patienten vertikal höher und weiter lingual verläuft. Jedoch unterschieden sich weder die Breite des Unterkiefers noch die für die Dysgnathiechirurgie interessante bukkale Distanz auf der Höhe des zweiten Molaren. Die bukkale und die vertikale Distanz wurden von Sekerci et al. [41] zwischen dem ersten und zweiten Molaren mit folgenden Mittelwerten und Standardabweichungen angegeben: weibliche Patienten: rechte Unterkieferseite: bukkal:  $6,4 \pm 1,53$  mm; vertikal:  $6,1 \pm 1,75$  mm; linke Unterkieferseite: bukkal  $6,4 \pm 1,67$  mm; vertikal:  $6,5 \pm 1,58$  mm; männliche Patienten: rechte Unterkieferseite: bukkal:  $6,3 \pm 1,85$  mm; vertikal:  $7,4 \pm 1,52$  mm; linke Unterkieferseite: bukkal:  $6,6 \pm 1,38$  mm; vertikal:  $7,3 \pm 1,57$  mm). Ähnlich der Studie von Sekerci et al. maßen Ylikontiola et al. [95] die bukkale und die vertikale Distanz von 20 europäischen (finnischen) Patienten zwischen dem ersten und zweiten und direkt hinter dem zweiten Molaren. Die Messpositionen decken sich mit denen von Sekerci et al. und werden wie folgt im Mittelwert und für das Minimum und das Maximum angegeben: zwischen dem ersten und zweiten Molaren: rechte Unterkieferseite: bukkal 6,33 mm (4,3 - 9,5); vertikal: 6,5 mm (1,5 - 10,0); linke Unterkieferseite: bukkal 5,9 mm (4,1 - 8,8) vertikal: 7,1 mm (5,1 - 11,4); hinter dem zweiten Molaren: rechte Unterkieferseite: bukkal 4,8 mm (3,0 - 8,9); vertikal: 8,2 (3,0 - 12,0); linke Unterkieferseite: bukkal 4,9 mm (2,2 - 7,3); vertikal: 8,0 mm (3,0 - 12,0). Yu et al. [36] gaben die bukkale Distanz des Canalis mandibulae zur äußeren Kortikales gemessen auf Höhe des zweiten Molaren im Mittelwert mit  $7,2 \pm 1,47$  mm und die vertikale Distanz mit  $7,6 \pm 1,69$  mm an. Unsere Messungen waren leicht erhöht, jedoch wählten wir für die Distanz den Mittelpunkt des Canalis mandibulae und nicht wie die anderen Studien die Wand des Canalis mandibulae. Die Werte für die bukkale und die vertikale Distanz waren im Mittelwert für die rechte Unterkieferseite P2 Buk:  $7,13 \pm 1,41$  mm; P2 B:  $8,91 \pm 2,09$  mm, für die linke Unterkieferseite P2 Buk:  $6,83 \pm 1,25$  mm; P2 B:  $8,76 \pm 2,14$  mm. Die im Vergleich zu den Werten von Sekerci et al. leicht erhöhten Mittelwerte können mit der verlängerten Strecke, die von der Wand des Canalis mandibulae zum Mittelpunkt verläuft, erklärt werden. Lee et al. [94] publizierten 2016 eine Studie zur Vermessung der Lage des Canalis mandibulae mittels DVT-Aufnahmen bei 98 südkoreanischen Patienten im Hinblick auf dysgnathiechirurgischen Maßnahmen. Ähnlich wie in den Studien von Sekerci et al., Ylikontiola et al., Yu et al. und der vorliegenden Arbeit wurde die Distanz von der knöchernen Begrenzung des Canalis mandibulae zur äußeren und unteren Kortikalis an drei Positionen vermessen. Lee et al. setzten die Referenzebene auf Höhe der Bifurkation der jeweiligen drei Molaren, statt den Mittelpunkt des Interdentalraums als Referenz zu verwenden, und bezeichneten dies als die am besten

reproduzierbare Ebene. Die von Lee et al. [94] publizierten Ergebnisse wurden wie folgt angegeben: bukkale Distanz: erster Molar:  $3,38 \pm 1,37$  mm; zweiter Molar:  $4,35 \pm 1,60$  mm; dritter Molar:  $3,54 \pm 1,59$  mm; vertikale Distanz: erster Molar:  $7,66 \pm 1,73$  mm; zweiter Molar:  $7,77 \pm 2,00$  mm; dritter Molar:  $8,99 \pm 2,60$  mm. Diese Ergebnisse unterscheiden sich in der bukkalen Distanz deutlich von den Ergebnissen, die von Sekerci et al., Yu et al. und unserer Studie gewonnen wurden. Auffällig ist, dass eine andere Referenzebene für die Messung gewählt wurde. Jedoch ist fraglich, ob die um eine halbe Molaren-Breite versetzte Messebene einen Unterschied von mehreren Millimetern ausmacht. Eine mögliche Ursache in den niedrigeren Distanzen kann zudem der Anteil der weiblichen und männlichen Patienten sein. In der Studie von Lee et al. überwogen die weiblichen Patienten mit 62 zu 36. Jedoch konnte gerade zwischen den bukkalen Distanzen und dem Geschlecht kein signifikanter Unterschied in der Studie von Sekerci et al. und der vorliegenden Arbeit ausgemacht werden. Die Geschlechterverteilung in der Studie von Sekerci et al. war mit 129 weiblichen zu 121 männlichen Patienten sehr ausgeglichen, in unserer Studie waren es 57 weibliche gegenüber 30 männlichen Patienten.

Ältere Studien, die auf einer Auswertung von trockenen Schädeln basieren, bestätigen die Ergebnisse der röntgenologischen Lagebestimmung des Canalis mandibulae. In der von Denio et al. [35] im Jahre 1992 veröffentlichten Arbeit beschreiben die Autoren einen S-förmigen Verlauf des Canalis mandibulae von posterior nach anterior in der horizontalen Aufsicht. Der Canalis mandibulae lag in Höhe der distalen Wurzel des zweiten Molaren eher bukkal, zog dann auf Höhe des ersten Molaren weiter lingual, um dann wieder auf Höhe der Prämolaren nach bukkal zu ziehen. Anschaulich wird der S-förmige Verlauf durch die von Lee et al. publizierten Messungen, (siehe oben). Rajchel et al. [34] untersuchten Unterkiefer von trockenen Schädeln erwachsener Asiaten unbekanntes Geschlechts an mehreren Positionen. Die Unterkiefer wurde an fünf Positionen in der frontalen Ebene durchtrennt und die Lage des N. alveolaris wurde gemessen. Die größte Distanz wurde am ersten Molaren, die geringste Distanz im Bereich des dritten Molaren gemessen. Jedoch gehen die Studien, die auf Auswertungen trockener menschlicher Schädel beruhen, mit mehreren unbekanntes Angaben einher, wie Alter, Geschlecht und Herkunft des Schädels. Die untersuchten Schädel entsprechen allerdings nicht der Patientengruppe, die sich einer Dysgnathie-Operation unterzogen haben. Die Patienten sind im Mittel jünger, das durchschnittliche Alter wird zwischen 20 und 30 Jahren

angegeben [37, 41, 74, 79, 100]. So kann es trotz ähnlicher Messmethoden aufgrund der unterschiedlichen ethnischen Herkunft der Patienten zu Unterschieden kommen.

Andere Studien konzentrieren sich auf die Vermessung und Beurteilung der Lage des Canalis mandibulae im Ramus mandibulae. Die jedoch in der axialen Ebene und nicht wie in der vorliegenden Studie vom Corpus mandibulae in der koronalen Ebene untersucht wurden. Besonders die Anatomie der bukkalen Distanz zwischen Canalis mandibulae und der äußeren Kortikalis wurde als Faktor für postoperative Sensibilitätsstörungen in mehreren Studien untersucht [37, 38, 74]. Der Ramus mandibulae ist deutlich schmaler als der Corpus mandibulae und weist bei einigen Patienten keinen oder einen nur sehr geringen Anteil von spongiösen Knochen zwischen der inneren und äußeren Kortikalis und der Wand des Canalis mandibulae auf. Tsuji et al. [37] wiesen in ihrer Studie darauf hin, dass das Vorhandensein von spongiösem Knochen im Ramus mandibulae zwischen dem Canalis mandibulae und der äußeren Kortikalis ein geringeres Risiko für eine Traumatisierung des N. alveolaris darstellt. Untersucht wurden in der axialen Ebene in CT-Aufnahmen die Lage des Canalis mandibulae zur äußeren Kortikalis im Ramus mandibulae und wie folgt kategorisiert: fusioniert mit der Kortikalis, hat Kontakt mit der Kortikalis, hat keinen Kontakt mit der Kortikalis. An den vier untersuchten Positionen von 35 Patienten hatten 255 von 280 analysierten Stellen keinen Kontakt, 17 hatten Kontakt und 8 fusionierten mit der Kortikalis. Yamouchi et al. [74] analysierten ebenfalls in Querschnittsbildern von CT-Aufnahmen die spongiöse Verknöcherung zwischen der äußeren Kortikalis und dem Canalis mandibulae im Ramus mandibulae. Gemessen wurde in der axialen Ebene 10 mm unterhalb der Okklusionsebene. Ein geringerer Abstand korrelierte signifikant mit dem Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen. Jedoch zeigten auch Patienten postoperative Sensibilitätsstörungen, bei denen ein größerer Abstand zur äußeren Kortikalis vorlag. Es wurde lediglich ein Bereich evaluiert. Die Aussage als möglicher Risikofaktor ist aufgrund der Komplexität der Risikofaktoren als gering einzuschätzen.

Ueki et al. [38] untersuchten als einzige Studie Lageveränderungen des Canalis mandibulae im Ramus mandibulae in prä- und postoperativen CT-Aufnahmen von Patienten mit einer mandibulären Prognathie. Präoperativ hatte der Canalis mandibulae bei 6 von 60 Patienten in der ersten Ebene, 4 von 60 Patienten in der zweiten Ebene und 6 von 60 Patienten in der dritten Ebene direkten Kontakt zur äußeren Kortikalis. Die postoperative Aufnahme wurde ein Jahr nach der dysgnathiechirurgischen Operation aufgenommen. Vermessen wurde der Ramus mandibulae in der axialen Ebene in drei

Positionen: auf der Höhe des Foramen mandibulae und jeweils 1 bzw. 2 cm darunter. Postoperativ waren die Breite des Ramus mandibulae, die bukkale Distanz zwischen Canalis mandibulae und äußerer Kortikalis sowie der bukkale spongiöse Knochenanteil zwischen Canalis mandibulae und äußerer Kortikalis in allen drei gemessenen Ebenen signifikant größer.

Die Anzahl der bukkal verlaufenden Canales mandibulae im Corpus mandibulae waren in dieser Studie mit rechte Unterkieferseite: P1: 1; P2: 0; P3: 6, linke Unterkieferseite: P1: 1; P2:1; P3: 4 sehr gering. Im Bereich des Ramus mandibulae stieg die Anzahl der bukkal verlaufenden Canales mandibulae, je schmaler der Unterkiefer nach posterior wurde.

#### **4.2.2 Postoperative Sensibilitätsstörungen**

In der vorliegenden Studie korrelierte eine geringere bukkale Distanz bzw. eine größere linguale Distanz – gemessen am zweiten Molaren der Positionen P2 Buk und P2 L – mit einem erhöhten Risiko der Kreuzung der Osteotomie-Linie und somit der Exposition des N. alveolaris inferior. Jedoch korrelierte diese Freilegung nicht signifikant mit einer erhöhten postoperativen Sensibilitätsstörung. Andererseits führten geringere Distanzen an Position P2 Buk und eine geringe Breite des Corpus mandibulae an Position P2 Br zu signifikant mehr Sensibilitätsstörungen.

Hanzelka et al. [86] kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass die Lage des N. alveolaris inferior zur Osteotomie-Linie bzw. die Exposition des N. alveolaris inferior keinen signifikanten Effekt auf das Auftreten und die Dauer von postoperativen Sensibilitätsstörungen hat. Untersucht wurden in der Studie 290 Patienten, die mit der Technik nach Obwegeser/Dal Pont, modifiziert nach Epker, operiert wurden. Patienten mit einer zusätzlichen Genioplastik wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden Studie, in der allerdings Genioplastiken inkludiert sind. Teerijoki-Oksa et al. [69] vermuteten, dass während der sagittalen Spaltung hauptsächlich dickere myelinisierte A- $\beta$ -Fasern traumatisiert werden. Dies wurde begründet durch die anfangs höhere Aufzeichnung von Traumatisierung des N. alveolaris inferior mittels Messung der Nervenleitfähigkeit, die eine schnelle Regeneration von 4 Monaten aufwies [78]. Westermarck et al. [79] wiesen bereits 1998 darauf hin, dass die intraoperative Exposition des N. alveolaris inferior einen deutlich geringeren Einfluss auf

postoperative Sensibilitätsstörungen hatte als erwartet. Die direkte Traumatisierung des N. alveolaris hatte einen geringeren Einfluss auf die Sensibilität als die Präparation des Weichgewebes. Westermark et al. schlossen daraus, dass wichtige Faktoren wie die mediale horizontale Präparation am Ramus mandibulae und eine mögliche Knickung und Stauchung des N. alveolaris inferior waren, infolgedessen eine Demyelinisierung der Nervenfasern eintritt [69]. Die Operationen wurden von drei unterschiedlich erfahrenen Operateuren durchgeführt. Es zeigte sich, dass die unerfahreneren Operateure mehr Schwierigkeiten mit der medialen Präparation hatten und deren Patienten eine höhere Rate postoperativer Sensibilitätsstörungen aufwiesen. Die langjährige Erfahrung des Operateurs und die große Anzahl an durchgeführten Operationen ist als möglicher positiver Faktor bei schwierigen und lateralen Verläufen zu werten und kann das geringe Auftreten von Sensibilitätsstörungen bei Freilegung des N. alveolaris inferior in dieser Studie erklären.

In der Studie von Westermark et al. [79] kam es zudem zu großen Unterschieden bei der Dauer der Regeneration sowie beim Auftreten postoperativer Sensibilitätsstörungen abhängig vom Alter des Patienten. Jüngere Patienten zeigten sich deutlich weniger anfällig für postoperative Sensibilitätsstörungen und auch die Regeneration war deutlich kürzer. Verweij et al. [98] vermuteten, dass der Verlust von Nervenfasern bei älteren Patienten eine wichtige Rolle spielt und sie aufgrund des Verlustes anfälliger für iatrogene intraoperative Schäden sind. In der Studie von Hanzelka et al. [86] kam es zu einem deutlich höheren Anteil an Sensibilitätsstörungen auf der linken Unterkieferseite. Als Grund wurde angegeben, dass das Sichtfeld des Operateurs eingeschränkter ist, wenn dieser von der gegenüberliegenden Seite operiert. Folglich wurde angenommen, dass ein eingeschränktes Sichtfeld zu einer erhöhten Traumatisierung des N. alveolaris inferior durch erhöhte Manipulation des Weichgewebes führt.

Teerijoki-Oksa et al. [81] bekräftigten die Ergebnisse von Westermark et al., Hanzelka et al. und unseren. Untersucht wurde intraoperativ die Sensibilität des N. alveolaris inferior mittels TESP im Hinblick auf Auffälligkeiten bezüglich der Operationstechnik und der Anatomie des Unterkiefers. Keinen signifikanten Effekt hatte die Exposition des N. alveolaris inferior, jedoch kam es bei der medialen Präparation zu deutlichen höheren elektrophysiologischen Parametern.

Nakagawa et al. [101] wiesen 2003 in einer Studie auf eine verlängerte Regenerationszeit von postoperativen Sensibilitätsstörungen und die Nähe des Canalis mandibulae zur Osteotomie-Linie hin. Untersucht wurde die Dauer postoperativer Sensibilitätsstörungen mittels TSEP und die Lage des Canalis mandibulae zur Osteotomie-Oberfläche in



postoperativ aufgenommenen CT-Scans. Die Nähe wurde mittels eines Scores definiert, wobei ein von der Osteotomie-Oberfläche weiter entfernter Canalis mandibulae (über 2 mm) einen niedrigeren Score bekam als ein direkt angrenzender Canalis mandibulae. Ein erhöhter Score korrelierte signifikant positiv mit einer länger andauernden Sensibilitätsstörung. Eine weitere Studie, von Lee et al. [94] untersuchte den Einfluss der Position des Canalis mandibulae auf die intraoperative Exposition des N. alveolaris inferior und mögliche postoperative Sensibilitätsstörungen. Sie stellten heraus, dass die intraoperative Exposition des N. alveolaris inferior signifikant mit einem höheren Risiko für temporären Sensibilitätsstörungen einhergeht. Die Exposition wurde intraoperativ beurteilt und in drei Kategorien eingeteilt: 1: N. alveolaris inferior ist nicht sichtbar, ist im zahntragenden Fragment eingebettet; 2: N. alveolaris inferior ist sichtbar, ist im zahntragenden Fragment eingebettet; 3: N. alveolaris inferior ist sichtbar abgetrennt vom zahntragenden Fragment. Lediglich in der dritten Kategorie war das Risiko für postoperative Sensibilitätsstörungen um das Dreizehnfache für 3 Monate, das Zehnfache für 6 Monate und das Siebenfache für 12 Monate erhöht. Kategorie 2 stellte gegenüber Kategorie 1 hingegen kein signifikant erhöhtes Risiko dar. Permanente postoperative Sensibilitätsstörungen wurden in dieser Studie nicht untersucht. Zusätzlich wurden wie bereits oben beschrieben die Lage des Canalis mandibulae und die Breite der Kortikalis untersucht. Die Breite der Kortikalis erhöhte das Risiko der Nerven-Exposition, jedoch korrelierte die Breite der Kortikalis nicht mit einer erhöhten postoperativen Sensibilitätsstörung. Es wird angenommen, dass eine breitere Kortikalis mehr Raum lateral des Canalis mandibulae zu Ungunsten des spongiösen Knochens einnimmt, wodurch das Risiko erhöht wird, dass der N. alveolaris freigelegt wird.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass der N. alveolaris inferior, wenn er die Osteotomie-Linie kreuzte, sie auch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auf der anderen Seite kreuzte. Bei 11 Patienten kreuzte der N. alveolaris inferior beidseitig die Osteotomie-Linie, bei 51 Patienten kam es zu keiner Kreuzung und bei 25 Patienten waren die Seiten ungleich. Hanzelka et al. [86] fanden eine Korrelation zwischen der Art der Darstellung des N. alveolaris inferior im Osteotomie-Spalt und der jeweiligen Seite. Die Studie untermauert die Annahme, dass eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass der N. alveolaris inferior sich auf beiden Unterkieferseiten gleich darstellt. Keinen Einfluss auf die Kreuzung der Osteotomie-Linie hatte die Art der Operation im Sinne eines Vor- oder Zurücksetzens des Unterkiefers. Auch gab es keinen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Sensibilitätsstörungen und der Art der Operation.

Eine geringere Distanz des N. alveolaris inferior von der bukkalen Kortikalis ging in dieser Studie mit einer erhöhten Inzidenz von Sensibilitätsstörungen einher, wie auch bereits in anderen Studien publiziert [39, 94, 97]. Rich et al. [97] verwiesen in dem veröffentlichten systematischen Review, dass eine geringere Distanz zwischen der bukkale Kortikalis und dem Canalis mandibulae mit einem erhöhten Auftreten von Sensibilitätsstörungen einhergeht. Ebenfalls beeinflusst die Dichte des spongiösen Knochens bukkal zwischen Canalis mandibulae und der Kortikalis auf Höhe der zweiten Molaren signifikant positiv das Auftreten postoperativen Sensibilitätsstörungen [102]. In der Studie von Lee et al. [94] korrelierte das Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen mit der bukkalen Distanz zwischen Canalis mandibulae und äußerer Kortikalis sechs Monate nach der Operation nicht signifikant positiv. Jedoch verringerte sich das Risiko postoperativer Sensibilitätsstörungen signifikant mit der Zunahme der bukkalen Distanz um einen Millimeter um 25,5 % nach drei Monaten und um 26,3 % nach 12 Monaten.

Die Vielfalt der möglichen Einflüsse auf die Sensibilität des N. alveolaris inferior kann sich positiv auf die von uns erhobenen Korrelationen bezüglich der anatomischen Verhältnisse auswirken. So haben patientenspezifische Aspekte wie Alter, Verlagerungsstrecke und eine zusätzliche Genioplastik Einfluss auf die postoperative Sensibilität des N. alveolaris inferior. In mehreren Studien wurde gezeigt, dass das Auftreten von Sensibilitätsstörungen mit einer Verlagerungsstrecke über 7 mm positiv korreliert [75, 80, 82]. Eine Auswertung der Verlagerungsstrecke fand in dieser Studie nicht statt. So ist ein positiver Einfluss auf die Sensibilität und die darauf bezogenen Auswertungen nicht auszuschließen. Weiter wurde gezeigt, dass eine zusätzliche Genioplastik, durch direkte Nerventraumen oder Streckungen des N. mentalis initial eine höhere Rate an Sensibilitätsstörungen nach sich zog, jedoch bezogen auf eine zweijährige Nachuntersuchung kein erhöhtes Risiko für permanente Sensibilitätsstörungen darstellte [77, 80]. Eine genaue Auswertung der subjektiv empfundenen Sensibilität des N. alveolaris inferior mittels eines Scores, wie in den Studien von Westermarck et al. [79] und Teerijoki-Oksa et al. [81], fand aufgrund des Studiendesigns nicht statt. So geben die erhobenen Daten nur darüber Aufschluss, ob eine Sensibilitätsstörung vorlag, jedoch nicht in welchem Umfang. Auffälligkeiten der Sensibilität wurden mittels Zweipunkt-Diskriminierung und Spitz-Stumpf-Diskriminierung genauer untersucht, wurden aber für

keinen der zufällig ausgewählten Patienten festgestellt. Die Studie konzentrierte sich primär auf die prä- und postoperative Lage des Canalis mandibulae.

Eine von viele Autoren geforderte Standardisierung der Vermessung der Lage des Canalis mandibulae und der Erfassung von Sensibilitätsstörungen würde allgemein dazu beitragen, unterschiedliche Faktoren genauer betrachten zu können [64]. Die meisten Studien basieren auf der sensorischen Testung, meist mittels Zweipunkt-Diskriminierung, und der subjektiven Aussage des Patienten über seine Gefühlsempfindung. Objektive Verfahren zur Quantifizierung von Sensibilitätsstörungen gestalten sich aufgrund der anatomischen Lage des N. alveolaris inferior als sehr schwierig und aufwändig [64]. Andererseits weisen subjektive Tests eine geringere Spezifität auf. Ihre mangelnde Reproduzierbarkeit und die Möglichkeit der falsch-positiven Ergebnisse machen es subjektiven Tests weniger möglich, eine exakte Aussage oder Diagnose zu treffen [103].

#### **4.2.3 Schlussfolgerung**

In der Studie wird gezeigt, dass die präoperative bukkale Lage des Canalis mandibulae signifikant positiv mit einem erhöhten Risiko der Kreuzung der Osteotomie-Linie korreliert, jedoch die Kreuzung der Osteotomie-Linie nicht zum erhöhten Auftreten postoperativer Sensibilitätsstörungen führt. Die bukkale Lage des Canalis mandibulae korreliert unabhängig von der Kreuzung der Osteotomie-Linie positiv mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von postoperativen Sensibilitätsstörungen. Die präoperative DVT-Diagnostik kann die Lage des Canalis mandibulae genau determinieren. Das Auftreten von postoperativen Sensibilitätsstörungen kann durch genaue Kenntnis der Anatomie und durch entsprechend vorsichtige chirurgische Präparation minimiert werden, auch bei weit lateralem Verlauf des Canalis mandibulae.

## 5 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Hullihen SP. Case of elongation of the under jaw, and distortion of the face and neck, caused by a burn, successfully treated. Baltimore: J. W. Woods; 1849. 12 p. p.
2. Aziz SR, Simon P. Hullihen and the origin of orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004;62(10):1303-7.
3. Biedermann W. The strange Story of Angle operation. *Ann Dent.* 1956;15:1-9.
4. Steinhäuser EW. Rückblick auf die Entwicklung der Dysgnathiechirurgie und Ausblick [Retrospective view of the development of malocclusion surgery and prospects]. *Mund Kiefer GesichtsChir.* 2003;7(6):371-9.
5. Strother EA. Maxillofacial surgery in World War I: the role of the dentists and surgeons. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61(8):943-50.
6. Cohn-Stock G. Die chirurgische Immediatregulierung der Kiefer, speziell die chirurgische Behandlung der Prognathie. *Vjschr Zahnheilk Berlin.* 1921;37:320.
7. Wassmund M. Lehrbuch der praktischen Chirurgie des Mundes und der Kiefer: H. Meusser; 1935.
8. Axhausen G. Zur Behandlung veralteter disloziert geheilter Oberkieferbrüche. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk.* 1934;1:334-9.
9. Schuchardt K. Die Chirurgie als helferin der kieferorthopaedie. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie.* 1954;15(1):1-25.
10. Obwegeser H, Trauner R. Zur Operationstechnik bei der Progenie und anderen Unterkieferanomalien. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd.* 1955;23(1):2.
11. Obwegeser H. Die einzeitige Vorbewegung des Oberkiefers und Rückbewegung des Unterkiefers zur Korrektur der extremen Progenie. *Schweiz Mschr Zahnheilk.* 1970;80:547-56.
12. Dal Pont G. Retromolar osteotomy for the correction of prognathism. *J Oral Surg Anesth Hosp Dent Serv.* 1961;19:42-7.
13. Mast G, Ehrenfeld M. Chirurgische Kieferorthopädie. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Zahn-Mund-Kieferheilkunde.* 4 ed. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 234-60.
14. Hunsuck EE. A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism. *J Oral Surg.* 1968;26(4):250-3.
15. Epker BN. Modifications in the sagittal osteotomy of the mandible. *J Oral Surg.* 1977;35(2):157-9.
16. Bockmann R, Meyns J, Dik E, Kessler P. The modifications of the sagittal ramus split osteotomy: a literature review. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2014;2(12):e271.
17. Schopf P. *Kieferorthopädie Band I.* 3 ed. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH; 2000. 439 p.
18. Rudzki-Janson I, Steinhäuser-Andresen S, Schleussner-Samuel C. Kieferorthopädische Aspekte der orthognathen Chirurgie. In: Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. *Kieferorthopädie. Zahn-Mund-Kieferheilkunde.* 2 ed. Suttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 366-98.
19. Risse D. Angle Klasse 2006 [cited 2017 17.01.2017]. Angle Klassen]. Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zahnfehlstellung>.
20. Katz MI. Angle classification revisited. 1: Is current use reliable? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;102(2):173-9.
21. Ehmer U. Klassifikation der kieferorthopädischen Befunde. In: Diedrich P, editor. *Praxis der Zahnheilkunde, Kieferorthopädie I, Orofaziale Entwicklung und Diagnostik.* 1. 4 ed. München, Jena: Urban und Fischer Verlag; 2000. p. 109-20.

22. Braun G, Duisdicker K, Freisfeld M. Die Befund-Gruppen nach Schmuth — ein einfaches Einteilungssystem der Dysgnathien. Fortschritte der Kieferorthopädie. 1991;52(4):212-7.
23. Klink-Heckmann U, Bredy E. Kieferorthopädie. 3. Aufl, JA Barth, Leipzig-Heidelberg. 1990:159-72.
24. Harzer W. Kieferorthopädie. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2011. 404 p.
25. Nötzel F, Schultz C. Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis: Deutscher Ärzteverlag; 2009.
26. Martone VD, Enlow DH, Hans MG, H. BJB, Oyen O. Class I and Class III malocclusion sub-groupings related to headform type. The Angle orthodontist. 1992;62(1):35-42.
27. Landes C, Sader R. Dysgnathie-Chirurgie. In: Sander FG, Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. Kieferorthopädie. Zahn-Mund-Kieferheilkunde. 2 ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 400-39.
28. Brachvogel P. Orthopädische Chirurgie. In: Reichart P, Hausamen J, Becker J, Neukam F, Schliephake H, Schmelzeisen R, editors. Chirurgie Band III. Curriculum Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie: Quintessenz Verlags-GmbH; 2003. p. 199-246.
29. Schopf P. Kieferorthopädie Band II. 3 ed. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH; 2000.
30. Austermann K. Orthopädische Chirurgie der Dysgnathien. Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie II, Praxis der Zahnheilkunde, Bd. 1998;10:131-91.
31. Puricelli E. A new technique for mandibular osteotomy. Head Face Med. 2007;3:15.
32. Haas LF, Dutra K, Porporatti AL, Mezzomo LA, De Luca Canto G, Flores-Mir C, et al. Anatomical variations of mandibular canal detected by panoramic radiography and CT: a systematic review and meta-analysis. Dentomaxillofac Radiol. 2016;45(2):20150310.
33. Carter RB, Keen EN. The intramandibular course of the inferior alveolar nerve. J Anat. 1971;108(Pt 3):433-40.
34. Rajchel J, Ellis E, 3rd, Fonseca RJ. The anatomical location of the mandibular canal: its relationship to the sagittal ramus osteotomy. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg. 1986;1(1):37-47.
35. Denio D, Torabinejad M, Bakland LK. Anatomical relationship of the mandibular canal to its surrounding structures in mature mandibles. J Endod. 1992;18(4):161-5.
36. Yu IH, Wong YK. Evaluation of mandibular anatomy related to sagittal split ramus osteotomy using 3-dimensional computed tomography scan images. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2008;37(6):521-8.
37. Tsuji Y, Muto T, Kawakami J, Takeda S. Computed tomographic analysis of the position and course of the mandibular canal: relevance to the sagittal split ramus osteotomy. Int J Oral Maxillofac Surg. 2005;34(3):243-6.
38. Ueki K, Okabe K, Miyazaki M, Mukozawa A, Marukawa K, Nakagawa K, et al. Position of mandibular canal and ramus morphology before and after sagittal split ramus osteotomy. J Oral Maxillofac Surg. 2010;68(8):1795-801.
39. Yamamoto R, Nakamura A, Ohno K, Michi KI. Relationship of the mandibular canal to the lateral cortex of the mandibular ramus as a factor in the development of neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy. J Oral Maxillofac Surg. 2002;60(5):490-5.
40. Liu T, Xia B, Gu Z. Inferior alveolar canal course: a radiographic study. Clin Oral Implants Res. 2009;20(11):1212-8.

41. Sekerci AE, Sahman H. Cone beam computed tomographic analyses of the position and course of the mandibular canal: relevance to the sagittal split ramus osteotomy. *Biomed Res Int.* 2014;2014:945671.
42. Huang CS, Syu JJ, Ko EW, Chen YR. Quantitative evaluation of cortical bone thickness in mandibular prognathic patients with neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(12):2153 e1-10.
43. Leite GM, Lana JP, de Carvalho Machado V, Manzi FR, Souza PE, Horta MC. Anatomic variations and lesions of the mandibular canal detected by cone beam computed tomography. *Surg Radiol Anat.* 2014;36(8):795-804.
44. Oliveira-Santos C, Capelozza AL, Dezzoti MS, Fischer CM, Poleti ML, Rubira-Bullen IR. Visibility of the mandibular canal on CBCT cross-sectional images. *J Appl Oral Sci.* 2011;19(3):240-3.
45. Ozturk A, Potluri A, Vieira AR. Position and course of the mandibular canal in skulls. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012;113(4):453-8.
46. Schulze R. S2k-Leitlinie Dentale digitale Volumentomographie: Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde; 2013 [updated 05.08.2013]. 9:[Available from: [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/083-0051\\_S2k\\_Dentale\\_Volumentomographie\\_2013-10.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/083-0051_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10.pdf).
47. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106(1):106-14.
48. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol.* 2005;56(3):413-7.
49. Holberg C, Steinhauser S, Geis P, Rudzki-Janson I. Cone-beam computed tomography in orthodontics: benefits and limitations. *J Orofac Orthop.* 2005;66(6):434-44.
50. Damstra J, Fourie Z, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy of linear measurements from cone-beam computed tomography-derived surface models of different voxel sizes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2010;137(1):16 e1-6; discussion -7.
51. Baba R, Konno Y, Ueda K, Ikeda S. Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT. *Comput Med Imaging Graph.* 2002;26(3):153-8.
52. Kyriakou Y, Struffert T, Dorfler A, Kalender WA. Basic principles of flat detector computed tomography (FD-CT). *Radiologe.* 2009;49(9):811-9.
53. Patcas R, Muller L, Ullrich O, Peltomaki T. Accuracy of cone-beam computed tomography at different resolutions assessed on the bony covering of the mandibular anterior teeth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;141(1):41-50.
54. Suomalainen A, Vehmas T, Kortensniemi M, Robinson S, Peltola J. Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2008;37(1):10-7.
55. Ludlow JB, Laster WS, See M, Bailey LJ, Hershey HG. Accuracy of measurements of mandibular anatomy in cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(4):534-42.
56. Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurement of distance using limited cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19(2):228-31.
57. Angelopoulos C, Thomas SL, Hechler S, Parissis N, Hlavacek M. Comparison between digital panoramic radiography and cone-beam computed tomography for the identification of the mandibular canal as part of presurgical dental implant assessment. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(10):2130-5.

58. Lofthag-Hansen S, Grondahl K, Ekestubbe A. Cone-beam CT for preoperative implant planning in the posterior mandible: visibility of anatomic landmarks. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2009;11(3):246-55.
59. Schmelzeisen R, Hausamen J. Nerven Chirurgie. In: Reichart P, Hausamen J, Becker J, Neukam F, Schliephake H, Schmelzeisen R, editors. *Chirurgie Band III. Curriculum Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie.* Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH; 2003. p. 549-69.
60. Cornelius CP. Erkrankung von Nerven im Mund-Kiefer-Gesichtsbereich. In: Schwenzer N, Ehrenfeld M, editors. *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie Zahn-Mund-Kieferheilkunde.* 4 ed. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2010. p. 378-431.
61. Zimmermann M. Das somatoviscerale sensorische System. In: Schmidt RF, Lang F, Gehard T, editors. *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie.* 29 ed. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag Berlin; 2004. p. 994.
62. Hausamen J, Reich B, Hoffmeister. Differentialtherapie nach Läsion des N. alveolaris inferior und N. lingualis [PDF]. 2003 [11.09.2017]. Available from: .
63. Nakagawa K, Ueki K, Matsumoto N, Takatsuka S, Yamamoto E, Ooe H. The assessment of trigeminal sensory nerve paraesthesia after bilateral sagittal split osteotomy: modified somatosensory evoked potentials recording method. *J Craniomaxillofac Surg.* 1997;25(2):97-101.
64. Phillips C, Essick G. Inferior alveolar nerve injury following orthognathic surgery: a review of assessment issues. *J Oral Rehabil.* 2011;38(7):547-54.
65. Teerijoki-Oksa T, Jaaskelainen S, Forssell K, Virtanen A, Forssell H. An evaluation of clinical and electrophysiologic tests in nerve injury diagnosis after mandibular sagittal split osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2003;32(1):15-23.
66. Schultze-Mosgau S, Krems H, Ott R, Neukam FW. A prospective electromyographic and computer-aided thermal sensitivity assessment of nerve lesions after sagittal split osteotomy and Le Fort I osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2001;59(2):128-38; discussion 38-9.
67. Hashiba Y, Ueki K, Marukawa K, Shimada M, Yoshida K, Shimizu C, et al. A comparison of lower lip hypoesthesia measured by trigeminal somatosensory-evoked potential between different types of mandibular osteotomies and fixation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;104(2):177-85.
68. Jaaskelainen SK. A new technique for recording sensory conduction velocity of the inferior alveolar nerve. *Muscle Nerve.* 1999;22(4):455-9.
69. Teerijoki-Oksa T, Jaaskelainen SK, Forssell K, Forssell H. Recovery of nerve injury after mandibular sagittal split osteotomy. Diagnostic value of clinical and electrophysiologic tests in the follow-up. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2004;33(2):134-40.
70. Hassfeld S, Meinck H-M. The jaw-opening reflex: a new technique for evaluation of facial sensory disturbances. II.: Observations in patients with trigeminal nerve branche lesions. *EEG EMG.* 1993;24(3):147-.
71. Agbaje JO, Salem AS, Lambrichts I, Jacobs R, Politis C. Systematic review of the incidence of inferior alveolar nerve injury in bilateral sagittal split osteotomy and the assessment of neurosensory disturbances. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(4):447-51.
72. Essick GK, Phillips C, Turvey TA, Tucker M. Facial altered sensation and sensory impairment after orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2007;36(7):577-82.
73. Kuhlefeld M, Laine P, Suominen AL, Lindqvist C, Thoren H. Nerve manipulation during bilateral sagittal split osteotomy increases neurosensory disturbance and decreases patient satisfaction. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(10):2052 e1-5.
74. Yamauchi K, Takahashi T, Kaneuji T, Nogami S, Yamamoto N, Miyamoto I, et al. Risk factors for neurosensory disturbance after bilateral sagittal split osteotomy based on

- position of mandibular canal and morphology of mandibular angle. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(2):401-6.
75. Ylikontiola L, Kinnunen J, Oikarinen K. Factors affecting neurosensory disturbance after mandibular bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2000;58(11):1234-9; discussion 9-40.
  76. Verweij JP, Houppermans PN, Gooris P, Mensink G, van Merkesteyn JP. Risk factors for common complications associated with bilateral sagittal split osteotomy: A literature review and meta-analysis. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(9):1170-80.
  77. Alolayan AB, Leung YY. Risk factors of neurosensory disturbance following orthognathic surgery. *PLoS One.* 2014;9(3):e91055.
  78. Robinson LR. Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve.* 2000;23(6):863-73.
  79. Westermarck A, Bystedt H, von Konow L. Inferior alveolar nerve function after sagittal split osteotomy of the mandible: correlation with degree of intraoperative nerve encounter and other variables in 496 operations. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 1998;36(6):429-33.
  80. Van Sickels JE, Hatch JP, Dolce C, Bays RA, Rugh JD. Effects of age, amount of advancement, and genioplasty on neurosensory disturbance after a bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002;60(9):1012-7.
  81. Teerijoki-Oksa T, Jaaskelainen SK, Forssell K, Forssell H, Vahatalo K, Tammissalo T, et al. Risk factors of nerve injury during mandibular sagittal split osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002;31(1):33-9.
  82. Thygesen TH, Bardow A, Helleberg M, Norholt SE, Jensen J, Svensson P. Risk factors affecting somatosensory function after sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(3):469-74.
  83. Gianni AB, D'Orto O, Biglioli F, Bozzetti A, Brusati R. Neurosensory alterations of the inferior alveolar and mental nerve after genioplasty alone or associated with sagittal osteotomy of the mandibular ramus. *J Craniomaxillofac Surg.* 2002;30(5):295-303.
  84. Fridrich KL, Holton TJ, Pansegrau KJ, Buckley MJ. Neurosensory recovery following the mandibular bilateral sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 1995;53(11):1300-6; discussion 6-7.
  85. Leira JI, Gilhuus-Moe OT. Sensory impairment following sagittal split osteotomy for correction of mandibular retrognathism. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1991;6(3):161-7.
  86. Hanzelka T, Foltan R, Pavlikova G, Horka E, Sedy J. The role of intraoperative positioning of the inferior alveolar nerve on postoperative paresthesia after bilateral sagittal split osteotomy of the mandible: prospective clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(9):901-6.
  87. Haßfeld S, Kunkel M, Ulrich H, Wagner W, Zöller J. Indikationen zur Schnittbilddiagnostik in der Mund-, Kiefer-und Gesichtschirurgie (CT/DVT). *Der MKG Chirug.* 2008;1:148-51.
  88. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006;72(1):75-80.
  89. Thiel H-J, Haßfeld S. *Schnittbilddiagnostik in MKG-Chirurgie und Zahnmedizin.* 1 ed. Stuttgart New York: Georg Thieme; 2001.
  90. Carter JB, Stone JD, Clark RS, Mercer JE. Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Overview of Published Indications and Clinical Usage in United States Academic Centers and Oral and Maxillofacial Surgery Practices. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015.



91. Visser H, Hermann KP, Bredemeier S, Kohler B. Dose measurements comparing conventional and digital panoramic radiography. *Mund Kiefer GesichtsChir.* 2000;4(4):213-6.
92. Loubele M, Bogaerts R, Van Dijck E, Pauwels R, Vanheusden S, Suetens P, et al. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol.* 2009;71(3):461-8.
93. Verbraucherschutz BdJuf. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung - RöV): Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz; 2014 [updated 11.12.2014; cited 2017 09.09.2017]. Available from: [http://www.gesetze-im-internet.de/r\\_v\\_1987/](http://www.gesetze-im-internet.de/r_v_1987/).
94. Lee JH, Son YJ, Hwang JH, Baek SH, Jeon JH. Influence of anatomic position and intraoperative exposure of the inferior alveolar nerve on neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy: a three-dimensional computed tomography study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2016;122(3):300-5.
95. Ylikontiola L, Moberg K, Huuonen S, Soikkonen K, Oikarinen K. Comparison of three radiographic methods used to locate the mandibular canal in the buccolingual direction before bilateral sagittal split osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002;93(6):736-42.
96. Tamas F. Position of the mandibular canal. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1987;16(1):65-9.
97. Rich J, Golden BA, Phillips C. Systematic review of preoperative mandibular canal position as it relates to postoperative neurosensory disturbance following the sagittal split ramus osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014;43(9):1076-81.
98. Verweij JP, Mensink G, Fiocco M, van Merkesteyn JP. Incidence and recovery of neurosensory disturbances after bilateral sagittal split osteotomy in different age groups: a retrospective study of 263 patients. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(7):898-903.
99. Yoshioka I, Tanaka T, Habu M, Oda M, Kodama M, Kito S, et al. Effect of bone quality and position of the inferior alveolar nerve canal in continuous, long-term, neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2012;40(6):e178-83.
100. Verweij JP, Mensink G, Fiocco M, van Merkesteyn JP. Morphological features of the mandible as predictors for neurosensory disturbances after bilateral sagittal split osteotomy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015;43(9):1710-5.
101. Nakagawa K, Ueki K, Takatsuka S, Yamamoto E. Trigeminal nerve hypesthesia after sagittal split osteotomy in setback cases: correlation of postoperative computed tomography and long-term trigeminal somatosensory evoked potentials. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61(8):898-903.
102. Yoshioka I, Tanaka T, Khanal A, Habu M, Kito S, Kodama M, et al. Correlation of mandibular bone quality with neurosensory disturbance after sagittal split ramus osteotomy. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2011;49(7):552-6.
103. Aarabi M, Tabrizi R, Hekmat M, Shahidi S, Puzesh A. Relationship between mandibular anatomy and the occurrence of a bad split upon sagittal split osteotomy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(12):2508-13.

## **Danksagung**

Ich bedanke mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Ulrich Meyer für die Überlassung dieses interessanten Themas und für die in jeglicher Hinsicht jederzeit sehr gute Betreuung.

Mein besonderer Dank gilt Frau Gisela Münch für die wundervolle und ausdauernde Unterstützung bei der Korrektur der Arbeit. Mein weiterer Dank geht an Herrn Gerd Nipper für die äußerst hilfreiche Einweisung in das Statistikprogramm.

Weiterhin gebührt großer Dank meinen beiden Geschwistern, Dr. Gianna Neudeck und Dr. Stephan Neudeck, für Ihr ausgesprochen hilfreiches Engagement. Sie standen mir zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite.