

„Prospektive Erfassung von Unterkieferfrakturen und Korrelation MRT-
versus CT-Befund mit Schädigung des Nervus alveolaris inferior“

Lisa Maier

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Medicine and Health der Technischen Universität München zur Erlangung einer Doktorin der Zahnheilkunde (Dr. med. dent.) genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Herbert Deppe

Prüfende der Dissertation:

1. Priv.-Doz. Dr. Dr. Andreas M. Fichter
2. Priv.-Doz. Dr. Monika Probst

Die Dissertation wurde am 02.07.2024 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Medicine and Health am 05.12.2024 angenommen.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die bei der promotionsführenden Einrichtung **Fakultät für Medizin** der TUM zur Promotionsprüfung vorgelegte Arbeit mit dem Titel „**Prospektive Erfassung von Unterkieferfrakturen und Korrelation MRT- versus CT-Befund mit Schädigung des Nervus alveolaris inferior**“ in der Fakultät für Medizin, Klinikum rechts der Isar, Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie unter der Anleitung und Betreuung durch **Apl. Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Andreas Fichter** ohne sonstige Hilfe erstellt und bei der Abfassung nur die gemäß § 6 Abs. 6 und 7 Satz 2 angebotenen Hilfsmittel benutzt habe.

- Ich habe keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht, oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.
- Ich habe die Dissertation in dieser oder ähnlicher Form in keinem anderen Prüfungsverfahren als Prüfungsleistung vorgelegt.
- Die vollständige Dissertation wurde in _____ veröffentlicht. Die promotionsführende Einrichtung _____ hat der Veröffentlichung zugestimmt.
- Ich habe den angestrebten Doktorgrad noch nicht erworben und bin nicht in einem früheren Promotionsverfahren für den angestrebten Doktorgrad endgültig gescheitert.
- Ich habe bereits am _____ bei der Fakultät für der Hochschule _____ unter Vorlage einer Dissertation mit dem Thema _____ die Zulassung zur Promotion beantragt mit dem Ergebnis: _____

Die öffentlich zugängliche Promotionsordnung der TUM ist mir bekannt, insbesondere habe ich die Bedeutung von § 28 (Nichtigkeit der Promotion) und § 29 (Entzug des Doktorgrades) zur Kenntnis genommen. Ich bin mir der Konsequenzen einer falschen Eidesstattlichen Erklärung bewusst.

Mit der Aufnahme meiner personenbezogenen Daten in die Alumni-Datei bei der TUM bin ich einverstanden.



München, 16.06.2024

Anmerkung zu den verwendeten Daten und Vorveröffentlichungen

Die Akquise der Studienteilnehmer und deren klinische Untersuchung auf neurologische Defizite wurden von mir durchgeführt. Auch die MRT-Aufnahmen aller an der Studie beteiligten Patienten habe ich selbst, mit freundlicher Unterstützung der Mitarbeiter der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie des Klinikums rechts der Isar, erstellt. Die in der Studie verwendeten CT- und DVT-Aufnahmen wurden im Rahmen der Frakturdiagnostik von der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie des Klinikums rechts der Isar angefertigt.

Die Auswertung aller Bilddaten wurde von mir durchgeführt. Hierbei stand mir Frau Priv.-Doz. Dr. Monika Probst (Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie) jederzeit bei fachlichen und methodischen Fragen im Bereich der Neuroradiologie zur Seite. Daneben erhielt ich fortwährende fachliche wie methodische Unterstützung im Bereich der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie von meinem Ansprechpartner Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. Lucas Ritschl (Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie). Die deskriptive Statistik wurde von mir selbstständig durchgeführt. Die weiterführenden statistischen Auswertungen wurden von Frau Dr. Victoria Kehl (Institut für KI und Informatik in der Medizin des Klinikums rechts der Isar) übernommen.

Eine Vorveröffentlichung, für die Teile der im Rahmen der Studie angefertigten MRT-Aufnahmen und Daten aus der klinischen Untersuchung verwendet wurden, wurde in Koautorenschaft mit den Erstautor Priv.-Doz. Dr. Dr. Egon Burian und der Zweitautorin Priv.-Doz. Dr. Monika Probst unter dem Titel „High resolution MRI for quantitative assessment of inferior alveolar nerve impairment in course of mandible fractures: an imaging feasibility study“ (DOI: 10.1038/s41598-020-68501-5) im Journal „Scientific Reports“ eingereicht und am 14.07.2020 publiziert.

Eine weitere Vorveröffentlichung, in die ebenfalls Teile der für die vorliegende Arbeit angefertigten MRT-Aufnahmen sowie die im Rahmen der Frakturdiagnostik erstellten CT-Aufnahmen einbezogen wurden, wurde mit dem Erstautor Dr. Georg Feuerriegel und dem Zweitautor Priv.-Doz. Dr. Dr. Lucas Ritschl unter dem Titel „Imaging of traumatic mandibular fractures in young adults using CT-like MRI: a feasibility study“ (DOI: 10.1007/s00784-022-04736-y) am 27.03.2023 im Journal „Clinical Oral Investigations“ publiziert.

Abkürzungsverzeichnis

3D T1 FFE	3-dimensional T1 fast field echo
3D STIR	3-dimensional short-tau inversion recovery
ASA	American Society of Anesthesiologists
aSNR	Apparent signal to noise ratio, Signal-Rausch-Verhältnis
aNMCNR	Apparent nerve-muscle contrast to noise ratio, Nerv-Muskel-Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis
BMI	Body Mass Index
cm ²	Quadratcentimeter
CT	Computertomografie
DAP	Dosisflächenprodukt
DM	Durchmesser
DVT	Digitale Volumetomografie
Hz	Hertz
FOV	Field of View, Untersuchungsfeld
IMF	Intermaxilläre Fixation
IR	Inversionsrückstellung
kV	Kilovolt
mA	Milliampere
mGy	Milligray
min	Minute
mm	Millimeter
mm ³	Kubikmillimeter
MRT	Magnetresonanztomografie
ms	Millisekunde
mSv	Millisievert
µm	Mikrometer
µSv	Mikrosievert
N.	Nervus, Nerv
N	Anzahl
OPG	Orthopantomogramm

pix	Pixel
ROI	Region of Interest
s	Sekunde
SD	Standardabweichung
SI	Signalintensität
Sig.	Signifikanz
STL	Standard triangle language, Stereolithografie
T1	T1-Wichtung
T2	T2-Wichtung
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	9
1.1. Anatomische Grundlagen zu Verlauf und Funktion des N. trigeminus.....	9
1.2. Pathophysiologie von Schädigungen peripherer Nerven	10
1.2.1. Relevanz in der fazialen Traumatologie.....	11
1.2.2. Gegenwärtiger Stand der Literatur	13
1.3. Mandibuläre Frakturen	13
1.3.1. Epidemiologie	13
1.3.2. Anamnese und klinische Untersuchung	14
1.3.3. Konventionelle bildgebende Diagnostik.....	15
1.3.4. Untersuchung auf neurosensorische Defizite	16
1.3.5. Therapie von Unterkieferfrakturen	16
1.3.6. Komplikationen	17
1.4. Magnetresonanztomografie.....	18
1.4.1. Indikationen	18
1.4.2. MRT-Sequenzen zur Darstellung anatomischer Strukturen im Kieferbereich	18
1.4.2.1. Neuartige MRT-Sequenzen.....	18
1.4.2.2. „Black Bone“-Sequenz.....	19
1.4.2.3. 3D STIR-Sequenz.....	20
1.5. Zielsetzungen der Arbeit.....	21
2. Material und Methodik	23
2.1. Patientenkollektive	23
2.1.1. Erhebung epidemiologischer Daten und Einschlusskriterien.....	23
2.1.2. Ausschlusskriterien.....	25
2.1.3. Erstellung von Patientenkollektiven	25
2.1.3.1. Kollektiv „CT versus MRT“	25
2.1.3.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“	25
2.2. Klinische Untersuchung auf neurosensorische Defizite	26
2.2.1. Untersuchung der Berührungsempfindung	27

2.2.2. Untersuchung der Schmerzempfindung	27
2.3. CT-Bildgebung.....	28
2.4. MRT-Bildgebung.....	29
2.5. Auswertung der Bilddaten	32
2.5.1. Kollektiv „CT versus MRT“	33
2.5.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“	34
2.5.2.1. Nervendurchmesser	35
2.5.2.2. Signalintensität und Standardabweichung.....	35
2.5.2.3. Berechnung von aSNR und aNMCNR.....	36
2.6. Statistik.....	36
2.6.1. Deskriptive Statistik des Gesamtkollektivs	37
2.6.2. Statistische Auswertungen zum Kollektiv „CT versus MRT“	37
2.6.3. Statistische Auswertungen zum Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“	37
3. Ergebnisse.....	39
3.1. Patientenkollektive	39
3.1.1. Kollektiv „CT versus MRT“	39
3.1.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“	40
3.1.3. Ausgeschlossene Patienten	40
3.2. Epidemiologische Daten.....	41
3.2.1. Ätiologie	41
3.2.2. Alters- und Geschlechterverteilung.....	42
3.2.3. Frakturlokalisierung.....	42
3.2.4. Prävalenz klinischer Nervendysfunktionen	43
3.2.5. Chirurgische Therapie und postoperative Fixation	46
3.2.6. Dauer der Hospitalisierung	46
3.3. Vergleich zwischen CT und MRT	46
3.4. Postoperative Hypästhesien.....	49
3.4.1. Prävalenz klinischer Nervenschädigungen.....	49
3.4.2. Korrelation zwischen klinischer Hypästhesie und MRT	49

4. Diskussion	54
4.1. Studiendesign.....	54
4.1.1. Prospektivität	54
4.1.2. Messzeitpunkt und Pathophysiologie	54
4.1.3. Limitationen	55
4.2. Definition und Einteilung klinisch manifester Hypästhesien	56
4.3. Forensik	57
4.4. Reduktion der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung	58
4.5. Darstellung fazialer Weichgewebe in der MRT	59
4.5.1. Visualisierung des N. alveolaris inferior	59
4.5.2. Darstellung angrenzender fazialer Strukturen	60
4.6. Knochendarstellung in der MRT.....	61
4.6.1. Dentale MRT.....	61
4.6.2. Diagnostik ossärer Pathologien	61
4.6.3. Digitale Planung chirurgischer Eingriffe.....	62
4.7. Fazit.....	64
5. Zusammenfassung	65
6. Referenzen	67
6.1. Abbildungsverzeichnis.....	67
6.2. Tabellenverzeichnis.....	69
6.3. Literaturverzeichnis	70
7. Anhänge	86
7.1. Ethikvotum.....	86
7.2. Information für Studienteilnehmer	88
7.3. Einverständniserklärung zur Studie.....	91
7.4. Aufklärungsbogen für die MRT-Untersuchung	94
8. Danksagung	99

1. Einleitung

1.1. Anatomische Grundlagen zu Verlauf und Funktion des N. trigeminus

Der Nervus trigeminus ist mit seinen drei Hauptästen, den Nervi ophthalmici, maxillares und mandibulares aufgrund seines großflächigen Innervations- und Funktionsbereiches im Gesicht einer der bedeutendsten Hirnnerven. Neben der in Abbildung 1 veranschaulichten Innervation der Gesichtshaut sind einzelne Nervenäste auch für die sensible Innervation der Mund- und Nasenhöhle verantwortlich. Der Unterkiefer wird zu einem großen Teil vom Nervus mandibularis versorgt. Dieser enthält sowohl sensorische, als auch motorische Äste. Ausgehend vom Ganglion trigeminale tritt er durch das Foramen ovale aus der Schädelbasis aus und teilt sich dort in die verschiedenen Äste auf. Den motorischen Anteil bilden die Nervi mylohyoidei, masseterici, temporales profundi, und pterygoidei, die die jeweils gleichnamige mastikatorische Muskulatur innervieren. Die sensiblen Nervenäste umfassen den Ramus meningeus sowie die Nervi auriculotemporales, alveolaris inferiores und linguales. Von spezieller Bedeutung für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist neben dem Nervus lingualis besonders der Nervus alveolaris inferior, der auf der medialen Seite des Ramus ascendens durch das Foramen mandibulae in den Unterkieferknochen eintritt und innerhalb des knöchernen Canalis mandibulae nach kaudal und ventral verläuft, bevor er mit seinem Endast, dem Nervus mentalis, durch das Foramen mentale auf der lateralen Seite der Mandibula wieder aus dem Knochen austritt. Im Verlauf gibt er die Rami dentales sowie den Ramus incisivus ab, die der sensiblen Innervation von Zähnen, Gingiva und Parodont dienen. Anatomische Variationen des Nervus alveolaris inferior werden im Sinne eines doppelten Mandibularkanals, eines doppelten Foramen mentale oder eines stark ausgeprägten „loops“ anterior des Foramen mentale beschrieben (de Oliveira-Santos et al., 2012). Aufgrund seiner exponierten Lage ist der Nervus alveolaris inferior bei traumatischen Ereignissen wie Frakturen, aber auch bei iatrogenen Eingriffen wie Weisheitszahnextraktionen, Implantatinsertionen oder Dysgnathiekorrekturen im Unterkiefer einem besonders hohen Verletzungsrisiko ausgesetzt (Juodzbalys et al., 2011, Bede et al., 2012, Bhat et al., 2012, Yadav et al., 2016, Antony et al., 2017).

- N. ophthalmicus (V₁)
- N. maxillaris (V₂)
- N. mandibularis (V₃)
 - a) N. auriculotemporalis
 - b) N. buccalis
 - c) N. mentalis

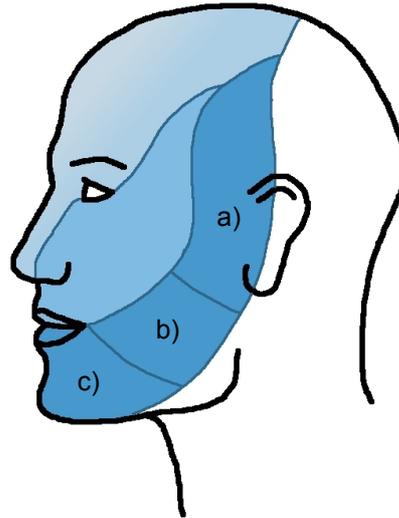


Abbildung 1: Dermatome des N. trigeminus im Gesichtsbereich mit besonderer Berücksichtigung der kutanen terminalen Äste des N. mandibularis, Abbildung angelehnt an Rohkamm et al. (2021).

1.2. Pathophysiologie von Schädigungen peripherer Nerven

Traumatische Schädigungen peripherer Nerven lassen sich nach Sunderland in fünf Schweregrade einteilen (1951). Während Grad I in einem reversiblen Verlust der Schwann-Zellen, die die Axone umgeben, resultiert (Demyelinisierung), kommt es bei allen höheren Graden zu einer Kontinuitätsunterbrechung der neuronalen Ausläufer auf unterschiedlichen Ebenen. Einen schematischen Aufbau der verschiedenen Schichten eines peripheren Nervenstrangs zeigt Abbildung 2. Bei Schweregrad II werden Nervfasern innerhalb eines Kompartiments ohne Destruktion der Faszikelarchitektur geschädigt. Grad III ist definiert durch eine Schädigung auf der Ebene des Endoneuriums. Dadurch können bei der Regeneration teilweise Fehlsprossungen einzelner Axone außerhalb deren ursprünglicher Nervfaszikel entstehen. Bei einer Grad IV-Läsion sind sowohl das Perineurium, als auch das interfaszikuläre Endoneurium traumatisch geschädigt, sodass die innere Struktur trotz äußerlich erhaltener Kontinuität des Nervenstrangs zerstört wird. Grad V beschreibt eine vollständige Durchtrennung des gesamten Nervs. Alle Grade werden bei sensorischen Nerven in der Klinik unmittelbar posttraumatisch durch eine Herabsetzung der sensiblen Qualitäten (Hypästhesie) im entsprechenden Innervationsgebiet symptomatisch. Subjektiv wird häufig primär ein Taubheitsgefühl (sensible Hypästhesie) wahrgenommen. Auch das

Auftreten einer isolierten Beeinträchtigung einzelner sensorischer Qualitäten im Sinne einer dissoziierten Empfindungsstörung ist möglich (Klingelhöfer et al., 2015c). Bei vollständiger Aufhebung der sensorischen Funktionen wird von einer Anästhesie gesprochen. Darüber hinaus können sich weitere Missempfindungen äußern, zum Beispiel spontane Wahrnehmungen von kribbelndem oder elektrisierendem Charakter (Parästhesien) oder Schmerzreize, die durch eine üblicherweise nicht schmerzhaft Berührung ausgelöst werden (Allodynien) (Rohkamm et al., 2021).

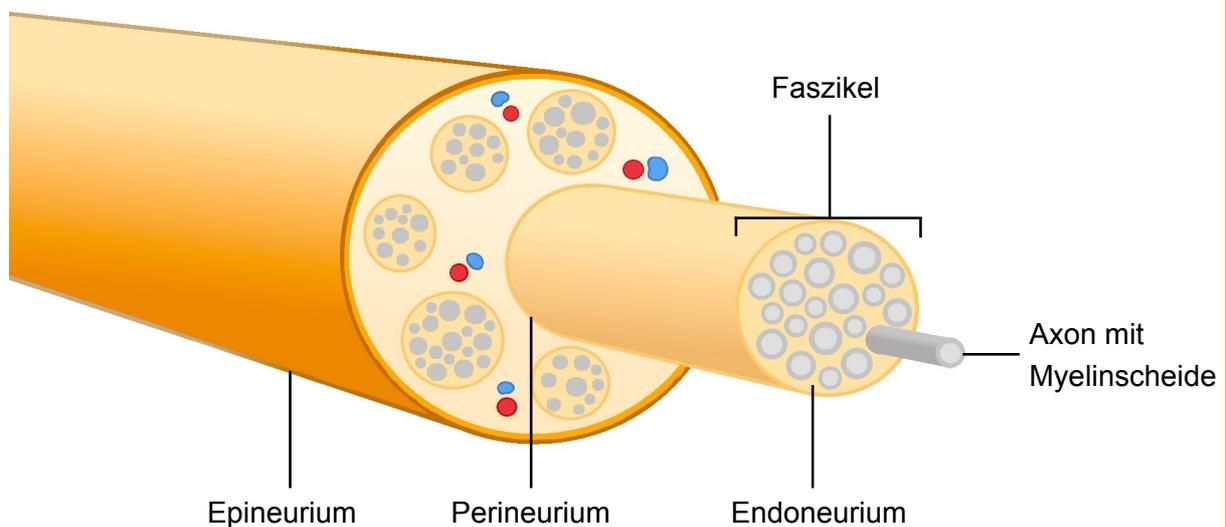


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines peripheren Nerven, angelehnt an Schünke et al. (2018).

1.2.1. Relevanz in der fazialen Traumatologie

Verletzungen durch traumatische Ereignisse am Gesichtsschädel stellen eine der Hauptindikationen mund-, kiefer- und gesichtschirurgischen Handlungsbedarfs dar. Im Rahmen dieser Vorfälle kann es zur Schädigung exponierter knöcherner und weichgewebiger Strukturen im Gesichtsbereich kommen. Die häufigsten Frakturen im Gesichtsbereich sind Frakturen des Os nasale, des Os zygomaticum und der Mandibula (Allareddy et al., 2011, Gómez Roselló et al., 2020). Bei mandibulären Frakturen zwischen Foramen mandibulae und Foramen mentale besteht wie in Abbildung 3 veranschaulicht

aufgrund der Einbeziehung des Canalis mandibulae das Risiko einer Schädigung des darin verlaufenden Nervus alveolaris inferior. Die Mechanismen hierfür sind vielfältig und abhängig vom individuellen Traumahergang (Iizuka et al., 1991, Menorca et al., 2013). Beispielsweise kann eine Überdehnung des Nervs bei starker Dislokation zur unmittelbaren Faszikelruptur bei erhaltenem Perineurium oder der Verletzung endoneuraler Blutgefäße mit Hämorrhagien führen und dadurch sekundär die Faszikel komprimieren (Sunderland, 1970). Auch direkte mechanische Laceration des Nervs und Ischämien (Vriens et al., 1995) können die oben beschriebenen Empfindungsstörungen auslösen. Diese können für Patienten starke Einschränkungen bei alltäglichen Tätigkeiten bedeuten. Neben dem ungewollten Ausfließen von Speichel, Getränken oder Nahrungsmitteln aus der Mundhöhle können aufgrund des herabgesetzten Schmerzempfindens Einbisse und Verletzungen von Gingiva oder Unterlippe entstehen. Durch fehlende Wärme- und Kälteempfindung sowie parodontale Propriozeption der Zähne distal der Frakturlinie besteht ein erhöhtes Risiko für mechanische oder thermische Zahntraumata.

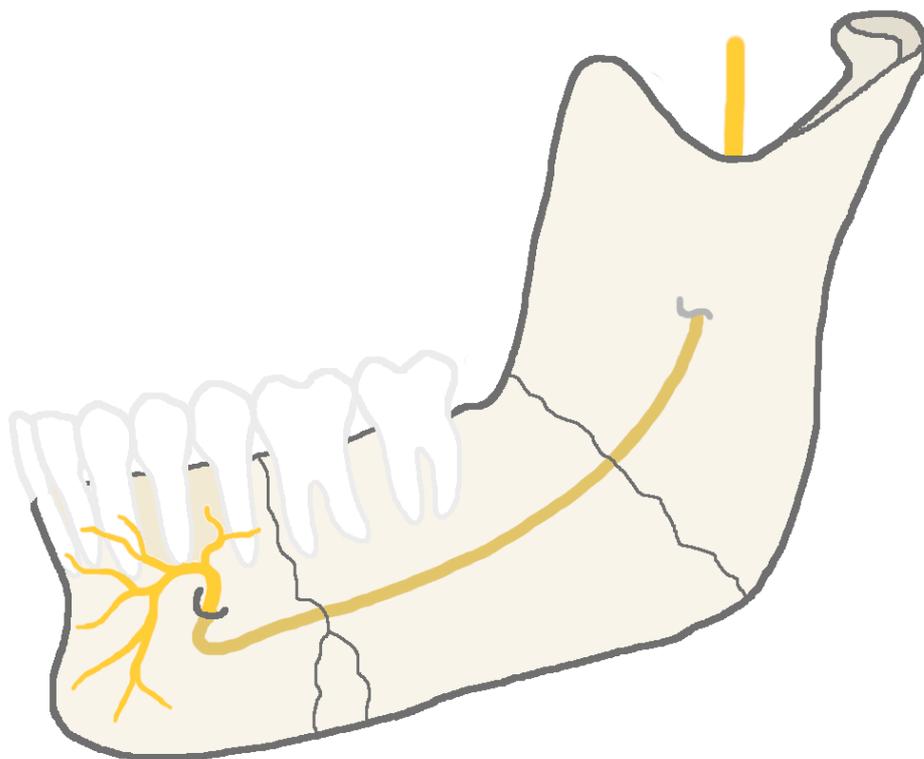


Abbildung 3: Verlauf des Nervus alveolaris inferior innerhalb des Mandibularknochens mit möglichen Frakturlinien mit Beteiligung des Canalis mandibulae, angelehnt an Boffano et al. (2014)

1.2.2. Gegenwärtiger Stand der Literatur

Die Beschreibung neurosensorischer Beeinträchtigungen des N. alveolaris inferior und deren Regeneration nach mandibulären Frakturen in der gegenwärtigen Literatur ist heterogen und unzulänglich (Iizuka et al., 1991, Renzi et al., 2004, Kushnerev et al., 2015, Yadav et al., 2016). In einer Übersichtsarbeit von Thurmüller et al. wird die Prävalenz von Nervenschädigungen mit einer hohen Divergenz zwischen 5,7 und 58,5 % für post-traumatische und zwischen 0,4 bis 91,3 % für postoperative Defizite angegeben. Für permanente neurologische Defizite reichen die Angaben über die Prävalenz von 8,0 bis 66,7 % (2001). Entsprechend Yadav et al. verschlechtert sich die Prognose durch Dislokationen über 5 mm sowie eine Lokalisation am Kieferwinkel (2016). Auch Schultze-Mosgau et al. und Iizuka et al. kommen zu dem Ergebnis, dass der Dislokationsgrad mit der Prävalenz neurologischer Dysfunktionen korreliert (1991, 1999). Jedoch kann anhand der Betrachtung der Dislokation der knöchernen Fragmente weder die tatsächliche maximale Separation der Frakturenden und damit die mechanische Belastung des neurovaskulären Bündels zum Unfallzeitpunkt eingeschätzt, noch mit den konventionellen bildgebenden Methoden der Zustand des N. alveolaris inferior direkt visualisiert werden (Tay et al., 2015, Singh et al., 2016). Zudem lässt sich zur Langzeitprognose keine valide Aussage alleine anhand der klinischen Symptomatik treffen (Akai et al., 2000). Dadurch wird letztlich auch die Wahl von Zeitpunkt und Modalität möglicher Therapien (konservative Beobachtung oder chirurgische Intervention) erschwert. Ein ergänzendes, validiertes Diagnostikmedium für die klassische strahlenbehaftete röntgenologische Untersuchung existiert derzeit nicht.

1.3. Mandibuläre Frakturen

1.3.1. Epidemiologie

Ätiologisch verantwortlich sind für Unterkieferfrakturen am häufigsten tätliche Übergriffe (29 bis 48 %), gefolgt von Verkehrsunfällen und Stürzen (Fridrich et al., 1992, Olate et al., 2013, Boffano et al., 2014). Nach Fridrich et al. entfällt hinsichtlich der Lokalisation unter allen Unterkieferfrakturen der größte Anteil auf den Kieferwinkel (27 %), den gelenktragenden

Processus condylaris (26 %) sowie Symphyse und Parasymphyse (24 %), wobei bei 43 % der Patienten weitere Verletzungen im Kopf-Hals-Bereich vorhanden sind (1992). Bei isolierter Betrachtung von Frakturen zwischen den Foramina mandibulares und mentales befinden sich nach Boffano et al. 50 % der Bruchlinien im Kieferwinkel-, 48 % im Korpusbereich und 2 % im aufsteigenden Unterkieferast (2014).

1.3.2. Anamnese und klinische Untersuchung

Bei Verdacht auf eine Fraktur im Gesichtsbereich wird eine ausführliche Krankengeschichte erhoben. Bei der speziellen Anamnese werden vom Patienten oder einer Begleitperson zunächst die Beschwerden und der Unfallhergang geschildert. Häufig von den Patienten angegebene Symptome sind Schmerzen, Schwellung, Einschränkung der Unterkiefermobilität und Malokklusion (Moos, 2002). Da in der Mehrzahl der Fälle ein traumatischer Vorfall ätiologisch ist, muss ein Schädel-Hirn-Trauma ausgeschlossen werden. Hinweise darauf sind posttraumatische Bewusstlosigkeit, Amnesie, Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen oder Schwindel. Zudem wird die allgemeine Krankengeschichte des Patienten ermittelt, zu der regelmäßig eingenommene Medikamente, Vorerkrankungen sowie frühere Traumata und Operationen zählen. Bei der klinischen Untersuchung werden nach einer orientierenden extra- und intraoralen Inspektion die Frakturzeichen durch Palpation überprüft. Zu den unsicheren Frakturzeichen zählen Schmerz, Schwellung, Hämatom, eingeschränkte Kieferöffnung und Malokklusion, da diese auch durch andere Krankheitsbilder wie isolierte Traumata der Zähne oder des Alveolarfortsatzes hervorgerufen werden können. Bei abnormaler Beweglichkeit, hörbarer Krepitation, sichtbaren Frakturenenden oder eindeutiger Achsenfehlstellung des Knochens kann eine Fraktur bereits klinisch sicher diagnostiziert werden. Da häufig die unsicheren Frakturzeichen überwiegen, ist dies jedoch nicht immer sicher möglich (Charalambous et al., 2005).

1.3.3. Konventionelle bildgebende Diagnostik

Bei Verdacht auf Unterkieferfrakturen stellen Schichtbildaufnahmen wie das Orthopantomogramm (OPG) und die posterior-anteriore Schädelaufnahme nach Clementschitsch die Bildgebungsmethoden der Wahl zur Primärdiagnostik dar (Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, 2019). Diese erzeugen unter geringer Strahlenbelastung zweidimensionale Schichtbilder, anhand derer die Frakturlokalisierung identifiziert und der Verlauf der Frakturlinien eingeschätzt werden können. In besonderen Fällen, wie etwa bei nicht dislozierten Frakturen, kann die Diagnostik trotz Kombinationen zweier Projektionen erschwert sein (Rasse, 2014).

Im klinischen Alltag liegt häufig der Verdacht auf Verletzung weiterer knöcherner Strukturen im Kopf-Hals-Bereich vor. Besonders relevant sind dabei die Mittelgesichtspfiefer, das Viszerokranium und die Halswirbelsäule. Zudem erfordert eine geplante operative Frakturversorgung eine detaillierte Identifikation und Darstellung aller Fragmente, welche durch die Computertomografie (CT) als weiterführendes bildgebendes Diagnostikmedium ermöglicht wird (Rasse, 2014). Durch die Erstellung von Schnittbildern ermöglicht sie eine präzise Abbildung des Gesichtsschädels, in der alle drei Ebenen in einer Schichtdicke zwischen 0,5 und 1,0 mm rekonstruiert werden können. Im Rahmen einer CT-Untersuchung kann neben der Frakturdiagnostik auch das Vorliegen von Schädel-Hirn-Traumata umgehend abgeklärt werden (Unterberg et al., 2016). Vorteilhaft in der klinischen Handhabung ist dabei die kurze Aufnahmedauer von wenigen Sekunden. Die Aufnahmen können in allen Bewusstseinszuständen des Patienten angefertigt werden.

Eine weitere Bildgebungsmöglichkeit stellt die digitale Volumentomografie (DVT) dar, bei der eine dreidimensionale Aufnahme des Gesichtsschädels erzeugt wird. In Ergänzung zu den konventionellen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen können damit bis zu 17,75 % bzw. 14,72 % vorher nicht erkannter Frakturlinien bzw. Infrakturen identifiziert werden (Kaepler et al., 2013). Vorteilhaft im Vergleich mit der CT ist eine Reduktion der effektiven Dosis.

1.3.4. Untersuchung auf neurosensorische Defizite

Bei der Sensibilitätsprüfung zum Ausschluss klinisch manifester Nervenschädigungen werden mechanische und nozizeptive Reize eingesetzt (Akal et al., 2000). Statische und dynamische, streichende Berührungen sowie die Kontrolle der Zwei-Punkt-Diskrimination aktivieren die dicken, myelinisierten A-Alpha-Fasern. Die dünneren, nicht myelinisierten A-Delta- und C-Fasern vermitteln Schmerzempfindungen, die beispielsweise durch das Auflegen eines spitzen Instrumentes oder die Applikation von Hitze oder Kälte provoziert werden können. Ein standardisiertes Untersuchungsprotokoll ist bislang nicht beschrieben, was unter Umständen die inhomogenen Angaben zur Prävalenz posttraumatischer Nervendysfunktion begründet (Thurmüller et al., 2001, Chandan et al., 2021).

1.3.5. Therapie von Unterkieferfrakturen

Prinzipiell stehen für die Versorgung von Unterkieferfrakturen zwei Möglichkeiten zur Wahl. Die Fraktur kann entweder durch konservative, nicht invasive Verfahren ruhiggestellt werden, bis die Knochenheilung nach etwa sechs Wochen abgeschlossen ist. Dazu werden die Zahnreihen im Ober- und Unterkiefer mit intermaxillären Drahtligaturen oder Drahtbogen-Kunststoff-Schienen in Okklusion fixiert. Diese Verfahren werden bei Infrakturen oder nicht dislozierten, stabilen Frakturtopografien eingesetzt (Tay et al., 2015). Bei der Mehrheit der Fälle ist jedoch eine chirurgische Intervention mittels offener Reposition und interner Fixation durch Osteosyntheseplatten indiziert (Olate et al., 2013). Dabei erfolgt bei Frakturen im Kieferwinkel und Korpus in der Regel eine intraorale vestibuläre Inzision und Darstellung des betroffenen Bereiches. Die dislozierten Frakturenenden werden repositioniert und die physiologische Lage des Unterkiefers dabei durch Maßnahmen zur mandibulomaxillären Immobilisation im Sinne bimaxillärer Schrauben und Gummizügen oder Drahtligaturen sichergestellt. Der Frakturspalt wird unter Schonung der Zahnwurzeln und des Mandibularkanals mit einer oder mehreren Osteosyntheseplatten überbrückt, die je nach Typ mit mono- oder bikortikalen Schrauben fixiert werden. Die Dimensionen des verwendeten Osteosynthesematerials richtet sich vorwiegend nach dem Ausmaß der Trümmerung. So

sind bei einfachen Frakturlinien häufig sogenannte Miniplatten mit monokortikalen Titanschrauben ausreichend (Champy et al., 1978, Kiening et al., 2004). Der Mukosaschnitt wird anschließend speicheldicht vernäht. Bei einem transoralen Zugang besteht die Gefahr einer Kontamination durch Bakterien der Mundhöhle. Da es sich dabei meist um grampositive Erreger handelt, die durch die Perforation der Mukosa während der Operation in die tieferliegenden Gewebeschichten eindringen, ist eine perioperative antibiotische Prophylaxe mit einem Wirkstoff aus der Gruppe der Penicilline, Cephalosporine oder Lincosamide indiziert (Peterson, 1990). Der Nutzen einer prophylaktischen postoperativen Antibiotikagabe ist allerdings nicht eindeutig belegt (Baliga et al., 2014).

1.3.6. Komplikationen

Zu den häufigsten Komplikationen nach operativer Intervention zählen Wundnahtdehiszenzen im Bereich des eingebrachten Osteosynthesematerials, die zunächst durch antiseptische Spülungen und die Entfernung der exponierte Platte nach vollständiger Knochenheilung behandelt werden können (Olate et al., 2013). Zudem können Wundinfektionen auftreten, bei denen eine antibiotische Therapie indiziert ist. Weitere mögliche Komplikationen sind Osteomyelitiden und die Ausbildung von Pseudoarthrosen (Patrocínio et al., 2005). Einen weiteren unerwünschten Effekt der operativen Therapie stellen okklusale Störungen dar, die jedoch in vielen Fällen durch die Anwendung intermaxillärer Gummizüge korrigiert werden können (Thapliyal et al., 2008). Die mitunter schwerwiegendsten Komplikationen bestehen in temporären oder permanenten postoperativen Sensibilitätsstörungen im Versorgungsgebiet des N. alveolaris inferior (Schultze-Mosgau et al., 1999, Yadav et al., 2016).

1.4. Magnetresonanztomografie

1.4.1. Indikationen

Die Magnetresonanztomografie (MRT) wird klassischerweise bei Fragestellungen zu Pathologien der Weichgewebe eingesetzt. Dazu zählt in erster Linie die Abklärung von Tumoren, entzündlichen Geschehen, Traumata oder Fehlbildungen. Im Kopf-Hals-Bereich wird die MRT überwiegend zur Diagnostik intrakranieller Erkrankungen, aber auch zur Beurteilung pathologischer Veränderungen innerhalb der Orbita und des Kiefergelenks sowie Raumforderungen und Fehlbildungen innerhalb des Gesichtsschädels angewendet (Bundesärztekammer, 2000, Röntgengesellschaft, 2020). Bedingt durch ihre Funktionsweise ergeben sich Anwendungsgrenzen für die MRT. Aufgrund der Anziehung ferromagnetischer Materialien können Untersuchungen an Patienten mit Implantaten wie Herzschrittmachern kontraindiziert sein (Kremers, 2017). Bei der Mehrzahl der heute verwendeten Implantate, insbesondere im orthopädischen Bereich, handelt es sich um nicht-ferromagnetische und somit für die MRT unproblematische Materialzusammensetzungen, deren Anwesenheit jedoch aufgrund der sich vom Körpergewebe stark unterscheidenden magnetischen Suszeptibilität mit einer lokalen Signalerhöhung oder Signallöschung und entsprechenden Artefakten im Bild einhergehen kann (Liney, 2006, Reith, 2011a). Zudem ist die MRT üblicherweise bei der Diagnostik an knöchernen Strukturen primär nicht indiziert (Klingelhöfer et al., 2015a). Das zellarme Hartgewebe verfügt nur über eine geringe Protonendichte, weist damit eine verringerte Signalintensität auf und wird im Bild hypointens dargestellt. Aufgrund dieser vergleichsweise unzureichenden Hartgewebebedarstellung werden röntgenbasierte Verfahren hier in der Regel bevorzugt.

1.4.2. MRT-Sequenzen zur Darstellung anatomischer Strukturen im Kieferbereich

1.4.2.1. Neuartige MRT-Sequenzen

In den vergangenen Jahren hat eine Vielzahl an Fortschritten in der Technik und Sequenzentwicklung dazu geführt, dass die MRT zu einem chancenreichen Diagnostikmedium im Mund-Kieferbereich geworden ist (Al-Haj Husain et al., 2021). Auf der einen Seite

ermöglicht die MRT eine Visualisierung bedeutender peripherer Nerven des Gesichtsbereiches (Kress et al., 2004, Lee et al., 2021). Daneben konnte auf der anderen Seite zuletzt in diversen Studien gezeigt werden, dass durch die Entwicklung spezieller Sequenzen auch eine qualitative Knochendarstellung erreicht wird (Eley et al., 2012b, Saarikko et al., 2020, Soldati et al., 2021).

1.4.2.2. „Black Bone“-Sequenz

Sequenzen, deren Entwicklung eine optimierte Darstellung von Knochengewebe zum Ziel hat, werden als „Black Bone“-Sequenz bezeichnet. In derartigen T1-Sequenzen werden die verschiedenen Gewebearten anhand ihrer T1-Relaxationszeit unterschieden. Für die bestmögliche Visualisierung ossärer Gewebe wird eine kurze Repetitionszeit und eine ebenfalls kurze Echozeit gewählt (Eley et al., 2012b). Knochen wird im Bild hypointens dargestellt. Weichgewebe erscheinen hyperintens und sind aufgrund geringer Kontrastdifferenzen teilweise nicht eindeutig voneinander abzugrenzen. Der Sequenztyp wurde in den vergangenen Jahren bereits erfolgreich zur direkten Visualisierung von Strukturen des Gesichtsschädels erprobt. In einer Untersuchung von Detterbeck et al. zeigten sich bei der Darstellungsqualität von Binnenstruktur und Beurteilung der Kontinuität des Kieferknochens keine signifikanten Unterschiede zwischen DVT und MRT. In der Beurteilbarkeit des Weichgewebes war die MRT der DVT und der CT dagegen signifikant überlegen (2016). Auch Gersing et al. kamen zu dem Ergebnis, dass eine CT-ähnliche T1-gewichtete Sequenz im Vergleich zu konventionellen Röntgenbildern nicht nur eine äquivalente Bildqualität für die Diagnostik ossärer Tumoren liefert, sondern auch zusätzliche Aussagen über deren Ausdehnung im Weichgewebe ermöglicht (2019). Die Segmentierung der mit der „Black Bone“-Sequenz erhobenen Bilddaten ermöglichte in einer Arbeit von Hoving et al. bereits die MRT-gestützte Planung mandibulärer Teilresektionen bei Patienten mit ossären Tumoren (2018). Auch in der Zahnmedizin gewinnt die Sequenz an Bedeutung. Bei Patienten mit klinisch manifester Parodontitis konnten mit der sogenannten 3D T1 FFE-Sequenz (3-dimensional T1 fast field echo sequence) die inflammatorisch und ödematös veränderten

Areale im Alveolarknochen in der „Black Bone“-Sequenz mit hoher Signifikanz von der Referenzgruppe abgegrenzt werden (Probst et al., 2021).

1.4.2.3. 3D STIR-Sequenz

Für die Darstellung von Weichgeweben wie dem neurovaskulären Bündel eignet sich insbesondere die T2-gewichtete, sogenannte 3D STIR-Sequenz (3-dimensional short-tau inversion recovery sequence), in der Flüssigkeiten hyperintens erscheinen. Charakteristisch ist hier zudem eine Suppression des Signals von Fettgewebe (Weishaupt et al., 2008), welches im Bild entsprechend hypointens dargestellt wird. Die Sequenz wurde in den vergangenen Jahren unter anderem zur Darstellung peripherer Nerven, wie beispielsweise des Plexus brachialis verwendet (Klupp et al., 2019). In einer weiteren Studie von Kress et al. konnten durch Volumenmessung signifikante Unterschiede zwischen erkrankten und gesunden Nerven bei Patienten mit unilateraler Trigeminusneuralgie festgestellt werden (Kress et al., 2004). Im Bezug auf mandibuläre Frakturen wird unter anderem die Detektion pathologischer Flüssigkeitsansammlungen wie Hämatome oder Ödeme im und um den Frakturspalt ermöglicht. Frakturspalten zeigen sich in der Sequenz typischerweise hypointens, während der umgebende Knochen und das darüber liegende Weichgewebe durch Ödemformierung hyperintens erscheinen (Matcuk et al., 2016). Neben der Visualisierung von Frakturen ist eine Abgrenzung zwischen Nervengewebe und Blutgefäßen möglich (Burian et al., 2020a).

1.5. Zielsetzungen der Arbeit

Mandibuläre Frakturen gehören mit zu den statistisch häufigsten Frakturen im Gesichtsbereich (Ghosh et al., 2018, Gómez Roselló et al., 2020). Der durch seinen Verlauf innerhalb der Mandibula besonders exponierte N. alveolaris inferior kann dabei in seiner physiologischen Funktion temporär oder permanent beeinträchtigt werden. Die sensible Innervation von Unterlippe, Gingiva, Parodont und weiteren Geweben ist bei alltäglichen Handlungen wie der Nahrungsaufnahme unverzichtbar, weshalb eine Schädigung deutliche Einbußen an Lebensqualität für die betroffenen Patienten zufolge haben kann und deshalb neben der eigentlichen Frakturtherapie von großer Relevanz für die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist.

Bei der bildgebenden Frakturdiagnostik wird im Rahmen klinischer Standardprozeduren bislang auf röntgenbasierte Verfahren zurückgegriffen, bei deren Anwendung ionisierende und damit potenziell genom-schädigende Strahlung emittiert wird. Ein Kopf-Hals-CT erzeugt im Mittel eine effektive Dosis von bis zu 2,3 mSv (Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, 2006). Die tatsächliche effektive Dosis kann in der klinischen Praxis stark von derartigen Richtwerten abweichen (Smith-Bindman et al., 2009).

Bei der DVT liegt die effektive Dosis für große Messfenster zwischen 114 und 212 μ Sv, wobei auch hier erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von den jeweiligen klinischen Protokollen existieren (Al-Okshi et al., 2015, Ludlow et al., 2015). Darüber hinaus ermöglichen röntgenbasierte Methoden keine direkte Abbildung des neurovaskulären Bündels (Tay et al., 2015).

Die MRT bietet heute durch die Vielzahl spezifischer Sequenzen ein breites Anwendungsspektrum. Vorteilhaft ist dabei gegenüber der CT und DVT im Wesentlichen das vollständige Fehlen ionisierender Strahlung. Im klinischen Alltag findet die MRT bei Fragestellungen zur Verletzung knöcherner, weichgewebiger und neuraler Strukturen des Gesichts und insbesondere des dentoalveolären Bereiches nur innerhalb enger Indikationsgrenzen Anwendung (Bundesärztekammer, 2000, Röntgengesellschaft, 2020). Jedoch können in aktuellen Studien sowohl Hartgewebe (Eley et al., 2012b, Detterbeck et al., 2016, Probst et al., 2021) als auch periphere Nerven bereits in hoher Qualität dargestellt, sowie eine

Korrelation zwischen klinisch manifesten Krankheitsbildern und Auffälligkeiten im MRT-Bild hergestellt werden (Kress et al., 2004, Klupp et al., 2019, Burian et al., 2020b).

Im ersten Teil der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob die MRT eine potenzielle Alternative zur radiologischen Standarddiagnostik bei Frakturen im Unterkiefer darstellen kann. Im zweiten Teil soll zunächst die Prävalenz posttraumatischer und postoperativer klinischer Defizite des N. alveolaris inferior nach Unterkieferfraktur erfasst werden. Darüber hinaus soll festgestellt werden ob es möglich ist, diese in der MRT von klinisch unauffälligen Nerven sicher abzugrenzen und die MRT damit für die Erhebung zusätzlicher diagnostischer Aussagen, beispielsweise im Rahmen gutachterlicher Stellungnahmen zu nutzen.

2. Material und Methodik

Das Studienprotokoll wurde im Jahr 2018 von der Ethikkommission der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München im Votum 432/18 S-AS geprüft und befürwortet. Die Datenerfassung für die Studie erfolgte zwischen dem 24.02.2019 und dem 23.04.2021 im Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München. Die MRT-Daten wurden in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie der Technischen Universität München angefertigt. Die CT-Scans wurden routinemäßig im Rahmen der Frakturdiagnostik in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie durchgeführt. Die DVT-Scans fanden in der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie statt.

Die Patienten wurden während ihres stationären Aufenthaltes in der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie rekrutiert. Nach einer mündlichen und schriftlichen Aufklärung über die Ziele, den Ablauf und mögliche Vor- und Nachteile der Studienteilnahme unterzeichneten die Patienten eine Einverständniserklärung. Bei einem minderjährigen Patienten und einem Patienten mit gesetzlichem Betreuer wurden die jeweiligen verantwortlichen Personen aufgeklärt.

2.1. Patientenkollektive

2.1.1. Erhebung epidemiologischer Daten und Einschlusskriterien

Im Rahmen der Aufnahme-prozedur im Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München wurden zunächst allgemeinanamnestische Stammdaten erfasst. Dazu gehörten Alter, Geschlecht, BMI, ASA-Status und Vorerkrankungen. In Bezug auf die spezielle Fragestellung wurden im Rahmen der klinischen und bildgebenden Untersuchungen weiterhin dokumentiert: Vorhandensein einer Gefühlsstörung, größter Dislokationsgrad der Fraktur, Intervall bis zur operativen Frakturversorgung, Operationszeit, verwendetes Osteosynthesematerial, Dauer des Krankenhausaufenthaltes.

Als Haupteinschlusskriterium galten uni- und bilaterale Frakturen zwischen Lingula mandibulae und Foramen mentale mit Beteiligung des Canalis mandibulae. Dieses Merkmal

wurde anhand der zur Frakturdiagnostik angefertigten Röntgenaufnahmen und der klinischen Symptomatik überprüft.

Alle Patienten wurden in Allgemeinanästhesie operiert. Der Zugang erfolgte in allen Fällen von transoral. Zur postoperativen Stabilisierung wurden IMF-Schrauben mit Drahtbogen-Kunststoffschienen oder intermaxilläre Gummizüge eingebracht. Alle Patienten verbrachten zum Zweck der medizinischen Nachsorge und Beobachtung mindestens eine Nacht auf der Station der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Nach Entlassung wurden die Patienten zu individuell festgelegten Zeitpunkten zur Nachsorge in die mund-, kiefer- und gesichts-chirurgische Ambulanz einbestellt.

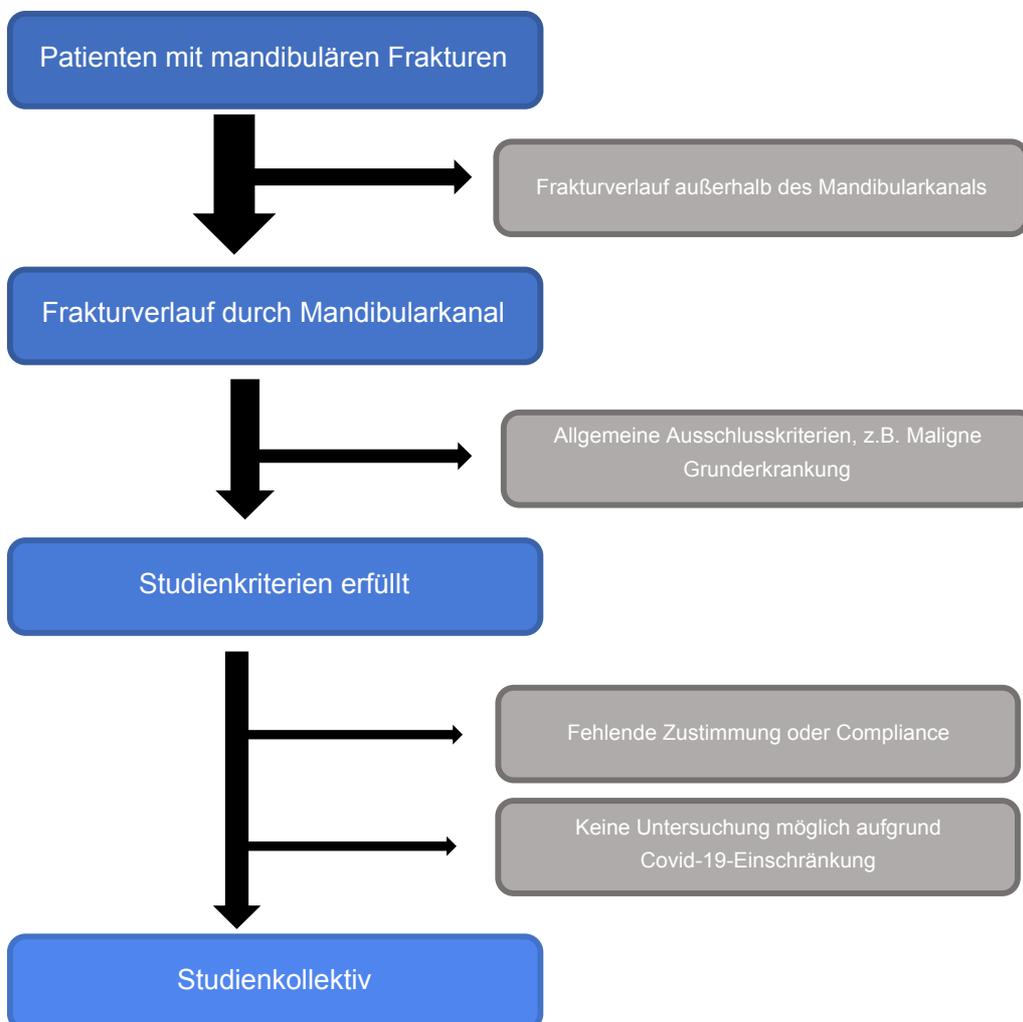


Abbildung 4: Ausschlusskriterien für das Studienkollektiv.

2.1.2. Ausschlusskriterien

Zu den Ausschlusskriterien zählten, wie Abbildung 4 zu entnehmen ist, ein Frakturverlauf ohne Beteiligung des Canalis mandibulae, fehlende Zustimmung zur Teilnahme an der Studie, Minderjährigkeit (mit Ausnahme des Falles einer mündlichen und schriftlichen Zustimmung der Erziehungsberechtigten), das Vorliegen maligner Grunderkrankungen und pathologischer Frakturen, ein hochatropher Unterkieferknochen, alte Frakturen, physische oder psychische Morbidität, die eine Untersuchung nicht ermöglichte, sowie fehlende Kooperation. Zusätzlich konnten zwei Patienten aufgrund temporärer klinikinterner Restriktionen zur Eindämmung des Coronavirus nicht miteinbezogen werden.

2.1.3. Erstellung von Patientenkollektiven

2.1.3.1. Kollektiv „CT versus MRT“

Im ersten Teil der Studie wurde ein Vergleich der etablierten röntgenbasierten Bildgebungsmethoden zur Frakturdiagnostik mit der MRT angestellt. Aus diesem Grund wurde die Population ausgewählt, bei der präoperativ sowohl eine MRT-, als auch eine CT- oder DVT-Untersuchung durchgeführt wurde.

2.1.3.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“

Im zweiten Teil der Arbeit wurde eine Untersuchung über die Korrelation zwischen postoperativer klinischer Symptomatik und Auffälligkeiten im MRT-Bild durchgeführt. Für das Kollektiv wurden diejenigen Patienten ausgewählt, von denen ein postoperatives MRT zum Zeitpunkt T1 angefertigt wurde. Voraussetzung war zudem das Vorliegen einer unilateralen Fraktur, um einen Vergleich zwischen traumatisch geschädigter und gesunder Kieferseite zu ermöglichen.

2.2. Klinische Untersuchung auf neurosensorische Defizite

Begleitend zu jedem MRT-Scan wurden klinische Symptome eines extraoralen sensorischen Defizits des N. alveolaris inferior auf der Frakturseite erfasst. Die Patienten wurden zu Beginn gebeten, subjektiv eine dichotome Angabe über das Vorhandensein einer Gefühlsstörung im Bereich der Unterlippe oder des Kinns auf der Frakturseite zu machen („Haben Sie ein Taubheitsgefühl an der Unterlippe und am Kinn wahrgenommen?“) und deren Ausprägung näher zu beschreiben.

War nach Angabe des Patienten eine Störung der sensiblen Nervenfunktion im Sinne einer Hypästhesie oder Anästhesie vorhanden, wurde die Größe des betroffenen Hautareals von der Kinnmitte ausgehend nach lateral durch statische, drucklose Berührungen mit der stumpfen Seite einer zahnärztlichen Sonde eingegrenzt. Die Übergänge zu klinisch unauffälligen Hautregionen wurden wie in Abbildung 5 dargestellt mit einem hautfreundlichen Stift markiert und die Fläche in ihrer maximalen Ausdehnung (maximale Höhe x maximale Breite) in Millimetern vermessen. Die folgenden Sensibilitätsprüfungen wurden bei subjektiv unauffälliger neurologischer Funktion über dem geschätzten Austrittspunkt des N. mentalis auf beiden Gesichtsseiten durchgeführt. Bei Vorliegen einer subjektiven Hypästhesie wurden die Messungen im Zentrum des markierten Areals und an der korrespondierenden Stelle kontralateral durchgeführt.

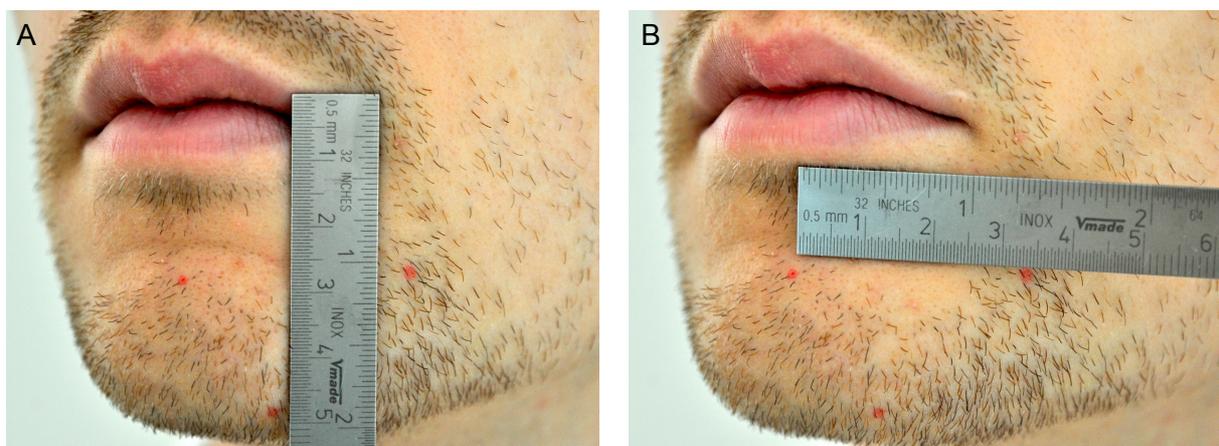


Abbildung 5: Vermessung der durch den Patienten angegebenen maximalen Höhe (A) und Breite (B) des hypästhetischen Areals. Die roten Punkte markieren die Grenzen des subjektiv auffälligen Bereiches.

2.2.1. Untersuchung der Berührungsempfindung

Für die Messung der Zwei-Punkt-Diskrimination wurden entsprechend der Darstellung in Abbildung 6 rechts- und linksseitig die Enden eines Zirkels drucklos auf die Hautoberfläche aufgelegt und deren Abstand in Millimeterschritten so lange verkleinert, bis der Patient angab, nur noch eine Berührung wahrzunehmen. Der kleinste Abstand, bei dem zwei getrennte Berührungspunkte identifiziert werden konnten, wurde notiert.

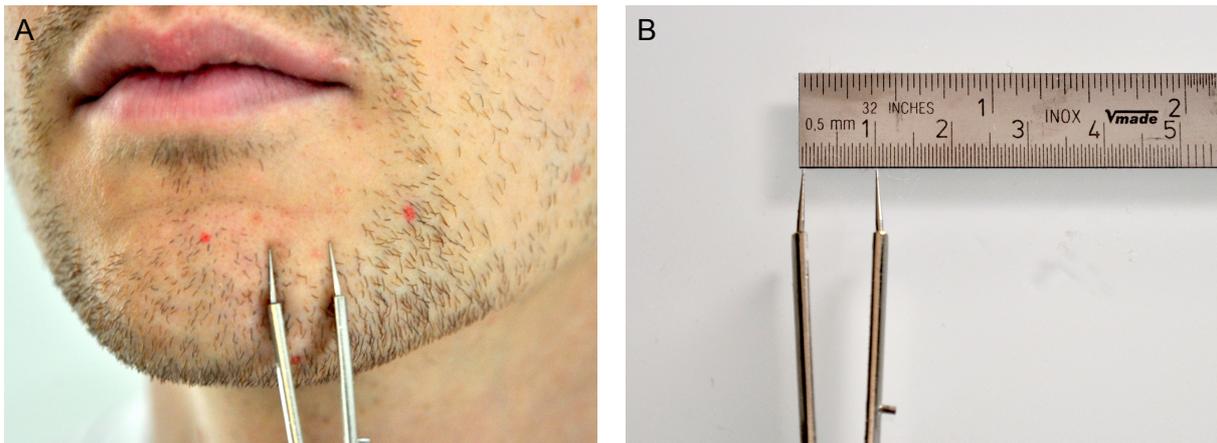


Abbildung 6: Messung der Zwei-Punkt-Diskrimination im Zentrum des hypästhetischen Areals mit den zwei Spitzen eines Zirkels (A) Übertragung der gemessenen Distanz auf ein Lineal (B).

2.2.2. Untersuchung der Schmerzempfindung

Zusätzlich wurde die Fähigkeit zur Nozizeption mittels Spitz-Stumpf-Test erfasst. Eine zahnärztliche Sonde wurde dazu wie in Abbildung 7 fünf Mal nach dem Zufallsprinzip entweder mit der spitzen oder der stumpfen Seite auf die Haut des hypästhetischen Areals, beziehungsweise des Nervenaustrittspunktes aufgelegt. Die spitze Seite sollte dabei einen Schmerzreiz auslösen. Die Anzahl der richtig zugeordneten Berührungsqualitäten wurde notiert. Der Test wurde kontralateral wiederholt.

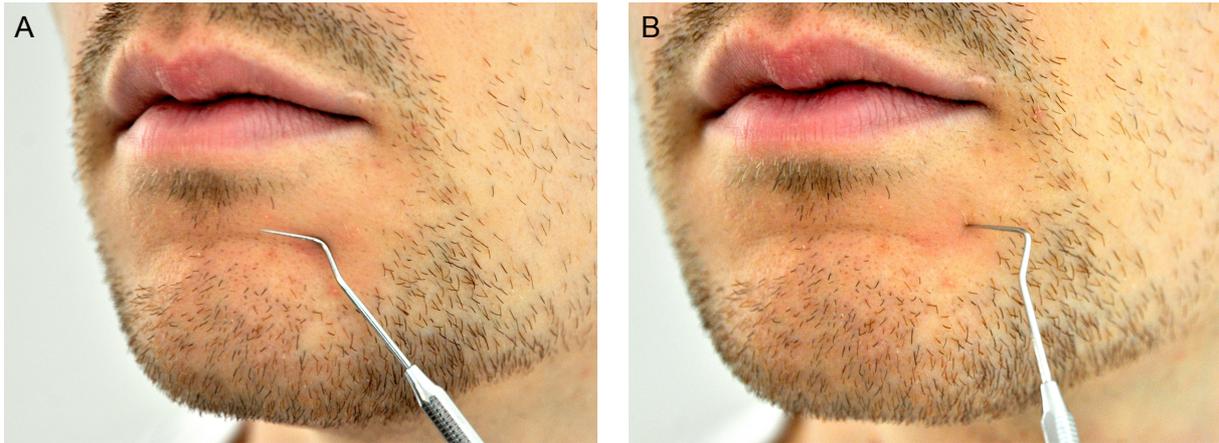


Abbildung 7: Untersuchung der Spitz-Stumpf-Diskrimination durch drucklose Berührungen mit der stumpfen (A) und spitzen (B) Seite einer zahnärztlichen Sonde.

2.3. CT-Bildgebung

Nach Abschluss der Aufnahme-prozedur auf der Station der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie wurde von allen Patienten je nach Indikation ein Kopf-Hals-CT oder ein DVT zur Traumadiagnostik angefertigt. Anhand des jeweiligen CT- und DVT-Befundes wurde festgelegt, ob das ausschlaggebende Einschlusskriterium des Frakturverlaufes durch den Mandibularkanal erfüllt war. Im weiteren Verlauf wurde bei den für die Studie relevanten, in der CT- oder DVT abgebildeten Frakturen in allen drei Schichten der größte Versatz der äußeren und inneren Kortikalis nach lingual oder lateral, beziehungsweise nach kaudal oder kranial gemessen und in *Excel*-Tabellen (Version 16.64, Microsoft, Redmont, Washington, Vereinigte Staaten) notiert. Die technischen Parameter sind den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

Aufnahmeparameter: CT	
Untersuchungsfeld (FOV)	220 mm
Schichtdicke	2 mm
Spannung	120 kV
Stromstärke	92 mA
Expositionszeit	598 ms

Tabelle 1: Aufnahmeparameter der im Rahmen der Frakturdiagnostik angefertigten CT-Bilder.

Aufnahmeparameter: DVT	
Voxel-Größe	450 µm
Spannung	100 kV
Stromstärke	12 mA
Expositionszeit	2,56 s
Dosisflächenprodukt	547,1 mGy*cm ²

Tabelle 2: Aufnahmeparameter der im Rahmen der Frakturdiagnostik angefertigten DVT-Bilder.

2.4. MRT-Bildgebung

Die MRT-Untersuchung der Patienten wurde nach Möglichkeit im Rahmen ihres Krankenhausaufenthaltes durchgeführt. Die erste Bildgebung (T0) fand präoperativ nach der Aufnahme in das Klinikum statt. Bei einem Teil der Studienteilnehmenden war ein Scan zu diesem Zeitpunkt entweder aus Gründen der kurzfristigen Operationseinleitung oder durch zur temporären Frakturstabilisierung eingebrachte metallische Ligaturen (relative Kontraindikation für die MRT) nicht möglich. Der erste postoperative Scan (T1) wurde in Abhängigkeit von der Entfernung der für die MRT als nicht sicher geltenden Schienen zur

mandibulomaxillären Fixation terminiert. Für den zweiten postoperativen Scantermin (T2) wurde bevorzugt der stationäre Aufenthalt der Patienten zur Entfernung des Osteosynthesematerials sechs bis zwölf Monate nach operativer Frakturversorgung gewählt. Die Untersuchung der Patienten wurde mittels Magnetresonanztomografie (MRT) an einem Gerät des Typs Ingenia Elition (Philips Healthcare, Best, Niederlande) der Stärke 3,0 Tesla durchgeführt (Abbildung 8). Es wurde eine dStream Kopf-/Nacken-/Wirbelsäulenspule (Philips Healthcare, Best, Niederlande) mit 16 Kanälen verwendet. Im Vorfeld jeder Untersuchung wurde gemeinsam mit den Patienten ein Aufklärungs- und Gesundheitsfragebogen bearbeitet und unterzeichnet. Die Patienten wurden aufgefordert, alle abnehmbaren metallischen Fremdkörper wie Gürtel, Schmuck oder dentale Prothesen vom Körper zu entfernen. Gaben die Patienten an, alle magnetisierbaren Objekte abgelegt zu haben, wurden sie zum Scanner begleitet. Die Patienten wurden in Rückenlage mit dem Kopf voran im Gerät positioniert. Der Kopf war dabei von ventral, dorsal und lateral von der Spule umgeben. Um Bewegungsartefakte auf ein Minimum zu reduzieren, wurden die Patienten angewiesen den Kopf ruhig zu halten und den Unterkiefer geschlossen zu lassen. Zur Geräuschreduktion wurden zwei Paar Ohrschützer ausgehändigt. Ein Notfallknopf für den Fall von Unwohlsein während des Scanvorgangs wurde bereitgestellt. Es handelte sich stets um eine native Untersuchung, bei der kein Kontrastmittel appliziert wurde. Jede vollständige Messung dauerte etwa 20 Minuten.



Abbildung 8: 16-Kanal d-Stream Kopfspule (A) und MRT-Scanner Ingenia Elition (B) von Philips (Amsterdam, Niederlande) im Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München.

Zunächst wurde eine niedrig auflösende Übersichtsaufnahme (Survey) des gesamten Kopf-Hals-Bereichs erstellt. Anhand dieser Darstellung wurde das Messfenster für die eigentlichen Sequenzen festgelegt. Die Ausdehnung wurde so gewählt, dass der gesamte Unterkieferknochen von der Kinnspitze (kaudal und ventral) bis zu den Kondylen (kranial und dorsal) eingeschlossen wurde. Entsprechend der anatomischen Nähe wurden auch der kaudale Teil der Nase, die zahntragenden Anteile der Maxilla und der Boden der Sinus maxillares abgebildet. Je nach individueller Anatomie des Patienten betrug die Breite des Messfensters 180 bis 200 mm und die Höhe 80 bis 95 mm. Nach Beendigung der Übersichtsaufnahme (Survey) und Festlegung des Messfensters wurde das Studienprotokoll mit den Sequenzen 3D STIR und 3D T1 FFE "Black Bone" gestartet. Die Sequenzparameter sind den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen.

Die Bilder wurden im DICOM-Format unter dem Namen des Patienten im *Picture Archiving and Communication System (PACS, Version 3.0, Centricity Enterprise, GE Medical Systems, Amersham, UK)* des Klinikums abgelegt. Die Befunderhebung erfolgte durch einen Facharzt für Radiologie. Für die Auswertung der Studie wurden alle erhobenen Daten anonymisiert.

Sequenzparameter: 3D STIR	
Erfassungszeit	06:03 min
Untersuchungsfeld (FOV)	180 bis 200 mm
Matrix	308 x 308
Voxel-Größe	0,65 x 0,65 x 1 mm ³
Anzahl durchschnittlicher Signale	1
Repetitionszeit (TR)	2300 ms
Echozeit (TE)	184 ms
Inversionsrückstellung (IR)	250 ms
Schichtlücke (Gap)	-0,5 mm
Oversampling-Faktor	1,5

Compressed-SENSE	ja
Reduktion	5
Water-fat-shift / Bandbreite	1766 pix / 246 Hz

Tabelle 3: Sequenzparameter der 3D STIR-Sequenz.

Sequenzparameter: 3D T1 FFE „Black Bone“	
Erfassungszeit	05:31 min
Untersuchungsfeld (FOV)	180 mm
Matrix	420 x 419
Voxel-Größe	0,43 x 0,43 x 0.5 mm ³
Anzahl durchschnittlicher Signale	1
Repetitionzeit (TR)	10 ms
Echozeit (TE)	1,75 ms
Schichtlücke (Gap)	-0,25 mm
Compressed-SENSE	ja
Reduktion	2,3
Water-fat-shift (pix) / Bandbreite (Hz)	1503/289

Tabelle 4: Sequenzparameter der 3D T1 FFE „Black Bone“-Sequenz

2.5. Auswertung der Bilddaten

Zur Darstellung und Analyse der DICOM-Datensätze aller Sequenzen aus der MRT-Bildgebung wurde die Software *IDS7* (Version 21.2, Sectra, Linköping, Sweden) verwendet.

2.5.1. Kollektiv „CT versus MRT“

Bei der Untersuchung der Studienpopulation mit den postoperativen Hypästhesien wurde die 3D T1 FFE „Black Bone“-Sequenz mit den Bilddaten der CT- und DVT-Untersuchungen verglichen. Für die Analyse der CT- und MRT-Daten wurde die Software *IDS7* (Version 21.2, Sectra, Linköping, Sweden) verwendet. Die DVT-Bilder wurden mit der Software *Romexis Viewer* (Version 5.3.5.80, Planmeca, Helsinki, Finnland) ausgewertet. Datensätze aus der CT und DVT wurden für die Bewertung der Frakturdislokation als gleichwertig betrachtet.

Die Frakturlokalisierung mit Nervenbeteiligung wurde wie beispielhaft in den Abbildungen 9 bis 11 dargestellt sowohl im CT- oder DVT-Bild, als auch in der 3D T1 FFE „Black Bone“-Sequenz jeweils in der axialen, coronalen und sagittalen Ebene separat aufgesucht. Die maximale knöcherne Dislokation wurde in allen drei Ebenen jeweils am cranialen und



Abbildung 9: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit linksseitiger Kieferwinkelfraktur in der axialen Schicht. Die Frakturlinie ist jeweils unten links im Bild erkennbar.

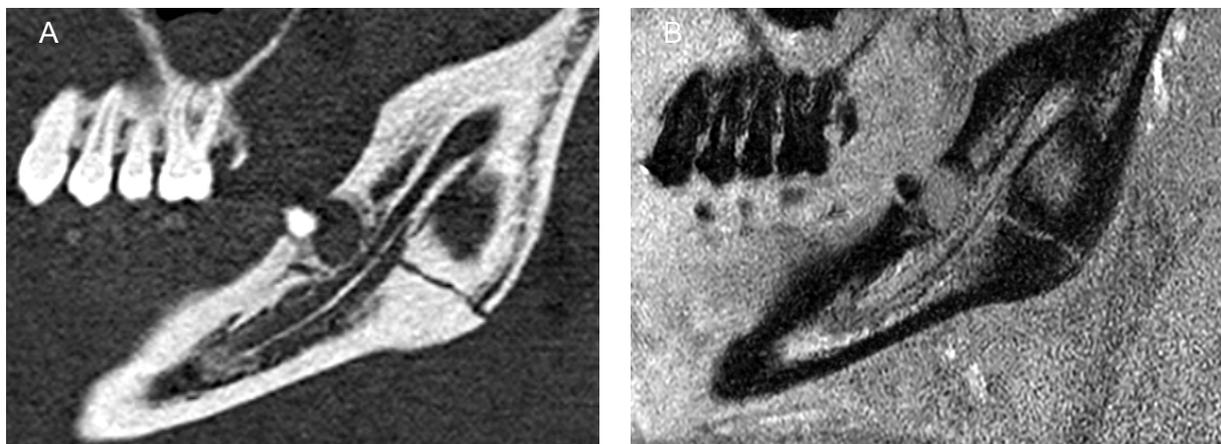


Abbildung 10: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit linksseitiger Kieferwinkelfraktur in der sagittalen Schicht.

kaudalen beziehungsweise medialen und lateralen kortikalen Rand der Mandibula gemessen.

Während sich die Frakturen in der CT als hypodense Linien oder Spalten darstellten, zeigten sie sich in den MRT-Aufnahmen hyperintens gegenüber dem dunklen, hypointensen Knochen.



Abbildung 11: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit rechtsseitiger, dislozierter Kieferwinkelfraktur in der coronalen Schicht. Die maximale Dislokation des lateralen Randes der Kortikalis wurde in beiden Aufnahmen vermessen.

2.5.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“

Bei der Untersuchung der Studienpopulation mit den postoperativen Hypästhesien wurde ausschließlich die 3D STIR-Sequenz betrachtet.

2.5.2.1. Nervendurchmesser

Für die Messung des Nervendurchmessers (DM) in Millimetern wurde die Frakturlinie in der axialen Schicht der 3D STIR-Sequenz im Bereich des Nervkanals aufgesucht. Ausgehend von dieser wurde der Durchmesser auf der Frakturseite jeweils circa 10 mm proximal und distal erfasst. Die beiden korrespondierenden Stellen auf der kontralateralen Seite wurden aufgesucht und hierbei ebenfalls der Durchmesser ermittelt. Abbildung 12 zeigt die Messung

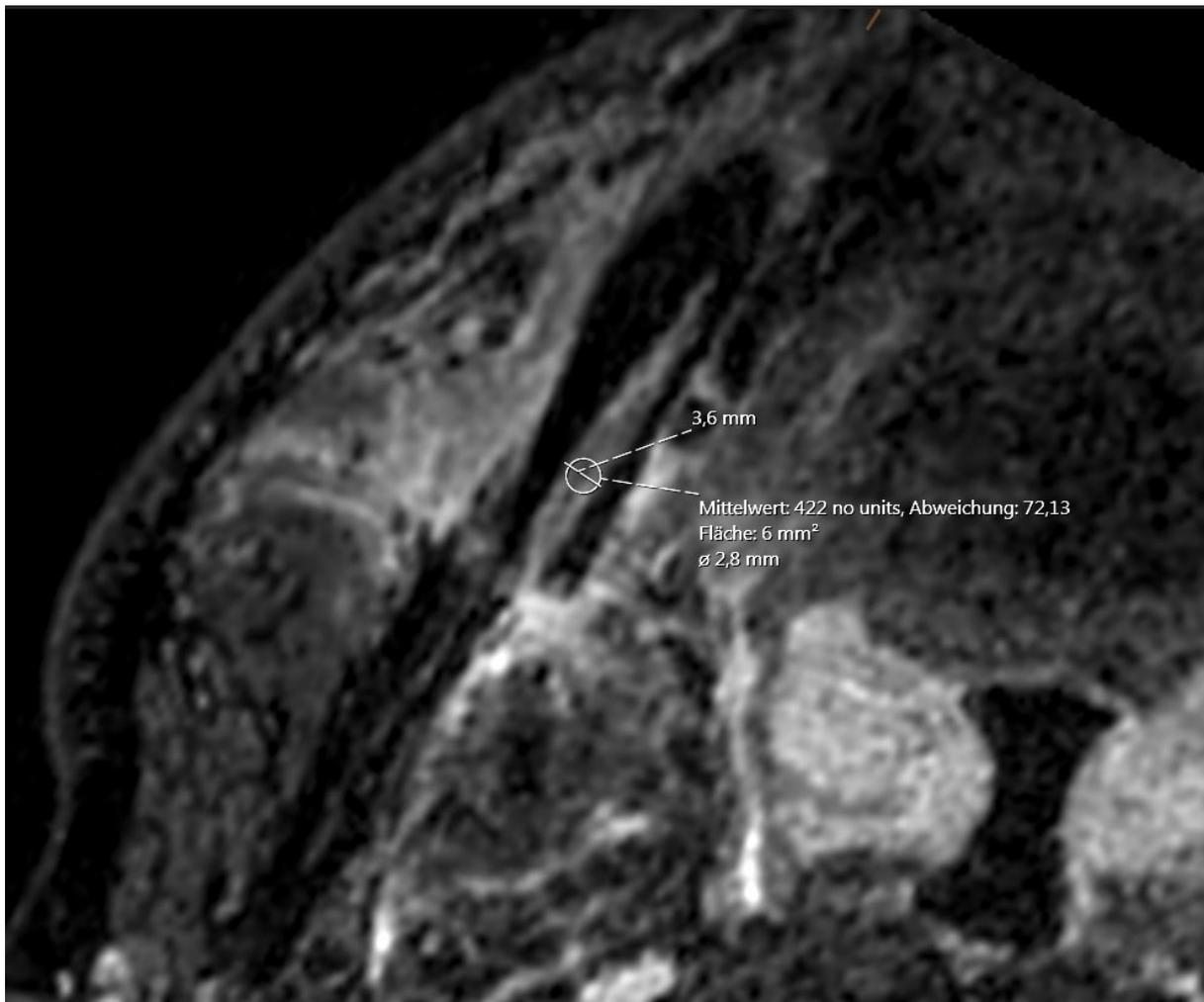


Abbildung 12: MRT-Aufnahme einer rechtsseitigen dislozierten Kieferwinkelfraktur in der 3D STIR-Sequenz. Region of Interest (ROI), Standardabweichung (SD) und Nervendurchmesser wurden ermittelt.

2.5.2.2. Signalintensität und Standardabweichung

Die T2-Signalintensität (SI) und deren Standardabweichung (SD) wurden in der 3D STIR-Sequenz durch das Setzen einer kreisförmigen ROI (Region of Interest) erfasst, deren Durchmesser entsprechend der Breites des Nerven gewählt wurde. Analog zur Messung des

Nervendurchmessers wurde jeweils eine ROI circa 10 mm proximal und distal der Frakturlinie in den Nerv platziert, wie Abbildung 12 zeigt. Bei einem Teil der Patienten mit paramedianen oder Korpusfrakturen war eine Platzierung der distalen ROI aufgrund uneindeutiger Bildstrukturen nicht möglich.

2.5.2.3. Berechnung von aSNR und aNMCNR

Das Signal-Rausch-Verhältnis (aSNR, apparent signal to noise ratio) wurde nach Klupp, Cervantes et al. (2019) aus der Signalintensität (SI) und der Standardabweichung (SD) des Nervs proximal und distal der Frakturlinie berechnet. Folgende Formel wurde verwendet:

$$\text{aSNR (apparent signal to noise ratio)} = SI_{\text{nerve}} / SD_{\text{nerve}}$$

Zur Berechnung des Kontrasts zwischen Nerv und Muskel (aNMCNR, apparent nerve-muscle contrast to noise ratio) wurde ausgehend von der axialen Schicht auf Höhe der Kauebene eine kreisförmige ROI mit einem Durchmesser von 7,5 mm mittig im kontralateralen, nicht traumatisch geschädigten Musculus masseter platziert. Die Werte wurden in die Formel ebenfalls analog zur Arbeit von Klupp, Cervantes et al. (2019) eingesetzt:

$$\text{aNMCNR (apparent nerve-muscle contrast to noise ratio)} = (SI_{\text{nerve}} - SI_{\text{muscle}}) / SD_{\text{nerve}}$$

2.6. Statistik

Die ermittelten Daten wurden anonymisiert in Tabellen in *Excel* notiert. Für die statistische Auswertung wurden die Daten von Excel in die Software *IBM SPSS Statistics* (Version 26.0.0.0, IBM, Armonk, New York, Vereinigte Staaten) importiert. Als Signifikanzlevel wurde in allen Tests $p < 0,05$ festgelegt.

2.6.1. Deskriptive Statistik des Gesamtkollektivs

In der deskriptiven Analyse wurden folgende epidemiologische Daten betrachtet: Ätiologie, Alter, Geschlecht, Frakturlokalisierung, Hypästhesie, Operationsdauer, Anzahl eingebrachter Osteosyntheseplatten, Art der mandibulomaxillären Fixation und Hospitalisierungsdauer.

2.6.2. Statistische Auswertungen zum Kollektiv „CT versus MRT“

In diesem Teil der Studie sollte ermittelt werden, ob die MRT gegenüber der CT als etablierte Standardmethode in der Frakturdiagnostik gleichwertige Ergebnisse bei der Messung der maximalen Frakturdislokation in allen drei Ebenen liefern kann. Als Nullhypothese (H_0) wurde angenommen, dass die Messwerte der Frakturdislokation im MRT sich nicht signifikant von den Messwerten im CT unterscheiden.

Zur optischen Darstellung wurde ein Bland-Altman-Diagramm verwendet. Dieses ermöglicht eine grafische Beurteilung der Übereinstimmung zwischen den beiden Messmethoden, indem der Mittelwert zweier Messungen auf der x-Achse gegen die Differenz auf der y-Achse aufgetragen wird (Bland et al., 1986). Außerdem diente ein zweiseitiger Einstichproben-T-Test der Beurteilung, ob sich bei dem Mittelwert der im MRT-Bild gemessenen Dislokationen statistisch signifikante Differenzen zu den Mittelwerten aus der CT (Referenz) zeigen.

2.6.3. Statistische Auswertungen zum Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“

Um Unterschiede in den Messdaten zwischen Patienten mit und ohne Hypästhesie zu erkennen, wurde ein Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. In der Nullhypothese (H_0) wurde davon ausgegangen, dass die Höhe der Messwerte für SI, DM, aSNR und aNMCNR für Patienten mit und ohne klinische Hypästhesie gleich verteilt ist (Mann et al., 1947).

Zusätzlich wurden mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test Unterschiede zwischen der Frakturseite und der gesunden Seite unabhängig von Angaben der Patienten zu klinischen Hypästhesien ermittelt (Wilcoxon, 1945). Als Nullhypothese (H_0) wurde hierbei angenommen,

dass die Differenz der Mittelwerte zwischen den Variablen (SI, DM, aSNR, aNMCNR) auf der Frakturseite und der kontralateralen Seite gleich null ist.

Um zu messen, wie stark die Höhe der Variablenwerte (SI, DM, aSNR, aNMCNR) an der proximalen und distalen Messstelle im N. alveolaris inferior auf der Frakturseite miteinander korreliert, wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet (Spearman, 1904).

3. Ergebnisse

3.1. Patientenkollektive

Das gesamte Studienkollektiv bildeten 49 Personen im Alter zwischen 16 und 58 (Mittelwert 28,47) Jahren. Davon waren 38 Personen männlich und elf weiblich. Insgesamt lagen 57 Frakturen mit Nervenbeteiligung vor. Bei 41 Patienten (83,7 %) wurde eine unilaterale Fraktur diagnostiziert, acht Patienten (16,3 %) erlitten eine bilaterale Fraktur im Verlauf des Mandibularkanals.

3.1.1. Kollektiv „CT versus MRT“

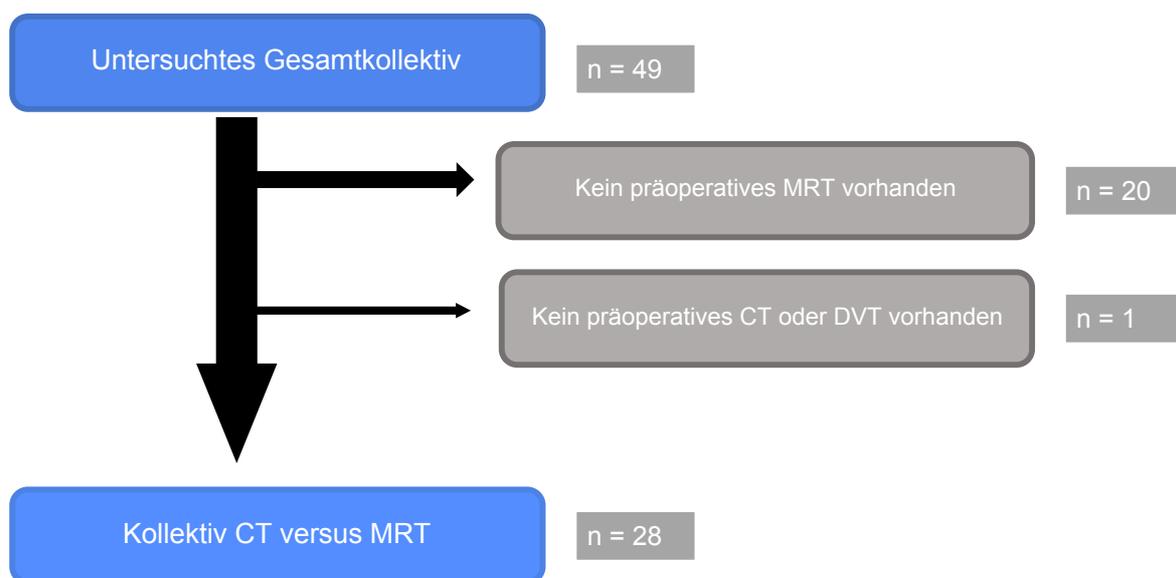


Abbildung 13: Patientenzahl und Ausschlusskriterien für das Kollektiv „CT versus MRT“.

Für diese Studienpopulation wurden wie in Abbildung 13 veranschaulicht 20 Patienten aus dem Gesamtkollektiv ausgeschlossen, bei denen aufgrund der Eingliederung von Drahtligaturen zur temporären Frakturstabilisierung oder der kurzfristigen Operations-einleitung kein präoperativer MRT-Scan mehr möglich war. Zudem wurde bei einem Patienten zur Frakturdiagnostik anstelle einer CT- oder DVT-Aufnahme ausschließlich eine Panoramaschichtaufnahme erstellt, welche sich nicht für den Schichtbildvergleich eignete.

3.1.2. Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“

Für dieses Kollektiv wurden 34 Patienten herangezogen. Von der Gesamtpopulation wurden sieben Patienten ausgeschlossen, da von ihnen aufgrund fehlender Kooperation kein MRT-Scan nach operativer Frakturposition durchgeführt wurde (Abbildung 14). Außerdem wurden acht Patienten mit bilateraler Fraktur ausgeschlossen, da in diesen Fällen keine Möglichkeit zum Vergleich mit dem gesunden kontralateralen neurovaskulären Bündel bestand.

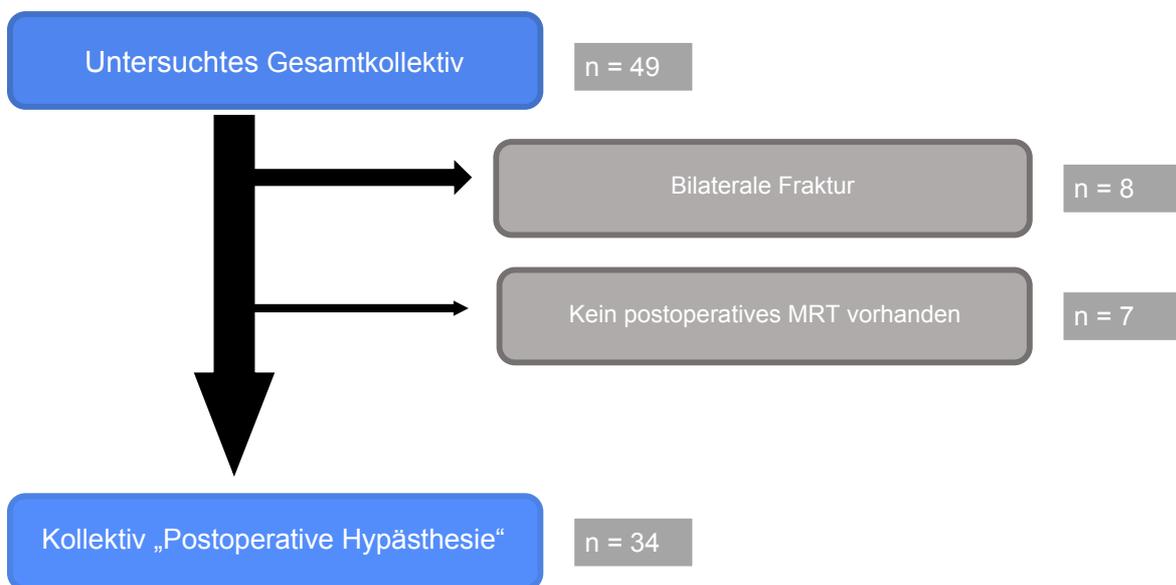


Abbildung 14: Patientenanzahl und Ausschlusskriterien für das Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“.

3.1.3. Ausgeschlossene Patienten

Insgesamt wurden 72 während des Erfassungszeitraums im Klinikum rechts der Isar der TU München behandelten Patienten mit einer Unterkieferfraktur aus der Studie ausgeschlossen, da sie die Einschlusskriterien nicht erfüllten. Wie Abbildung 15 zu entnehmen ist, war der größte Teil der ausgeschlossenen Patienten aufgrund Frakturen mit Verlauf außerhalb des Mandibularkanals ungeeignet für die Studie. Eine weitere Rolle spielten fehlendes Interesse an der Studienteilnahme und mangelnde Kooperation im Verlauf.

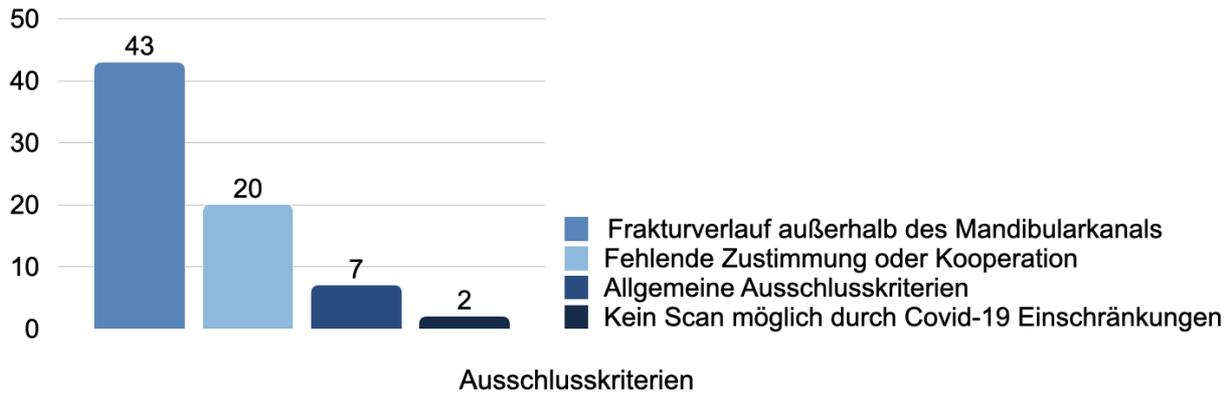


Abbildung 15: Häufigkeiten der Kriterien für den Ausschluss vom Studienkollektiv.

3.2. Epidemiologische Daten

3.2.1. Ätiologie

Wie in Abbildung 16 gezeigt stellten tätliche Auseinandersetzungen mit einer Häufigkeit von 46,9 % die Hauptursache der traumatischen Ereignisse dar. Fahrradunfälle (20,4 %), Stürze (16,3 %), Sportunfälle (10,3 %) und sonstige Ursachen (6,1 %) spielten ätiologisch eine untergeordnete Rolle.

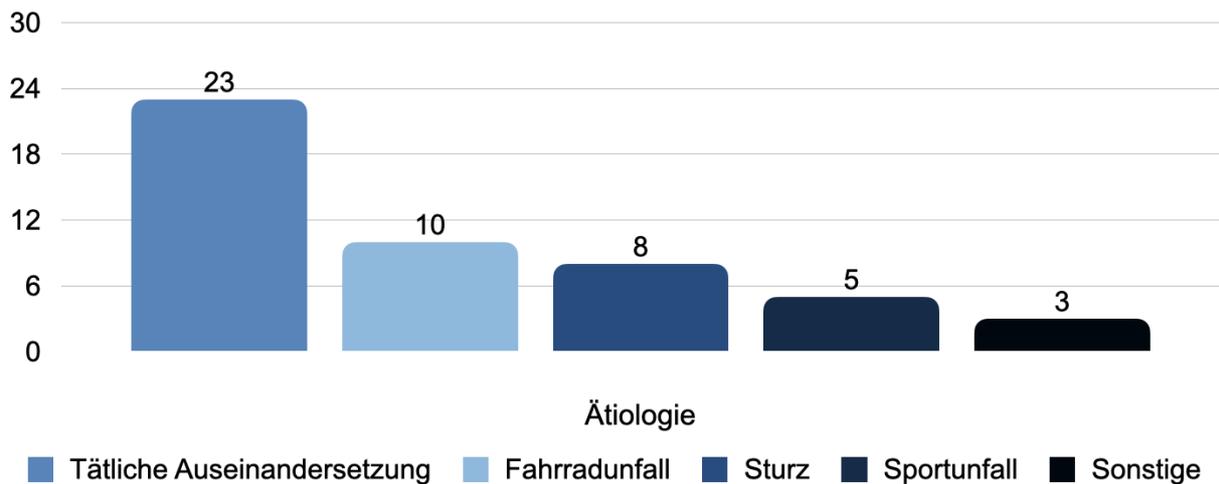


Abbildung 16: Ätiologie der in der Studie berücksichtigten Unterkieferfrakturen mit Nervenbeteiligung.

3.2.2. Alters- und Geschlechterverteilung

Von den untersuchten Patienten waren 38 (77,6 %) männlich und elf (22,4 %) weiblich. Daraus ergab sich ein Verhältnis der Geschlechterverteilung zwischen Männern und Frauen von 3,45 : 1. Das Alter lag im Median 25 bei Jahren (Spannweite 42 Jahre). Abbildung 17 hebt deutlich hervor, dass der größte Anteil der Teilnehmenden männlich und im Alter zwischen 20 und 29 Jahren war.

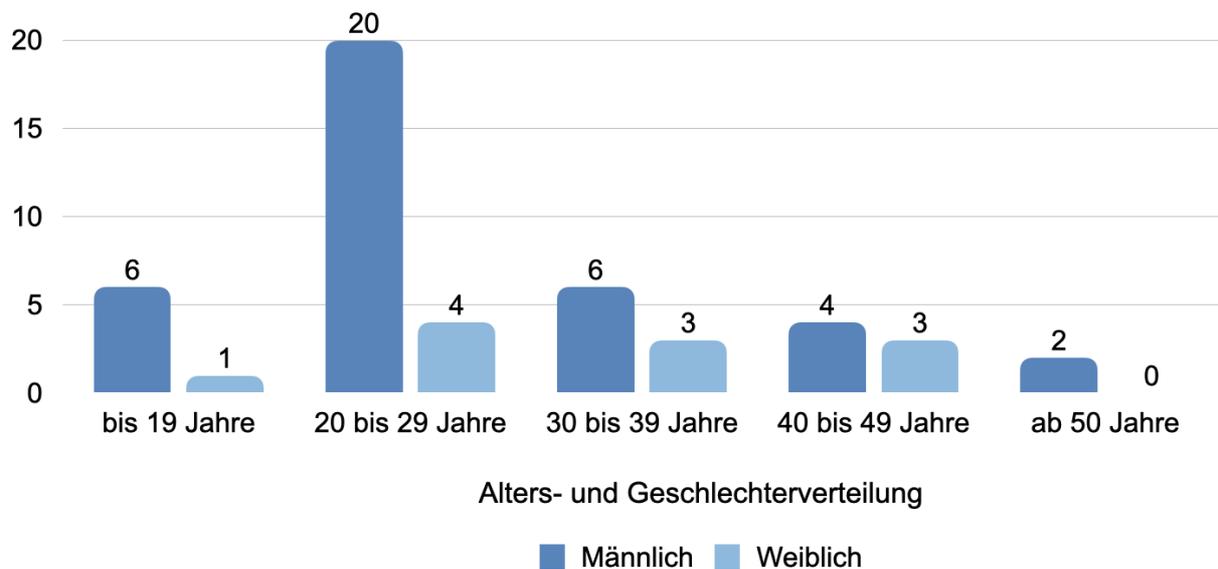


Abbildung 17: Alters- und Geschlechterverteilung der Studienpopulation.

3.2.3. Frakturlokalisation

Von den insgesamt 57 Frakturen mit Beteiligung des Nervenkanals befanden sich 26 im Bereich des Kieferwinkels. Vierzehn Frakturen entfielen auf den Unterkieferkorpus, elf auf den paramedianen Abschnitt sowie sechs auf den aufsteigenden Unterkieferast. Dreiundzwanzig Frakturen befanden sich auf der rechten Seite, 34 Frakturen lagen auf der linken Seite. Davon waren bei acht Patienten die Frakturen bilateral. Abbildung 18 zeigt eine besonders hohe Häufigkeit linksseitiger Kieferwinkelfrakturen.

Neben den in der Studie berücksichtigten Frakturen erlitten 17 Patienten (34,7 %) noch eine weitere, sowie zwei Patienten (4,0 %) zwei weitere Frakturen außerhalb des Verlaufs des

Mandibularkanals. Von diesen Frakturen lagen zehn (47,6 %) median oder paramedian distal des Foramen mentale, zehn (47,6 %) im Bereich des Collums und eine (4,8 %) im aufsteigenden Unterkieferast proximal des Foramen mandibulae.

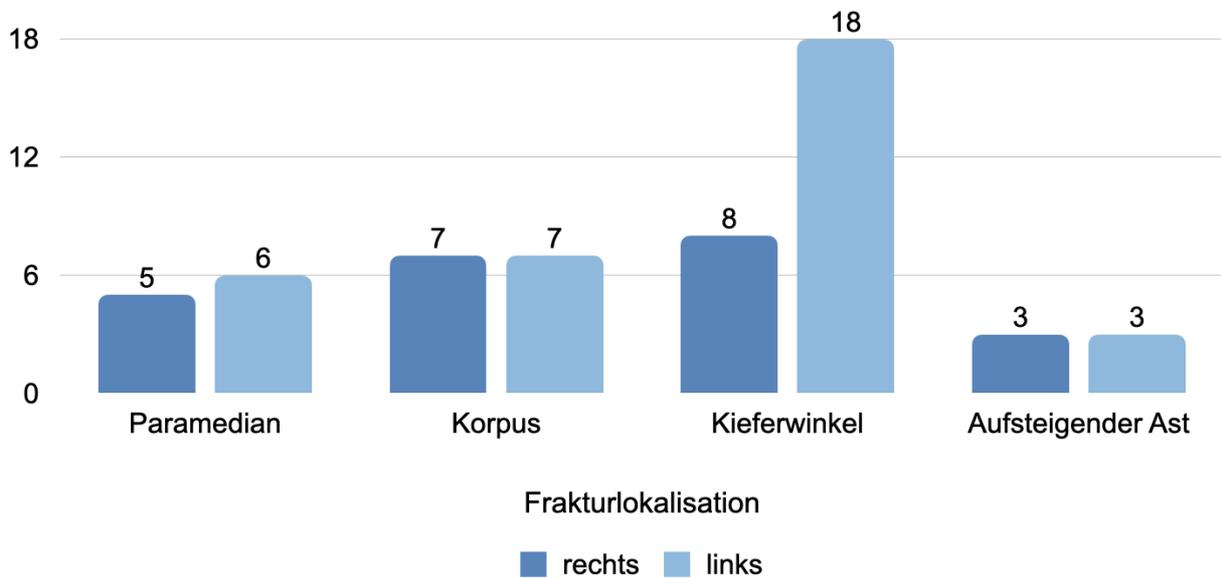


Abbildung 18: Lokalisation und Seite der in der Studie betrachteten Frakturen mit Nervenbeteiligung.

3.2.4. Prävalenz klinischer Nervendysfunktionen

Die Anzahl untersuchter Frakturen im Gesamtkollektiv variierte in Abhängigkeit vom Untersuchungszeitpunkt. Unmittelbar posttraumatisch (T0) wurden insgesamt 33 Frakturen an 30 Patienten betrachtet. Davon wurde bei neun Frakturen (27,3 %) angegeben, dass eine Hypästhesie auf der Frakturseite vorhanden sei. Bei den verbleibenden 24 Frakturen (72,7 %) stellte sich nach Angabe der Patienten keine pathologische Änderung der Sensibilität ein. Bei der ersten postoperativen Untersuchung (T1) waren 42 Patienten mit 50 Frakturen involviert, wovon bei 36 (72,0 %) eine Hypästhesie angegeben wurde. In 14 Fällen (28,0 %) wurde keine Gefühlsstörung angegeben. Die zweite postoperative Untersuchung (T2) nach sechs Monaten umfasste 38 in den Frakturspalt einbezogene Nerven bei 33 Patienten. Bei elf Nerven (28,9 %) lag entsprechend der Patientenaussagen ein Taubheitsgefühl vor, während die Funktion in 27 (71,1 %) Fällen als physiologisch angegeben wurde. Die Werte sind in Abbildung 19 zusammengefasst.

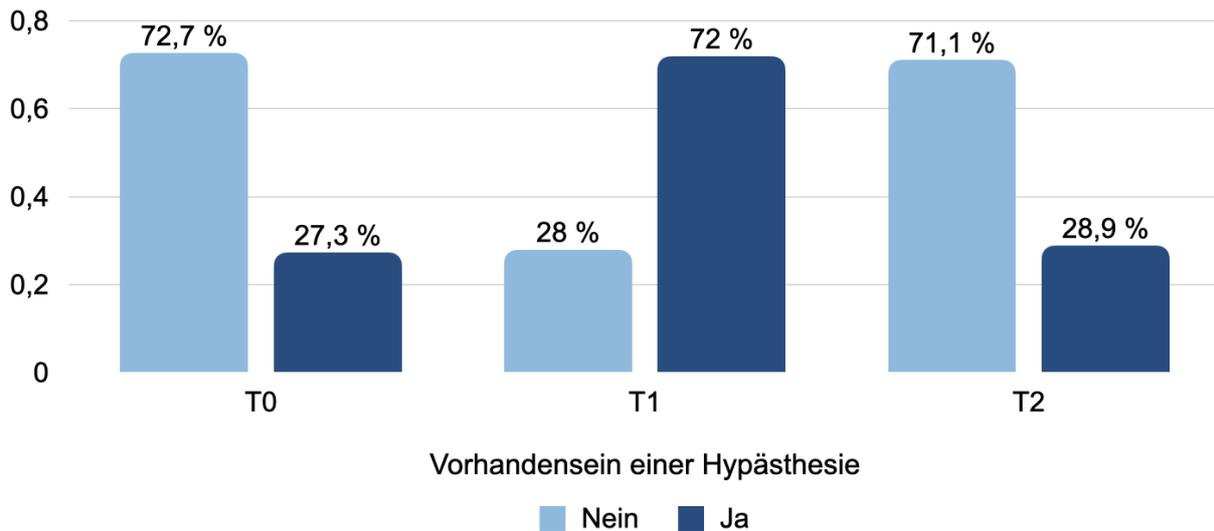


Abbildung 19: Anteil subjektiver Hypästhesien auf der Frakturseite zu den Messzeitpunkten T0 (posttraumatische Untersuchung), T1 (erste postoperative Untersuchung) und T2 (zweite postoperative Untersuchung).

Die Werte für die Zwei-Punkt-Diskrimination auf der Frakturseite mit Nervenbeteiligung wurden wie in Abbildung 20 veranschaulicht in drei Gruppen (1 bis 6 mm, 7 bis 12 mm, >12 mm) unterteilt. Zum Untersuchungszeitpunkt T0 lag die Zwei-Punkt-Unterscheidung bei neun (27,7 %) von 33 Frakturen mit Nervenbeteiligung bei 6 mm oder weniger. Auf 21 Frakturseiten (63,6 %) wurden Werte zwischen 7 und 12 mm angegeben. Bei drei betrachteten Frakturen (9,1 %) war die Identifikation von zwei getrennten Berührungspunkten erst bei Distanzen über 12 mm möglich. Zum Zeitpunkt T1 war die Zwei-Punkt-Unterscheidung bei Distanzen bis 6 mm bei 13 (26,0 %) von 50 Frakturen mit Nervenbeteiligung möglich. Bei 20 von 50 Frakturen (40,0 %) lagen die Werte zwischen 7 und 12 mm. In 17 Fällen (34,0 %) war eine sichere Abgrenzung erst ab 13 mm oder mehr möglich. Zur zweiten postoperativen Untersuchung (T2) lag die Zwei-Punkt-Diskrimination bei zwölf von 38 Frakturen (31,6 %) unter 7 mm und in 20 Fällen (52,6 %) zwischen 7 und 12 mm. Bei sechs (15,8 %) Frakturen mit Nervenbeteiligung lag die Schwelle zur Zwei-Punkt-Unterscheidung über 12 mm.

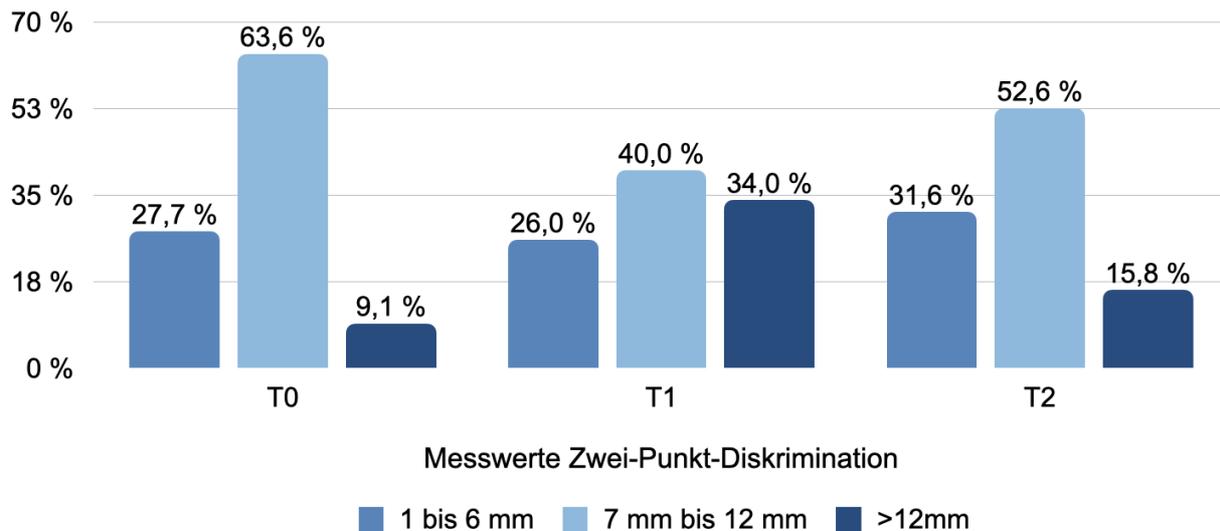


Abbildung 20: Verteilung der Ergebnisse für die Zwei-Punkt-Diskrimination auf der Frakturseite zu den Messzeitpunkten T0 (posttraumatische Untersuchung), T1 (erste postoperative Untersuchung) und T2 (zweite postoperative Untersuchung).

Bei der Spitz-Stumpf-Diskrimination konnten zum Untersuchungszeitpunkt T0 bei 31 von 33 Frakturen mit Nervenbeteiligung (93,9 %) alle Berührungsqualitäten richtig zugeordnet werden (5 von 5 richtig zugeordnet). Bei zwei (6,1 %) rechtsseitigen Frakturen war die Zuordnung durch den Patienten vollständig dysfunktional (0 von 5 richtig zugeordnet). Zum Zeitpunkt T1 war die Spitz-Stumpf-Unterscheidung bei 43 von 50 Frakturen (86,0 %) uneingeschränkt möglich (5 von 5 richtig zugeordnet). In insgesamt drei Fällen (6,0 %) konnten nur je zwei bis vier Berührungen richtig zugeordnet werden (2 bis 4 von 5 richtig zugeordnet). Bei vier Frakturen mit Nervenbeteiligung (8,0 %) war keine Unterscheidung zwischen der spitzen und stumpfen Seite des Untersuchungsinstrumentes möglich (0 von 5 richtig zugeordnet). Im Rahmen der postoperativen Folgeuntersuchung (T2) konnten bei 36 von 38 Frakturen mit Nervenbeteiligung (94,7 %) in allen fünf Durchgängen zwischen spitz und stumpf unterschieden werden (5 von 5 richtig zugeordnet). Bei zwei (5,3 %) rechtsseitigen Frakturen war keine Differenzierung möglich (0 von 5 richtig zugeordnet).

3.2.5. Chirurgische Therapie und postoperative Fixation

Bei allen Patienten wurde eine Reposition der Frakturenden und Fixierung mittels Osteosyntheseplatten aus Titan in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Die Operationsdauer betrug im Median 103 Minuten (Spannweite 478 Minuten). Bei den Frakturen mit Nervenbeteiligung wurden mindestens eine und maximal vier, im Mittel 1,88 Osteosyntheseplatten eingebracht. Bei Betrachtung aller Unterkieferfrakturen wurden zwischen einer und acht, im Mittel 2,59 Osteosyntheseplatten verwendet. Zur postoperativen Stabilisierung wurden bei 34 Patienten (69,4 %) Schrauben und Gummizüge zur intermaxillären Fixation verwendet. 14 Patienten (28,6 %) wurden mit Drahtbogen-Kunststoffschienen versorgt. Bei einem Patienten (2,0 %) wurde keine Fixationsmaßnahme angewendet.

Der Untersuchungszeitpunkt T1 wurde nach Möglichkeit gemeinsam mit der Entfernung der intermaxillären Fixation terminiert und lag im Median 19 Tage postoperativ (Spannweite 95 Tage).

3.2.6. Dauer der Hospitalisierung

Die untersuchten Patienten verbrachten postoperativ zwischen einer und fünf Nächten im Klinikum rechts der Isar. Die durchschnittliche Dauer betrug 3,33 Nächte. Nach dem operativen Eingriff zur Entfernung des Osteosynthesematerials ab sechs Monate nach dem Primäreingriff verbrachten die Patienten maximal eine Nacht im Klinikum.

3.3. Vergleich zwischen CT und MRT

Beim Einstichproben-T-Test wurde in allen sechs Fällen die Nullhypothese beibehalten. Es gab demnach wie Tabelle 5 zu entnehmen ist keine signifikante Abweichung zwischen den gemessenen Werten für die Dislokation im CT oder DVT und MRT.

Einstichproben-T-Test: Unterschiede zwischen Dislokationen in MRT und CT

	Testwert = 0		Signifikanz (2-seitig)	Durchschnitt- liche Differenz	95 % Konfidenzintervall	
	t	df			Untere Grenze	Obere Grenze
	Differenz MRT-CT axial lateral	-0,428			27	0,672
Differenz MRT-CT axial lingual	0,096	27	0,924	0,0107	-0,219	0,240
Differenz MRT-CT coronal lingual	-1,280	27	0,211	-0,2464	-0,641	0,149
Differenz MRT-CT coronal lateral	0,338	27	0,738	0,0500	-0,254	0,354
Differenz MRT-CT sagittal kaudal	-0,796	27	0,433	-0,2179	-0,779	0,343
Differenz MRT-CT sagittal cranial	0,026	27	0,979	0,0036	-0,275	0,282

Legende: t = T-Wert; df = Degrees of freedom, Freiheitsgrade

Tabelle 5: Differenzen zwischen den in der MRT und CT gemessenen Werten für die Dislokationen im Einstichproben-T-Test.

Der Bland-Altman-Test, der in Abbildung 21 die Werte der axialen und coronalen Schicht zeigt, ergibt eine gleichmäßige Verteilung der Messdifferenzen oberhalb und unterhalb des durch die rote Linie gekennzeichneten Mittelwerts. Die Linie entspricht in drei Fällen der Nulllinie. In drei Fällen besteht eine positive oder negative Abweichung von der Nulllinie um weniger als 0,5 mm. Dies impliziert einen geringen systematischen Messfehler. Die Abweichung der Verteilung der Differenzen erscheint unabhängig von der Höhe der Mittelwerte.

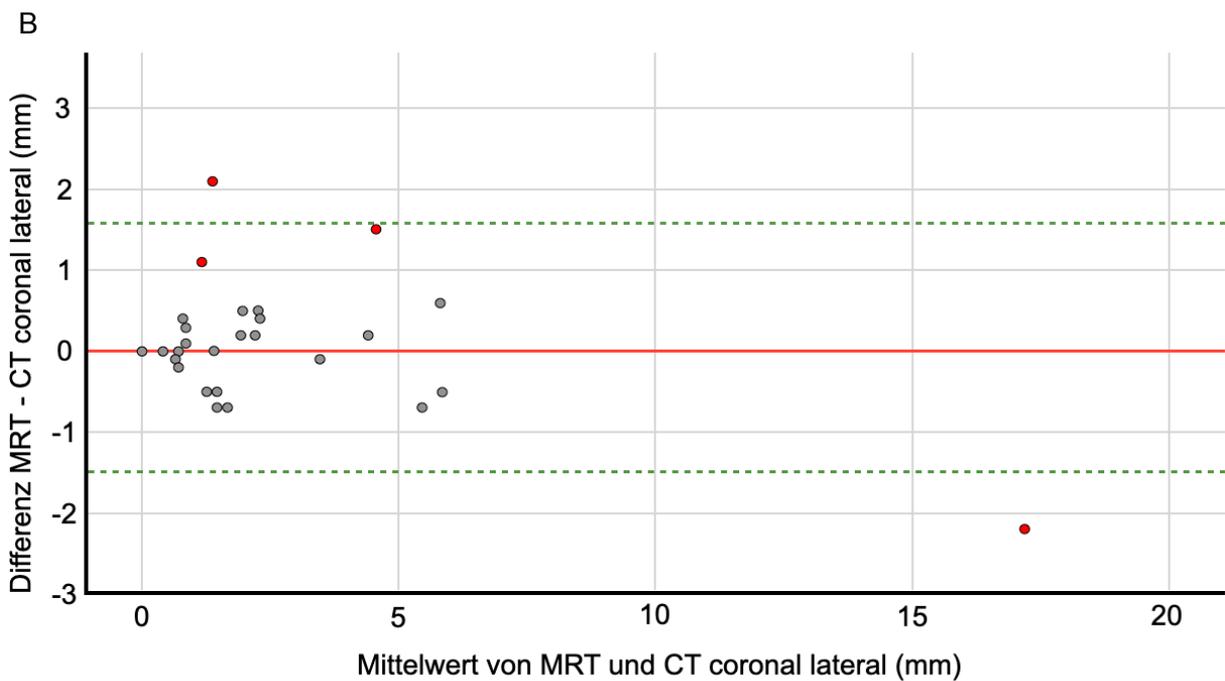
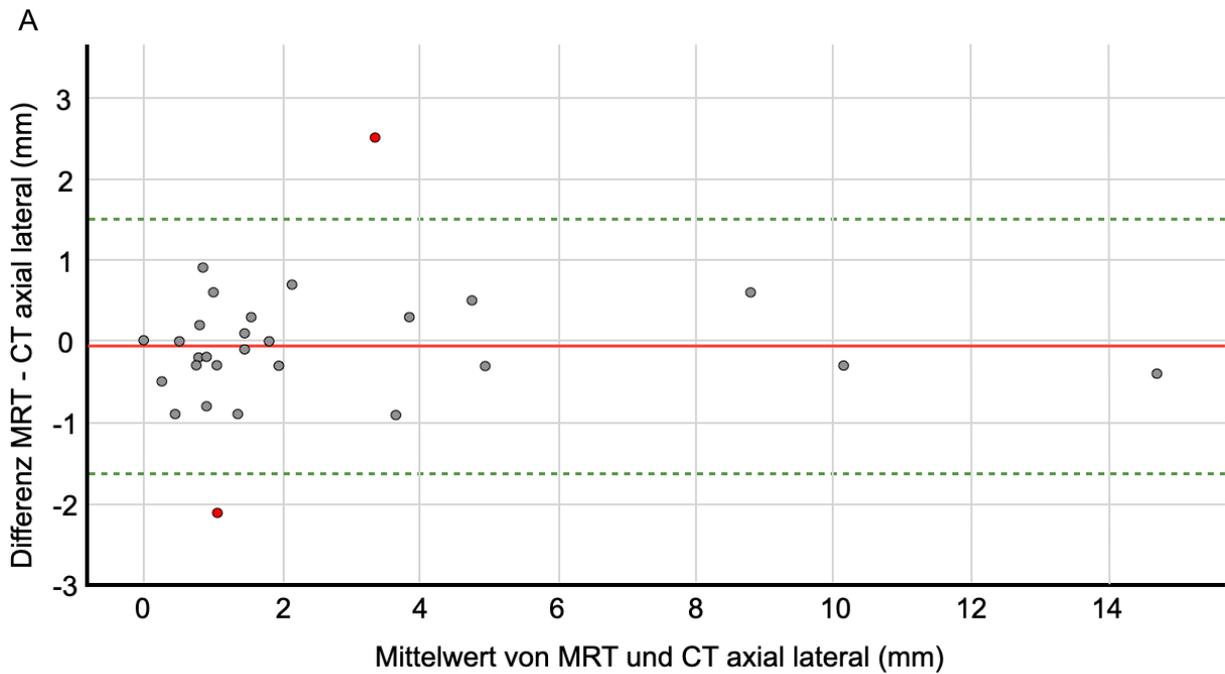


Abbildung 21: Bland-Altman-Test zum Vergleich der Messdifferenzen für die Dislokation der lateralen Kortikalis im MRT und CT in der axialen (A) und in der coronalen (B) Schicht. Auf der x-Achse ist der Mittelwert der im CT und MRT gemessenen Wertepaare für die Frakturdislokation in mm, auf der y-Achse die Differenz der Messwertepaare zwischen MRT und CT in mm aufgetragen.

3.4. Postoperative Hypästhesien

3.4.1. Prävalenz klinischer Nervenschädigungen

Im Kollektiv der postoperativ untersuchten Hypästhesien wurde zum Zeitpunkt T1 bei 24 Patienten (70,6 %) eine subjektive, klinisch manifeste neurosensorische Beeinträchtigung festgestellt. Bei zehn Patienten (29,4 %) war keine Hypästhesie vorhanden.

3.4.2. Korrelation zwischen klinischer Hypästhesie und MRT

Im Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für verbundene Stichproben ist entsprechend Tabelle 6 die Signalintensität auf der Frakturseite proximal der Fraktur signifikant höher als auf der kontralateralen Seite. Auch der proximale Nervendurchmesser auf der Frakturseite weist gegenüber der gesunden Seite signifikant erhöhte Werte auf, wie Abbildung 22 verdeutlicht. Für aSNR und aNMCNR an der proximalen Messstelle konnten keine signifikanten Differenzen im Vergleich mit der gesunden Seite gefunden werden.

Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für verbundene Stichproben: Unterschiede zwischen proximalen Variablen auf gesunder Seite und Frakturseite				
	SI	DM	aSNR	aNMCNR
Anzahl N	34	34	34	34
Test Statistik	114,50	89,50	294,00	191,00
Standardfehler	58,49	53,38	58,49	58,49
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,002**	0,001**	0,952	0,069

Legende: ** = Signifikanz < 0,05; SI = Signalintensität; DM = Durchmesser; aSNR = Apparent nerve-muscle contrast to noise ratio, Nerv-Muskel-Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis; aNMCNR = Apparent signal to noise ratio, Signal-Rausch-Verhältnis

Tabelle 6: Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben für proximale Signalintensität, Durchmesser, aSNR und aNMCNR auf der gesunden Seite verglichen mit der Frakturseite.

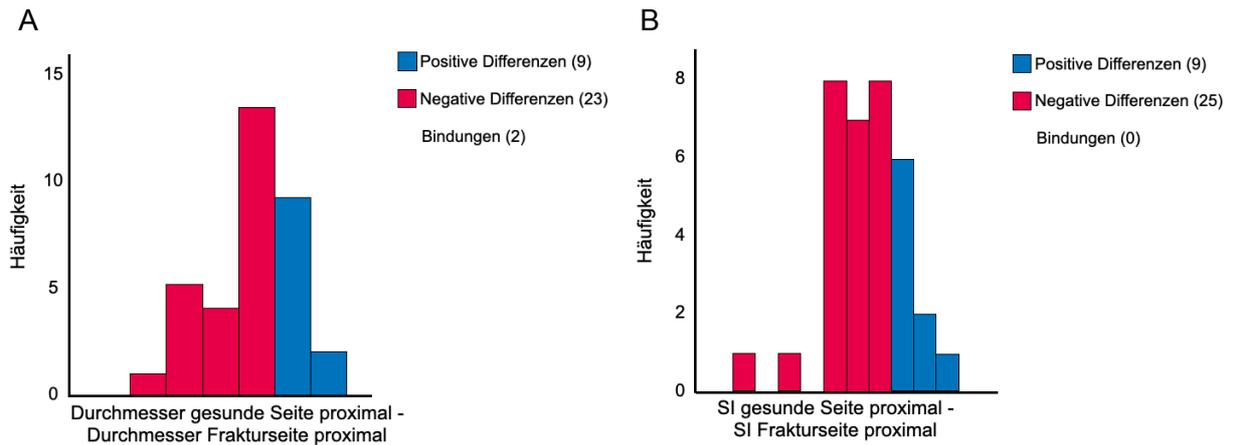
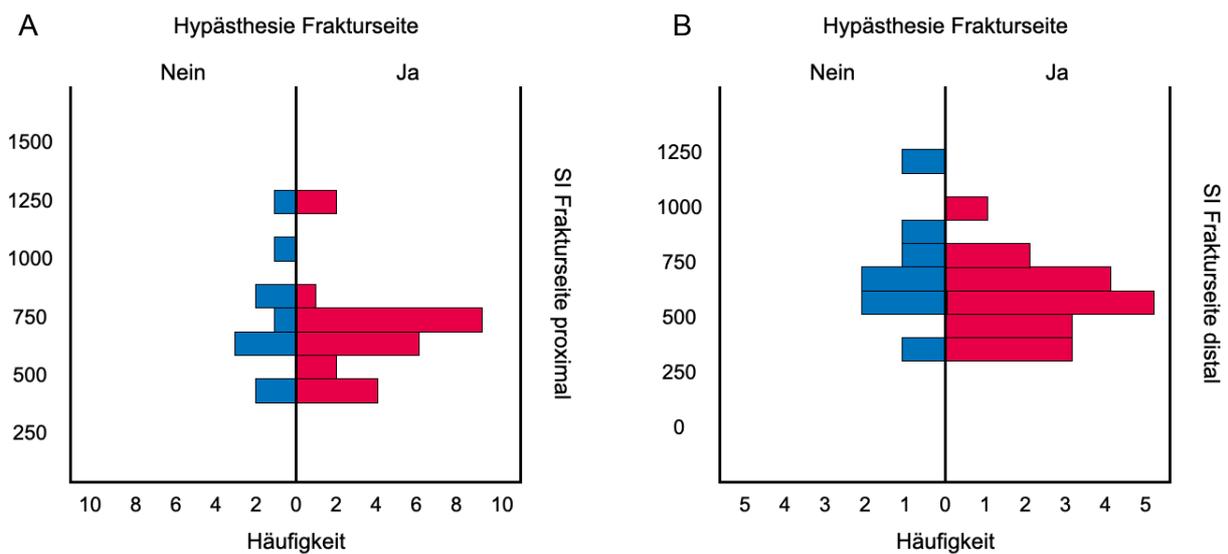


Abbildung 22: Grafische Darstellung des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der Messdifferenzen des proximal gemessenen Nervendurchmessers (A) und der proximal gemessenen Signalintensität (SI; B) zwischen der gesunden Seite und der Frakturseite.

Im Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben konnte wie in Tabelle 7 dargestellt und in Abbildung 23 grafisch veranschaulicht keine statistisch signifikante Differenz der Messwerte für die proximale Signalintensität in Abhängigkeit vom Vorhandensein einer klinischen Hypästhesie ermittelt werden ($p = 0,589$).



Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben: Hypästhesie auf Frakturseite in Korrelation mit proximalen Variablen

	SI proximal	DM proximal	aSNR proximal	aNMCNR proximal
Anzahl N	34	34	34	34
Mann-Whitney U	105,00	115,50	152,00	139,00
Wilcoxon W	405,00	415,50	452,00	439,00
Test Statistik	105,00	115,50	152,00	139,00
Standardfehler	26,46	26,40	26,46	26,46
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,57	0,87	0,23	0,47
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,589	0,867	0,238	0,491

Legende: SI = Signalintensität; DM = Durchmesser; aSNR = Apparent nerve-muscle contrast to noise ratio, Nerv-Muskel-Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis; aNMCNR = Apparent signal to noise ratio, Signal-Rausch-Verhältnis

Tabelle 7: Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung von Unterschieden in der Signalintensität, Nervendurchmesser, aSNR und aNMCNR auf der Frakturseite proximal bei Vorhandensein einer Hypästhesie.

Auch die Werte für den proximalen Nervendurchmesser auf der gesunden und erkrankten Seite zeigten wie in Abbildung 24 veranschaulicht keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,867$). Für die proximalen aSNR- und aNMCNR-Werte wurde ebenfalls jeweils die Nullhypothese beibehalten ($p = 0,238$ und $0,491$). Analog zu den Werten der proximalen Messpunkte wurde wie aus Tabelle 8 zu entnehmen auch für die distalen Werte für Signalintensität, Nervendurchmesser, aSNR und aNMCNR keine signifikante Abweichung festgestellt ($p = 0,144$, $p = 0,807$, $p = 0,311$, $p = 0,429$). Entsprechend wurde auch hier in allen Fällen die Nullhypothese beibehalten.

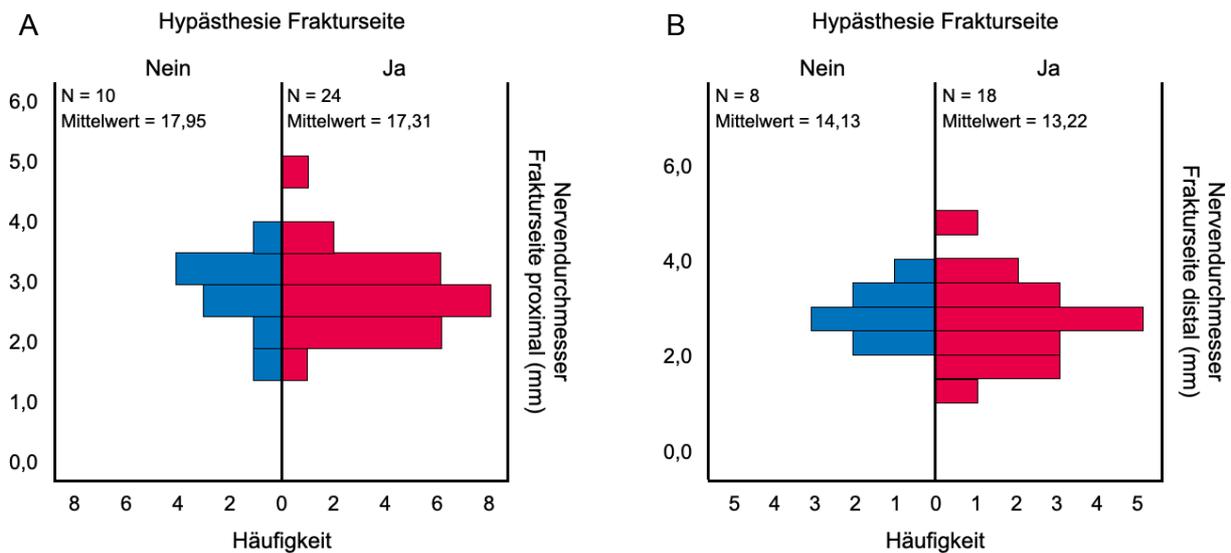


Abbildung 24: Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben zur Untersuchung von Differenzen zwischen den Werten für den Nervendurchmesser in mm bei Frakturen mit und ohne klinische Hypästhesien an der proximalen (A) und distalen (B) Messstelle.

Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben: Hypästhesie auf Frakturseite in Korrelation mit distalen Variablen

	SI distal	DM distal	aSNR distal	aNMCNR distal
Anzahl N	26	26	26	26
Mann-Whitney U	45,50	67,00	53,00	57,00
Wilcoxon W	216,50	238,00	224,00	228,00
Test Statistik	45,50	67,00	53,00	57,00
Standardfehler	18,00	18,00	18,00	18,00
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,14	0,78	0,29	0,41
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,144	0,807	0,311	0,429

Legende: SI = Signalintensität; DM = Durchmesser; aSNR = Apparent nerve-muscle contrast to noise ratio, Nerv-Muskel-Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis; aNMCNR = Apparent signal to noise ratio, Signal-Rausch-Verhältnis

Tabelle 8: Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung von Unterschieden in der Signalintensität, Nervendurchmesser, aSNR und aNMCNR auf der Frakturseite distal bei Vorhandensein einer Hypästhesie.

Die distale Signalintensität auf der Frakturseite korreliert entsprechend Tabelle 9 stark mit der proximalen Signalintensität auf der Frakturseite (Spearman's $\rho = 0,578$, $p = 0,002$). Zudem konnte entsprechend Tabelle 10 eine moderate Korrelation zwischen der distalen und der proximalen aNMCNR auf der Frakturseite festgestellt werden (Spearman's $\rho = 0,458$, $p = 0,019$). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen weiteren proximal und distal gemessenen Variablenpaaren besteht nicht.

Korrelation nach Spearman: SI Frakturseite		
		SI Frakturseite proximal
SI Frakturseite distal	Korrelationskoeffizient ρ	0,578
	Signifikanz (2-seitig)	0,002**
	Anzahl N	26
Legende: ** = Signifikanz < 0,05; SI = Signalintensität		

Tabelle 9: Korrelationskoeffizient nach Spearman für die Werte der Signalintensität an den proximalen und distalen Messpunkten.

Korrelation nach Spearman: aNMCNR Frakturseite		
		aNMCNR Frakturseite proximal
aNMCNR Frakturseite distal	Korrelationskoeffizient ρ	0,456
	Signifikanz (2-seitig)	0,019**
	Anzahl N	26
Legende: ** = Signifikanz < 0,05; aNMCNR = Apparent signal to noise ratio, Signal-Rausch-Verhältnis		

Tabelle 10: Korrelationskoeffizient nach Spearman für die Werte der aNMCNR an den proximalen und distalen Messpunkten.

4. Diskussion

4.1. Studiendesign

4.1.1. Prospektivität

Es handelt sich um eine prospektive Studie. Vorteilhaft gegenüber retrospektiven Arbeiten ist hierbei vor allem die erhöhte Aussagekraft der Ergebnisse durch die vorab festgelegte Elimination möglicher Störvariablen in Form von Ausschlusskriterien wie zum Beispiel malignen Erkrankungen oder hochatrophen Unterkieferknochen. Dadurch konnte in dieser Studie vorab eine Population mit möglichst homogenen Untersuchungskonditionen gebildet werden.

4.1.2. Messzeitpunkt und Pathophysiologie

Für den Vergleich des N. alveolaris inferior auf der Fraktur- und kontralateralen Seite wurden 34 Patienten postoperativ (T1) untersucht. Die individuelle Festlegung des Zeitpunkts zur Entfernung metallischer Ligaturen oder Kieferbruchschielen und in Einzelfällen chirurgische Revisionsbehandlungen bedingten mit einer Spannweite von 95 Tagen einen inhomogenen Abstand der Messzeitpunkte T1 nach der Primäroperation. Dadurch können möglicherweise Veränderungen des neurovaskulären Bündels, die Einfluss auf die Messergebnisse von Signalintensität und Nervendurchmesser im MRT-Bild haben, in verschiedenen Phasen der Regeneration dargestellt worden sein. Zudem besteht die Möglichkeit, dass bei den untersuchten Patienten trotz identischer Diagnose (Unterkieferfraktur) verschiedene pathophysiologische Mechanismen wie Dehnung, Kompression, Ischämie oder die Ruptur einzelner Faszikel zur Dysfunktion des N. alveolaris inferior geführt haben können, die sich in der MRT auf unterschiedliche Weise darstellen. Außerdem können eventuell posttraumatisch und postoperativ auftretende Weichgewebsödeme an Unterlippe und Kinn die Sensibilitätsprüfung des N. alveolaris inferior verfälschen. Dafür spricht, dass mit geringer Prävalenz auch Patienten mit Frakturen ohne Beteiligung des Mandibularkanals Hypästhesien erleiden können (Chandan et al., 2021). Schwierig ist zudem die Differenzierung, welcher Anteil an

der klinischen Symptomatik auf die mögliche Beeinträchtigung des Nervs während der chirurgischen Reposition und Fixation zurückzuführen ist. Halpern et al. geben in diesem Kontext an, dass Frakturdislokationen über 5 mm und eine chirurgische Therapie Hauptrisikofaktoren für eine neurologische Verschlechterung nach Frakturbehandlung sind (2004). Auch hierbei kann es perioperativ zu Traktions- oder Kompressionsverletzungen oder zu Läsionen durch fehlerhafte Positionierung von Osteosyntheseschrauben kommen.

4.1.3. Limitationen

Methodische Schwierigkeiten der vorliegenden Studie lagen bei der Suche nach prä- und postoperativen Auffälligkeiten des N. alveolaris inferior im MRT-Bild in der verglichen mit dem Gesamtkollektiv reduzierten Stichprobengröße von 34 Patienten. Diese waren unter anderem auf das Vorliegen bilateraler Frakturen zurückzuführen, deren Auswertung aufgrund einer fehlenden gesunden Seite als Kontrolle nicht möglich war. Daneben zeigten sich Complianceprobleme wie mangelnde Erreichbarkeit oder unentschuldigtes Fehlen der Patienten bei vereinbarten MRT-Terminen trotz initialer Einwilligung zur Studienteilnahme, die zum Ausschluss aus dem Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“ führten. Auch die generelle Ablehnung der Studienteilnahme trotz Erfüllung aller Einschlusskriterien bei 20 Patienten wirkte sich reduzierend auf die Größe des Gesamtkollektivs von 49 Teilnehmern aus.

Im Kollektiv „CT versus MRT“ lagen methodische Hindernisse im Bezug auf die Patientenzahl vorwiegend im Arrangement eines geeigneten Zeitpunktes für die präoperative MRT-Untersuchung, die in 20 Fällen meist aufgrund Besetzung des Scanners durch anderweitige Untersuchungen in Kombinationen mit einer zügigen Operationseinleitung bei den Frakturpatienten nicht gelang.

4.2. Definition und Einteilung klinisch manifester Hypästhesien

Zur Festlegung, ob bei einem Patienten eine Sensibilitätsstörung im Sinne einer Hypästhesie vorliegt, existieren nur inhomogene Untersuchungsprotokolle (Campbell et al., 1987, Iizuka et al., 1991, Meinck, 1993, Schultze-Mosgau et al., 1999, Thurmüller et al., 2001, Singh et al., 2016). In der vorliegenden Studie erfragte der Untersucher zunächst nach der subjektiven Einschätzung des Patienten, ob eine Gefühlsstörung vorhanden sei. Diese dichotome Einteilung ist nicht objektiv quantifizierbar und unter anderen von Faktoren wie der physischen und psychischen Konstitution der untersuchten Person abhängig. Andererseits kann diese Angabe Aufschluss über eine mögliche individuelle Beeinträchtigung des Patienten und den damit verbundenen Leidensdruck geben, der mitunter ausschlaggebend für das weitere Therapieprozedere ist.

Die anschließend durchgeführte Testung der Berührungsempfindung mittels Zwei-Punkt-Diskrimination erhebt messbare Daten, anhand derer annähernd eingeordnet werden kann, wie stark die sensible Dysfunktion ausgeprägt ist. In dieser Studie wurden die Messwerte für die Zwei-Punkt-Diskrimination in drei Gruppen eingeteilt. Chandan et al. beschreiben Distanzen bis 14 mm im untersuchten Areal als physiologisch (2021). Einheitliche Angaben existieren jedoch nicht, zumal bei dieser Untersuchung die Werte vom Geschlecht des Patienten, dem Untersucher und der Beschaffenheit des verwendeten Instrumentes abhängen (Won et al., 2017) und damit nur bedingt objektivierbar sind. Die zusätzlich durchgeführte Spitz-Stumpf-Unterscheidung kann nozizeptive Dysfunktionen aufdecken. Auch hier erlauben die Messergebnisse durch die Anzahl richtig zugeordneter Berührungsgüten (spitz oder stumpf) eine Einordnung in diverse Schweregrade.

Weitere Studien schlagen zusätzlich die Untersuchung der thermischen Sensibilität vor, die ebenfalls die Funktion der A-Delta- und C-Fasern überprüfen soll (Campbell et al., 1987, Bhat et al., 2012). Eine Beeinträchtigung der Thermozeption vermittelnden Fasern kann insbesondere im intraoralen Bereich relevant sein, da sie mit Gewebetraumata bei der Aufnahme heißer oder kalter Nahrung verbunden sein kann.

In anderen Arbeiten wird die Elektromyografie (EMG) des M. masseter als objektive Methode zur Feststellung trigeminaler Läsionen mit Sensibilitätsstörung vorgeschlagen (Meinck, 1993). Dabei wird in der Regel mit einer dünnen Nadelelektrode in die Haut über dem

Muskel eingestochen und das Muskelaktionspotenzial in Ruhe und bei Kontraktion gemessen und ausgewertet (Klingelhöfer et al., 2015a). Nachteilig bei diesem Verfahren ist neben dem erhöhten instrumentellen und zeitlichen Aufwand der invasive Charakter, bei dem der Untersucher auch auf die Kooperationsfähigkeit des Patienten angewiesen ist. Zudem kann die EMG möglicherweise posttraumatisch und unmittelbar postoperativ keine zuverlässig reproduzierbaren Ergebnisse liefern (Schultze-Mosgau et al., 1999).

Alle beschriebenen Testmethoden liefern zwar in gewissem Maße quantifizierbare Ergebnisse. Jedoch bleibt aufgrund großer individueller Unterschiede in der Sensibilität die Festlegung eines Grenzwertes zwischen physiologischer und pathologischer Nervenfunktion und die mögliche Einordnung in verschiedene Schweregrade der Dysfunktion schwierig, was sich auch in der heterogenen Studienlage widerspiegelt. Bhat et al. nehmen eine Klassifizierung der Hypästhesie entsprechend des Ausfalls einzelner sensibler Faserqualitäten vor (2012). Letztlich steht trotz dieser Möglichkeit einer Aufgliederung für den einzelnen Patienten der subjektive Leidensdruck im Vordergrund. Aus ärztlicher Sicht dagegen ist eine konkrete Einordnung von Manifestationen peripherer Nervenläsionen besonders im Hinblick auf gerichtsmedizinische Aspekte interessant.

4.3. Forensik

Körperversatzdelikte und Verkehrsunfälle stellen zwei der Hauptursachen für mandibuläre Frakturen mit Beteiligung des N. alveolaris inferior dar. Weitere Ursachen für Nervenläsionen können unter anderem iatrogene Eingriffe wie Weisheitszahnentfernungen, Implatatininsertionen oder Dysgnathiekorrekturen sein (Juodzbaly et al., 2011, Bhat et al., 2012, Antony et al., 2017). Im Bezug auf die damit verbundene privatrechtliche beziehungsweise ärztliche Haftung der beteiligten Personen oder Behandler hat die objektive Identifikation und Dokumentation entstandener Nervenläsionen einen hohen Stellenwert. Bei der Begutachtung von Beeinträchtigungen des Patienten durch temporäre oder permanente Verletzung des N. alveolaris inferior kann nicht alleine Verlass auf die subjektive Aussage des Patienten sein. Differenzialdiagnostisch muss die Abgrenzung von anderen Pathologien

wie psychogenen dissoziativen Sensibilitätsstörungen berücksichtigt werden (Klingelhöfer et al., 2015b).

Aus diesem Grund wäre es wünschenswert, eine validierte objektive Methode zur Diagnose zu etablieren. Die MRT ist in der Lage, pathologische Veränderungen peripherer Nerven, inklusive des N. trigeminus, aufzudecken (Kress et al., 2004, Borges et al., 2010, Bathla et al., 2013, Al-Haj Husain et al., 2021). Cassetta et al. konnten durch postoperative Unterschiede im Verhältnis der Signalintensität von N. alveolaris inferior und M. masseter bei Patienten mit Weisheitszahnextraktionen eine Prognose treffen, innerhalb welcher Zeitintervalle eine klinische Regeneration wahrscheinlich ist. Ob über mehr als sechs Monate andauernde neurologische Beeinträchtigungen ausheilen oder permanent bestehen bleiben, konnte anhand der MRT-Befunde nicht differenziert werden (2014).

Um die Übertragbarkeit solcher Ergebnisse auf Nervenschädigungen durch Unterkieferfrakturen und deren Abweichungen vom Normalbefund zu prüfen, müssen weitere Untersuchungen angestellt werden. Dabei sollten mehr Variablen bei der klinischen Untersuchung (Zwei-Punkt-Diskrimination, Spitz-Stumpf-Untersuchung, Thermografie, ggf. EMG) in Verbindung mit engmaschigeren postoperativen MRT-Kontrollen berücksichtigt werden, um mögliche signifikante Korrelationen zu erkennen.

4.4. Reduktion der Exposition gegenüber ionisierender Strahlung

Die Zahl der angefertigten CT- und DVT-Aufnahmen ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen (IMV Medical Information Division, 2008, Smith-Bindman et al., 2009, European Commission, 2012). Die auf die Organe wirkende effektive Dosis kann dabei stark variieren und zum Teil deutlich höher ausfallen als der in der Literatur angegebene Mittelwert (Smith-Bindman et al., 2009). Die Wahrscheinlichkeit infolge der bei einem einzelnen Kopf-CT emittierten ionisierenden Strahlung an einer Malignomkrankung zu versterben liegt bei 1:10.000 (Reith, 2011b) und variiert in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und der tatsächlichen effektiven Dosis (Smith-Bindman et al., 2009). Das Risiko ist dabei bei weiblichen Patienten im Vergleich zur männlichen Population vergrößert und verhält sich

umgekehrt proportional zum Alter, womit es bei Mädchen und jungen Frauen am höchsten ist (Krieger, 2019).

Im Hinblick auf die hohe Prävalenz mandibulärer Frakturen ist die Perspektive auf eine strahlenfreie Bildgebung gerade bei Jugendlichen und jungen Erwachsene relevant, da diese am häufigsten betroffen sind (Thapliyal et al., 2008, Ghosh et al., 2018). In der vorliegenden Studie entfällt ätiologisch der höchste Anteil auf körperliche Auseinandersetzungen. Darauf folgen Fahrradunfälle und Stürze, welche auch weitere vulnerable Gruppen wie Kinder und Schwangere betreffen und weitere Frakturen im Gesichtsbereich hervorrufen können. Bei diesen Patienten sollte eine röntgenbasierte Untersuchung nur innerhalb striktester Indikationsgrenzen erfolgen.

Neben dem Fokus auf sensible Patientenkollektive muss auch die erhöhte Strahlensensitivität bestimmter Gewebe berücksichtigt werden. Bei einem Kopf-Hals-CT ist die Orbita mit der darin liegenden Augenlinse zwangsläufig eingeschlossen. Hier besteht ein Risiko für die Entstehung strahlungsinduzierter Katarakte (Belden et al., 1997, Krieger, 2019). Daneben weist auch die Glandula thyroidea eine erhöhte Radiosensitivität auf (ICRP, 2007, Pauwels et al., 2019).

Die MRT kann damit in der Frakturdiagnostik in einem großen epidemiologischen Segment als mögliche Alternative zu röntgenbasierten Aufnahmetechniken verwendet werden.

4.5. Darstellung fazialer Weichgewebe in der MRT

4.5.1. Visualisierung des N. alveolaris inferior

MRT erlaubt im Gegensatz zu den röntgenbasierten Verfahren eine direkte Beurteilung von Lage, Kontinuität, Durchmesser und Signalintensität des N. alveolaris inferior innerhalb der Mandibula (Weckx et al., 2016). In der vorliegenden Arbeit war in allen Fällen eine eindeutige Beurteilung des Nervenverlaufs und der Kontinuität im Bereich des Frakturspaltes möglich. Zu diesem Ergebnis kommen auch Kress et al. bei der Untersuchung von Patienten mit Unterkieferfrakturen (2003).

Einen hohen Mehrwert könnte eine zuverlässige direkte Visualisierbarkeit neben traumatischen Ereignissen auch nach chirurgischen Eingriffen wie Dysgnathiekorrekturen oder der operativen Entfernung der unteren Weisheitszähne haben, bei denen ein klinischer Funktionsausfall Hinweise auf eine mögliche Kontinuitätsunterbrechung des neurovaskulären Bündels gibt. In einer Studie von Terumitsu et al. kann darüber hinaus mit einer Variation der DWI-Sequenz die Visualisierung der Binnenstruktur ausgeheilter Nervenläsionen ermöglicht und eine signifikante Korrelation zu klinischen Schmerzsymptomen hergestellt werden (2017).

Auch bei Neoplasien des mandibulären neurovaskulären Bündels erlaubt die MRT eine zuverlässige Darstellung, wie Probst et al. in einer Fallstudie an drei Patienten mit malignen Tumoren der Myelinscheide zeigen (2018).

4.5.2. Darstellung angrenzender fazialer Strukturen

Ein weiterer Vorteil der MRT ist die im Vergleich zur CT signifikant überlegene Möglichkeit der Identifikation pathologischer Weichteilbefunde im Mund-Nasenraum, wie beispielsweise Schleimretentionszysten oder Tumoren (Sievers et al., 2000).

Im dentoalveolären Bereich können mittels MRT auch weitere periphere Nerven wie etwa der N. lingualis visualisiert werden (Burian et al., 2020a), der ähnlich wie der N. alveolaris inferior beispielsweise im Rahmen operativer Eingriffe wie Weisheitszahnentfernungen geschädigt werden kann. Al-Haj Husain et al. beschreiben in einer Fallstudie die MRT-basierte Diagnostik einer iatrogenen sowie einer entzündlichen Läsion des N. lingualis mit einer T2-gewichteten Sequenz. In dem genannten Artikel wurde bei dem Fall des iatrogen geschädigten N. lingualis vorab eine DVT-Aufnahme erstellt. (2022). Diese könnte durch weitere Neuerungen in der MRT möglicherweise in Zukunft obsolet werden.

4.6. Knochendarstellung in der MRT

4.6.1. Dentale MRT

Aufgrund der ständigen Entwicklung neuer Sequenzen sollten die klassischen Indikationsgrenzen der MRT bei der Knochendarstellung fortwährend überprüft werden. So konnte in Studien aus den letzten Jahren bewiesen werden, dass die MRT auch Anwendung in der Diagnostik von Pathologien des dentoalveolären Knochens finden kann. Im Hinblick auf die weit verbreiteten entzündlichen Erkrankungen des Zahnhalteapparates konnten Probst et al. eine Korrelation zwischen den klinischen Symptomen einer marginalen Parodontitis und dem Bestehen ossärer Ödeme in der Umgebung der untersuchten Zähne herstellen. Die MRT war hierbei zusätzlich in der Lage anhand des Zusammenhangs zwischen positiven Werten für die Blutung auf Sondierung und ödematöser Veränderungen im dentoalveolären Knochen Voraussagen über die Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Knochenverlustes zu tätigen (2021). Auch entzündliche Veränderungen des apikalen Parodonts konnten in einer Untersuchung aus dem Jahr 2023 mittels MRT mit signifikanter Überlegenheit gegenüber dem dem klassischen Orthopantomogramm (OPG) detektiert werden (Feuerriegel et al.).

4.6.2. Diagnostik ossärer Pathologien

Auch außerhalb des Kiefer- und Gesichtsbereiches ermöglichen neue Sequenzen eine verbesserte Knochendarstellung. In der Diagnostik okkulten Ermüdungsfrakturen der Hüfte und der Extremitäten zeigt sich die MRT mit einer hohen Sensitivität und Spezifität der CT überlegen (National Clinical Guideline Centre, 2011, Haubro et al., 2015, Matcuk et al., 2016). Bei Verletzungen des Scaphoids mit unauffälligen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen gilt die MRT als bevorzugtes Mittel zur Identifikation und Differenzierung von weichgewebigen und ossären Traumata (Tibrewal et al., 2012, Rubin et al., 2018).

Dagegen basiert die Datenlage zur Knochendarstellung in der MRT im Kopf-Hals-Bereich abgesehen von den im vorherigen Absatz genannten Erkenntnissen zur dentalen Anwendung bislang im Wesentlichen auf einzelnen Fall- und Machbarkeitsstudien. In der Pädiatrie wurden T1-gewichtete „Black Bone“-Sequenzen in einigen Fällen als

vielversprechende Alternative zur CT erprobt (Ganau et al., 2022). Konkret beschreiben etwa Lu et al. in einer Fallstudie, dass die Anwendung einer Sequenz mit geringer Echozeit der CT gleichwertige Aufnahmen bei knöchernen Fragestellungen des Neuro- und Viszerocraniums lieferte, wie beispielsweise der Auffindung von Craniosynostosen, aber auch der Kontrolle nach Traumata (2019). Jedoch weisen Dremmen et al. darauf hin, dass die Sensitivität der MRT bei der Frakturdiagnostik im Schädelbereich bei Kindern durch mögliche Verwechslungen mit unvollständig verschlossenen Suturen verringert sein kann (2017). Bei der Betrachtung von Frakturen der Schädelkalotte bei erwachsenen Patienten liefert die MRT entsprechend Untersuchungen von Cho et al. eine mit der CT vergleichbare Bildqualität und eine exzellente Darstellung der Frakturlinien (2019). Im Gesichtsbereich ermöglichen TE-minimierte Sequenzen bei Pathologien des Kiefergelenks eine Knochendarstellung in vergleichbarer Qualität wie in der DVT (Lee et al., 2019). Eine Fallstudie von Eley et al. weist auf den Nutzen von „Black Bone“-Sequenzen als Alternative zur CT bei weiteren klinischen Fragestellungen wie Orbitabodenfrakturen und Neoplasien des Kieferknochens, aber auch der Absicherung von Normalbefunden der knöchernen Strukturen des Gesichts hin (2012b). In der vorliegenden Studie wurde bei Untersuchung der Dislokation von Frakturlinien im Unterkiefer keine signifikante Abweichung zwischen den im CT oder DVT und in der MRT gemessenen Werten gefunden. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die MRT auch im Gesichtsbereich für die Frakturdiagnostik geeignet ist. Grenzen in der MRT-basierten Frakturdarstellung bilden aufgrund der ähnlich niedrigen Signalintensität und Luft und Knochen Fülle, bei denen sich Frakturlinien im direkten Umfeld an luftgefüllte Räume befinden, wie beispielsweise im Bereich des Mastoids oder der Sinus maxillaris (Eley et al., 2012a, Dremmen et al., 2017).

4.6.3. Digitale Planung chirurgischer Eingriffe

Eine effektive, der CT oder DVT qualitativ gleichwertige Knochendarstellung kann im Gesichtsbereich insbesondere bei der Planung elektiver Eingriffe wertvoll sein. Anhand des beim Scan erhobenen Datensatzes könnte eine digitale Planung von Implantatinsertionen,

Umstellungsosteotomien, Unterkieferrekonstruktionen oder Korrektur von Craniosynostosen mit dem Ziel einer statischen Navigation stattfinden.

In einer Pilotstudie von Probst et al. konnte bei Verwendung ähnlicher Sequenzparameter wie in der hier vorliegenden Arbeit die Durchführbarkeit einer MRT-basierten Implantatplanung und additiver Herstellung entsprechender Bohrschablonen belegt werden (2020). So erfolgen bei der Planung der optimalen Position dentaler Implantate ein Abgleich und eine Zusammenführung der DICOM-Daten aus dem MRT-Scan mit den STL-Dateien eines digitalen Abdruckes des Ober- und Unterkieferzahnboogens (Hilgenfeld et al., 2020). In der genannten Studie konnte die auf diese Weise angefertigte Schablone mit einer, verglichen mit den DVT-Daten als Referenz ähnlichen, ausreichend akkuraten Genauigkeit für die geplante Implantatpositionierung hergestellt werden. Auch Pompa et al. betonen die der CT gleichwertige Bildqualität der MRT für die digitale Implantatplanung (2010). Mögliche Herausforderungen sind an dieser Stelle Metallartefakte durch bestehende dentale Restaurationen, da sie zu Verzerrungen im Magnetfeld führen können (Lüdeke et al., 1985). Diese Problematik kann durch die Wahl spezieller Sequenzen mit verringerter Artefaktbildung, wie etwa der in dieser Studie verwendeten 3D STIR-Sequenz, limitiert werden (Probst et al., 2017). Hierbei sollte der im Vergleich zur CT oder DVT erhöhte Zeit- und Kostenfaktor berücksichtigt werden (Hooper et al., 2019). Der Zeitfaktor weist jedoch aufgrund des elektiven Charakters der entsprechenden Eingriffe eine eher geringe Relevanz auf.

Neben dem Einsatz bei elektiven Operationen ist auch die vollständig mögliche MRT-basierte Planung von Schablonen für partielle Unterkieferresektionen bei Tumorpatienten beschrieben. Eine „Black Bone“-Sequenz diente hier als Basis für 3D-gedruckte Modelle tumorös infiltrierter Unterkiefer, sodass der routinemäßig zu diesem Zweck durchgeführte CT-Scan obsolet wurde (Hoving et al., 2018).

4.7. Fazit

Die „Black Bone“-Sequenz erwies sich in dieser Studie im Einstichproben-T-Test sowie in der Analyse nach Bland-Altman in allen Ebenen als gleichwertige Alternative zur CT oder DVT in der Identifikation mandibulärer Frakturlinien und der Vermessung von deren Dislokation.

Die 3D STIR-Sequenz ermöglicht eine zuverlässige Darstellung des N. alveolaris inferior zur Beurteilung der Kontinuität nach Unterkieferfraktur. Signalintensität und Durchmesser im proximalen Abschnitt des neurovaskulären Bündels waren auf der Frakturseite verglichen mit der gesunden Seite im Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test signifikant erhöht. Eine Korrelation zwischen Signalintensität oder Durchmesser mit dem Vorhandensein einer subjektiven, klinisch manifesten Hypästhesie im Mann-Whitney-U-Test besteht nicht. Zur Überprüfung möglicher signifikanter Zusammenhänge mit anderen Variablen aus der klinischen Untersuchung sollten weitere Analysen stattfinden.

5. Zusammenfassung

In dieser Studie wurden insgesamt 49 Patienten mit Unterkieferfrakturen mit Beteiligung des N. alveolaris inferior vor und nach chirurgischer Intervention klinisch und in der MRT untersucht.

Der größte Teil der Patienten war männlich und im Alter zwischen 20 und 29 Jahren. Hauptursache für die Frakturen waren tätliche Auseinandersetzungen. Die am häufigsten diagnostizierte Frakturlokalisation lag im Bereich des linken Kieferwinkels. Bei der klinischen Untersuchung lag die Prävalenz einer Hypästhesie im Bereich des N. mentalis auf der Frakturseite posttraumatisch bei 27,3 %, postoperativ bei 72,0 % und bei der Follow Up-Untersuchung nach sechs Monaten bei 28,9 %.

Im ersten Teil wurden die präoperativen MRT-Aufnahmen von 28 Patienten in der sogenannten „Black Bone“-Sequenz mit den standardmäßig im Rahmen der Frakturdiagnostik angefertigten CT- oder DVT-Aufnahmen hinsichtlich der Dislokation der Fragmente an der cranialen und kaudalen beziehungsweise medialen und lateralen Kortikalis in allen drei Ebenen verglichen. Die Ergebnisse zeigten keine signifikante Abweichung zwischen den gemessenen Werten für die Dislokation im CT- oder DVT-Bild und MRT-Bild.

Im zweiten Teil der Erhebung wurden postoperative Auffälligkeiten in Signalintensität und Durchmesser des N. alveolaris inferior bei 34 Patienten in der sogenannten 3D STIR-Sequenz auf eine Korrelation mit klinischen Symptomen einer neurologischen Dysfunktion im Sinne einer Hypästhesie oder Anästhesie im Bereich des Kinns und der Unterlippe auf der Frakturseite untersucht. Dabei zeigte sich eine signifikante Erhöhung von Signalintensität und Durchmesser des neurovaskulären Bündels im Bereich proximal der Fraktur im Vergleich zur gesunden Seite. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Signalintensität oder Durchmesser mit dem Vorhandensein einer subjektiven, klinisch manifesten Hypästhesie konnte nicht nachgewiesen werden.

In this study, a total of 49 patients with mandibular fractures involving the inferior alveolar nerve were clinically and MRI examined before and after surgical intervention.

The majority of patients were male and aged between 20 and 29 years. The main cause of fractures were physical altercations, with the most frequently diagnosed fracture location being in the left mandibular angle. In the clinical examination, the prevalence of hypoesthesia in the mental nerve area on the fracture side was 27.3% post-traumatically, 72.0% postoperatively, and 28.9% at the six-month follow-up examination.

In the first part, the preoperative MRI scans of 28 patients were compared with the CT or CBCT scans routinely performed for fracture diagnostics in terms of fragment displacement at the cranial and caudal, as well as medial and lateral cortices, in all three planes. The results showed no significant deviation between the measured values for displacement in the CT or CBCT image and the MRI image.

In the second part of the study, postoperative abnormalities in signal intensity and diameter of the inferior alveolar nerve in 34 patients were examined in the so-called 3D STIR sequence for correlation with clinical symptoms of neurological dysfunction in terms of hypoesthesia or anesthesia in the area of the chin and lower lip on the fracture side. A significant increase in signal intensity and diameter of the neurovascular bundle proximal to the fracture was observed compared to the healthy side. However, a significant correlation between signal intensity or diameter and the presence of subjective, clinically manifest hypoesthesia could not be demonstrated.

6. Referenzen

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dermatome des N. trigeminus im Gesichtsbereich mit besonderer Berücksichtigung der kutanen terminalen Äste des N. mandibularis, Abbildung angelehnt an Rohkamm et al. (2021).....	10
Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines peripheren Nerven, angelehnt an Schünke et al. (2018).....	11
Abbildung 3: Verlauf des Nervus alveolaris inferior innerhalb des Mandibularknochens mit möglichen Frakturlinien mit Beteiligung des Canalis mandibulae, angelehnt an Boffano et al. (2014).....	12
Abbildung 4: Ausschlusskriterien für das Studienkollektiv.....	24
Abbildung 5: Vermessung der durch den Patienten angegebenen maximalen Höhe (A) und Breite (B) des hypästhetischen Areals. Die roten Punkte markieren die Grenzen des subjektiv auffälligen Bereiches.....	26
Abbildung 6: Messung der Zwei-Punkt-Diskrimination im Zentrum des hypästhetischen Areals mit den zwei Spitzen eines Zirkels (A) Übertragung der gemessenen Distanz auf ein Lineal (B).....	27
Abbildung 7: Untersuchung der Spitz-Stumpf-Diskrimination durch drucklose Berührungen mit der stumpfen (A) und spitzen (B) Seite einer zahnärztlichen Sonde.....	28
Abbildung 8: 16-Kanal d-Stream Kopfspule (A) und MRT-Scanner Ingenia Elition (B) von Philips (Amsterdam, Niederlande) im Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München.....	30
Abbildung 9: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit linksseitiger Kieferwinkelfraktur (jeweils unten rechts im Bild) in der axialen Schicht.....	33
Abbildung 10: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit linksseitiger Kieferwinkelfraktur in der sagittalen Schicht.....	33

Abbildung 11: CT-Aufnahme (A) und MRT-Aufnahme in der 3D T1 FFE-Sequenz (B) eines Patienten mit rechtsseitiger, dislozierter Kieferwinkelfraktur in der coronalen Schicht. Die maximale Dislokation des lateralen Randes der Kortikalis wurde in beiden Aufnahmen vermessen.....	34
Abbildung 12: MRT-Aufnahme einer rechtsseitigen dislozierten Kieferwinkelfraktur in der 3D STIR-Sequenz. Region of Interest (ROI), Standardabweichung (SD) und Nervendurchmesser wurden ermittelt.....	35
Abbildung 13: Patientenanzahl und Ausschlusskriterien für das Kollektiv „CT versus MRT“.	39
Abbildung 14: Patientenanzahl und Ausschlusskriterien für das Kollektiv „Postoperative Hypästhesie“	40
Abbildung 15: Häufigkeiten der Kriterien für den Ausschluss vom Studienkollektiv.....	41
Abbildung 16: Ätiologie der in der Studie betrachteten Unterkieferfrakturen mit Nervenbeteiligung	41
Abbildung 17: Alters- und Geschlechterverteilung der Studienpopulation	42
Abbildung 18: Lokalisation und Seite der in der Studie betrachteten Frakturen mit Nervenbeteiligung.....	43
Abbildung 19: Anteil subjektiver Hypästhesien auf der Frakturseite zu den Messzeitpunkten T0 (posttraumatische Untersuchung), T1 (erste postoperative Untersuchung) und T2 (zweite postoperative Untersuchung).....	44
Abbildung 20: Verteilung der Ergebnisse für die Zwei-Punkt-Diskrimination auf der Frakturseite zu den Messzeitpunkten T0 (posttraumatische Untersuchung), T1 (erste postoperative Untersuchung) und T2 (zweite postoperative Untersuchung)..	45
Abbildung 21: Bland-Altman-Test zum Vergleich der Messdifferenzen für die Dislokation der lateralen Kortikalis im MRT und CT in der axial (A) und in der coronalen (B) Schicht. Auf der x-Achse ist der Mittelwert der im CT und MRT gemessenen Wertepaare für die Frakturdislokation (in mm), auf der y-Achse die Differenz der Messwertepaare zwischen MRT und CT (in mm) aufgetragen.....	48
Abbildung 22: Grafische Darstellung des Wilcoxon-Tests für verbundene Stichproben zum Vergleich der Messdifferenzen des proximal gemessenen	

Nervendurchmessers (A) und der proximal gemessenen Signalintensität (B) zwischen der gesunden Seite und der Frakturseite.....	50
Abbildung 23: Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben zur Untersuchung von Differenzen zwischen den Signalintensitäten (SI) bei Frakturen mit und ohne klinische Hypästhesien an der proximalen (A) und distalen (B) Messstelle	50
Abbildung 24: Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben zur Untersuchung von Differenzen zwischen den Werten für den Nervendurchmesser bei Frakturen mit und ohne mit klinische Hypästhesien an der proximalen (A) und distalen (B) Messstelle	52

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufnahmeparameter der im Rahmen der Frakturdiagnostik angefertigten CT- Bilder.....	29
Tabelle 2: Aufnahmeparameter der im Rahmen der Frakturdiagnostik angefertigten DVT- Bilder.....	29
Tabelle 3: Sequenzparameter der 3D STIR-Sequenz.....	31
Tabelle 4: Sequenzparameter der 3D T1 FFE „Black Bone“-Sequenz.....	32
Tabelle 5: Differenzen zwischen den in der MRT und CT gemessenen Werten für die Dislokationen im Einstichproben-T-Test	47
Tabelle 6: Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben für die proximale Signalintensität auf der gesunden Seite verglichen mit der Frakturseite	49
Tabelle 7: Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung von Unterschieden in der Signalintensität (SI), Nervendurchmesser (DM), aSNR und aNMCNR auf der Frakturseite proximal bei Vorhandensein einer Hypästhesie.....	51

Tabelle 8:	Mann-Whitney-U-Test zur Überprüfung von Unterschieden in der Signalintensität (SI), Nervendurchmesser (DM), aSNR und aNMCNR auf der Frakturseite distal bei Vorhandensein einer Hypästhesie.....	52
Tabelle 9:	Korrelationskoeffizient nach Spearman für die Werte der Signalintensität (SI) an den proximalen und distalen Messpunkten.....	53
Tabelle 10:	Korrelationskoeffizient nach Spearman für die Werte der aNMCNR an den proximalen und distalen Messpunkten.....	53

6.3. Literaturverzeichnis

Akal, Ü. K., Sayan, N. B., Aydoğan, S. und Yaman, Z. (2000). "Evaluation of the neurosensory deficiencies of oral and maxillofacial region following surgery." International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **29**(5): 331-336. 10.1016/S0901-5027(00)80046-6

Al-Haj Husain, A., Schöneegg, D., Valdec, S., Stadlinger, B., Gander, T., Essig, H., Piccirelli, M. und Winklhofer, S. (2022). "Visualization of Inferior Alveolar and Lingual Nerve Pathology by 3D Double-Echo Steady-State MRI: Two Case Reports with Literature Review." J Imaging **8**(3). 10.3390/jimaging8030075

Al-Haj Husain, A., Solomons, M., Stadlinger, B., Pejicic, R., Winklhofer, S., Piccirelli, M. und Valdec, S. (2021). "Visualization of the Inferior Alveolar Nerve and Lingual Nerve Using MRI in Oral and Maxillofacial Surgery: A Systematic Review." Diagnostics **11**(9): 1657.

Al-Okshi, A., Lindh, C., Salé, H., Gunnarsson, M. und Rohlin, M. (2015). "Effective dose of cone beam CT (CBCT) of the facial skeleton: a systematic review." The British journal of radiology **88**(1045): 20140658-20140658. 10.1259/bjr.20140658

Allareddy, V., Allareddy, V. und Nalliah, R. P. (2011). "Epidemiology of Facial Fracture Injuries." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **69**(10): 2613-2618. 10.1016/j.joms.2011.02.057

Antony, P. G., Sebastian, A., Varghese, K. G., Sobhana, C. R., Mohan, S., Soumithran, C. S., Domic, S. und Jayakumar, N. (2017). "Neurosensory evaluation of inferior alveolar nerve after bilateral sagittal split ramus osteotomy of mandible." Journal of oral biology and craniofacial research **7**(2): 81-88. 10.1016/j.jobcr.2017.03.004

Baliga, S. D., Bose, A. und Jain, S. (2014). "The evaluation of efficacy of post-operative antibiotics in the open reduction of the zygomatic and mandibular fracture: a prospective trial." Journal of maxillofacial and oral surgery **13**(2): 165-175. 10.1007/s12663-013-0492-9

Bathla, G. und Hegde, A. N. (2013). "The trigeminal nerve: an illustrated review of its imaging anatomy and pathology." Clin Radiol **68**(2): 203-213. 10.1016/j.crad.2012.05.019

Bede, S. Y. H., Ismael, W. K., Al-Assaf, D. A. und Omer, S. S. (2012). "Inferior Alveolar Nerve Injuries Associated With Mandibular Fractures." Journal of Craniofacial Surgery **23**(6): 1776-1778. 10.1097/SCS.0b013e318266fda3

Belden, C. J. und Zinreich, S. J. (1997). "Orbital imaging techniques." Seminars in Ultrasound, CT and MRI **18**(6): 413-422. 10.1016/S0887-2171(97)90003-2

Bhat, P. und Cariappa, K. M. (2012). "Inferior alveolar nerve deficits and recovery following surgical removal of impacted mandibular third molars." Journal of maxillofacial and oral surgery **11**(3): 304-308. 10.1007/s12663-012-0335-0

Bland, J. M. und Altman, D. G. (1986). "Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement." Lancet **1**(8476): 307-310.

Boffano, P., Roccia, F., Gallesio, C., Karagozoglu, K. und Forouzanfar, T. (2014). "Inferior alveolar nerve injuries associated with mandibular fractures at risk: a two-center retrospective study." Craniomaxillofacial trauma & reconstruction **7**(4): 280-283. 10.1055/s-0034-1375169

Borges, A. und Casselman, J. (2010). "Imaging the trigeminal nerve." European Journal of Radiology **74**(2): 323-340. 10.1016/j.ejrad.2010.02.006

Bundesärztekammer (2000). "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung der Magnet-Resonanz-Tomographie." Deutsches Ärzteblatt **97**(39): A2557-A2568.

Burian, E., Probst, F. A., Weidlich, D., Cornelius, C. P., Maier, L., Robl, T., Zimmer, C., Karampinos, D. C., Ritschl, L. M. und Probst, M. (2020a). "MRI of the inferior alveolar nerve and lingual nerve-anatomical variation and morphometric benchmark values of nerve diameters in healthy subjects." Clin Oral Investig **24**(8): 2625-2634. 10.1007/s00784-019-03120-7

Burian, E., Sollmann, N., Ritschl, L. M., Palla, B., Maier, L., Zimmer, C., Probst, F., Fichter, A., Miloro, M. und Probst, M. (2020b). "High resolution MRI for quantitative assessment of inferior alveolar nerve impairment in course of mandible fractures: an imaging feasibility study." Sci Rep **10**(1): 11566. 10.1038/s41598-020-68501-5

Campbell, R. L., Shamaskin, R. G. und Harkins, S. W. (1987). "Assessment of recovery from injury to inferior alveolar and mental nerves." Oral Surg Oral Med Oral Pathol **64**(5): 519-526. 10.1016/0030-4220(87)90024-7

Cassetta, M., Pranno, N., Barchetti, F., Sorrentino, V. und Lo Mele, L. (2014). "3.0 Tesla MRI in the early evaluation of inferior alveolar nerve neurological complications after mandibular third molar extraction: a prospective study." Dentomaxillofacial Radiology **43**(7): 20140152. 10.1259/dmfr.20140152

Champy, M., Loddé, J. P., Schmitt, R., Jaeger, J. H. und Muster, D. (1978). "Mandibular osteosynthesis by miniature screwed plates via a buccal approach." Journal of Maxillofacial Surgery **6**: 14-21. 10.1016/S0301-0503(78)80062-9

Chandan, N. S., Shetty, S. K., Shetty, S. K. und Shah, A. K. (2021). "Inferior alveolar nerve dysfunction in mandibular fractures: a prospective cohort study." Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons **47**(3): 183-189. 10.5125/jkaoms.2021.47.3.183

Charalambous, C., Dunning, J., Omorphos, S., Cleanthous, S., Begum, P. und Mackway-Jones, K. (2005). "A maximally sensitive clinical decision rule to reduce the need for radiography in mandibular trauma." Annals of the Royal College of Surgeons of England **87**(4): 259-263. 10.1308/1478708051810

Cho, S. B., Baek, H. J., Ryu, K. H., Choi, B. H., Moon, J. I., Kim, T. B., Kim, S. K., Park, H. und Hwang, M. J. (2019). "Clinical Feasibility of Zero TE Skull MRI in Patients with Head Trauma in Comparison with CT: A Single-Center Study." AJNR Am J Neuroradiol **40**(1): 109-115. 10.3174/ajnr.A5916

de Oliveira-Santos, C., Souza, P. H. C., de Azambuja Berti-Couto, S., Stinkens, L., Moyaert, K., Rubira-Bullen, I. R. F. und Jacobs, R. (2012). "Assessment of variations of the mandibular canal through cone beam computed tomography." Clinical Oral Investigations **16**(2): 387-393. 10.1007/s00784-011-0544-9

Detterbeck, A., Hofmeister, M., Hofmann, E., Haddad, D., Weber, D., Holzinger, A., Zabler, S., Schmid, M., Hiller, K. H., Jakob, P., Engel, J., Hiller, J. und Hirschfelder, U. (2016). "MRI vs. CT for orthodontic applications: comparison of two MRI protocols and three CT (multislice, cone-beam, industrial) technologies." J Orofac Orthop **77**(4): 251-261. 10.1007/s00056-016-0028-2

Dremmen, M. H. G., Wagner, M. W., Bosemani, T., Tekes, A., Agostino, D., Day, E., Soares, B. P. und Huisman, T. (2017). "Does the Addition of a "Black Bone" Sequence to a Fast Multisequence Trauma MR Protocol Allow MRI to Replace CT after Traumatic Brain Injury in Children?" AJNR Am J Neuroradiol **38**(11): 2187-2192. 10.3174/ajnr.A5405

Eley, K. A., McIntyre, A. G., Watt-Smith, S. R. und Golding, S. J. (2012a). ""Black bone" MRI: a partial flip angle technique for radiation reduction in craniofacial imaging." The British journal of radiology **85**(1011): 272-278. 10.1259/bjr/95110289

Eley, K. A., Watt-Smith, S. R. und Golding, S. J. (2012b). ""Black bone" MRI: a potential alternative to CT when imaging the head and neck: report of eight clinical cases and review of the Oxford experience." The British journal of radiology **85**(1019): 1457-1464. 10.1259/bjr/16830245

European Commission (2012). Radiation protection: no 172, cone beam CT for dental and maxillofacial radiology (evidence-based guidelines), Head of Radiation Protection Unit Luxembourg.

Feuerriegel, G. C., Burian, E., Sollmann, N., Leonhardt, Y., Burian, G., Griesbauer, M., Bumm, C., Makowski, M. R., Probst, M., Probst, F. A., Karampinos, D. C. und Folwaczny, M. (2023). "Evaluation of 3D MRI for early detection of bone edema associated with apical periodontitis." Clin Oral Investig **27**(9): 5403-5412. 10.1007/s00784-023-05159-z

Fridrich, K. L., Pena-Velasco, G. und Olson, R. A. J. (1992). "Changing trends with mandibular fractures: A review of 1,067 cases." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **50**(6): 586-589. 10.1016/0278-2391(92)90438-6

Ganau, M., Syrmos, N. C. und Magdum, S. A. (2022). "Imaging in Craniofacial Disorders With Special Emphasis on Gradient Echo Black-Bone and Zero Time Echo MRI Sequences." J Pediatr Neurosci **17**(Suppl 1): S14-s20. 10.4103/jpn.JPN_46_22

Gersing, A. S., Pfeiffer, D., Kopp, F. K., Schwaiger, B. J., Knebel, C., Haller, B., Noël, P. B., Settles, M., Rummeny, E. J. und Woertler, K. (2019). "Evaluation of MR-derived CT-like images and simulated radiographs compared to conventional radiography in patients with benign and malignant bone tumors." European Radiology **29**(1): 13-21. 10.1007/s00330-018-5450-y

Ghosh, R. und Gopalkrishnan, K. (2018). "Facial Fractures." J Craniofac Surg **29**(4): e334-e340. 10.1097/scs.0000000000004269

Gómez Roselló, E., Quiles Granado, A. M., Artajona Garcia, M., Juanpere Martí, S., Laguillo Sala, G., Beltrán Mármol, B. und Pedraza Gutiérrez, S. (2020). "Facial fractures: classification and highlights for a useful report." Insights into imaging **11**(1): 49-49. 10.1186/s13244-020-00847-w

Halpern, L. R., Kaban, L. B. und Dodson, T. B. (2004). "Perioperative neurosensory changes associated with treatment of mandibular fractures." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **62**(5): 576-581. 10.1016/j.joms.2003.12.006

Haubro, M., Stougaard, C., Torfing, T. und Overgaard, S. (2015). "Sensitivity and specificity of CT- and MRI-scanning in evaluation of occult fracture of the proximal femur." Injury **46**(8): 1557-1561. 10.1016/j.injury.2015.05.006

Hilgenfeld, T., Juerchott, A., Jende, J. M. E., Rammelsberg, P., Heiland, S., Bendszus, M. und Schwindling, F. S. (2020). "Use of dental MRI for radiation-free guided dental implant planning: a prospective, in vivo study of accuracy and reliability." Eur Radiol **30**(12): 6392-6401. 10.1007/s00330-020-07262-1

Hooper, T., Eccles, G., Milliken, T., Mathieu-Burry, J. R. und Reed, W. (2019). "Dose reduction in CT imaging for facial bone trauma in adults: A narrative literature review." J Med Radiat Sci **66**(2): 122-132. 10.1002/jmrs.319

Hoving, A. M., Kraeima, J., Schepers, R. H., Dijkstra, H., Potze, J. H., Dorgelo, B. und Witjes, M. J. H. (2018). "Optimisation of three-dimensional lower jaw resection margin planning using a novel Black Bone magnetic resonance imaging protocol." PLoS One **13**(4): e0196059. 10.1371/journal.pone.0196059

ICRP (2007). "ICRP publication 103." Ann ICRP **37**(2.4): 131-131.

Iizuka, T. und Lindqvist, C. (1991). "Sensory disturbances associated with rigid internal fixation of mandibular fractures." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **49**(12): 1264-1268. 10.1016/0278-2391(91)90301-2

IMV Medical Information Division (2008). "CT Census Database and Market Summary Report."

Juodzbaly, G., Wang, H.-L. und Sabalys, G. (2011). "Injury of the Inferior Alveolar Nerve during Implant Placement: a Literature Review." Journal of oral & maxillofacial research **2**(1): e1-e1. 10.5037/jomr.2011.2101

Kaepler, G., Cornelius, C.-P., Ehrenfeld, M. und Mast, G. (2013). "Diagnostic efficacy of cone-beam computed tomography for mandibular fractures." Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology **116**(1): 98-104. 10.1016/j.oooo.2013.04.004

Kiening, K.-L., Unterberg, A. und Thomale, U. W. (2004). Traumatologie des Kopf-Hals-Bereichs. Stuttgart, Thieme. 189-191.

Klingelhöfer, J. und Bischoff, C. (2015a). 2 - Ärztliche Arbeitstechniken und diagnostische Verfahren. Klinikleitfaden Neurologie (Fünfte Ausgabe). Klingelhofer, J. and Berthele, A. Munich, Urban & Fischer: 35-94.

Klingelhöfer, J., Rege, S. und Näher-Noé, M. (2015b). 3 - Neurologische Leitsymptome. Klinikleitfaden Neurologie (Fünfte Ausgabe). Klingelhofer, J. and Berthele, A. Munich, Urban & Fischer: 152-154.

Klingelhöfer, J., Rege, S. und Näher-Noé, M. (2015c). 3 - Neurologische Leitsymptome. Klinikleitfaden Neurologie (Fünfte Ausgabe). Klingelhofer, J. and Berthele, A. Munich, Urban & Fischer: 95-163.

Klupp, E., Cervantes, B., Sollmann, N., Treibel, F., Weidlich, D., Baum, T., Rummeny, E. J., Zimmer, C., Kirschke, J. S. und Karampinos, D. C. (2019). "Improved Brachial Plexus Visualization Using an Adiabatic iMSDE-Prepared STIR 3D TSE." Clinical Neuroradiology **29**(4): 631-638. 10.1007/s00062-018-0706-0

Kremers, C. (2017). Magnetresonanztomographie (MRT). Basiswissen Radiologie: Nuklearmedizin und Strahlentherapie. Kahl-Scholz, M. and Vockelmann, C. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 55-70.

Kress, B., Gottschalk, A., Stippich, C., Palm, F., Bähren, W. und Sartor, K. (2003). "MR imaging of traumatic lesions of the inferior alveolar nerve in patients with fractures of the mandible." AJNR Am J Neuroradiol **24**(8): 1635-1638.

Kress, B., Rasche, D., Fiebach, J., Tronnier, V., Sartor, K. und Stippich, C. (2004). "MR volumetry of the trigeminal nerve in patients with unilateral facial pain." Rofo **176**(5): 719-723. 10.1055/s-2004-812786

Krieger, H. (2019). Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. Heidelberg, Springer Spektrum Berlin. 509-512.

Kushnerev, E. und Yates, J. M. (2015). "Evidence-based outcomes following inferior alveolar and lingual nerve injury and repair: a systematic review." J Oral Rehabil **42**(10): 786-802. 10.1111/joor.12313

Lee, C., Jeon, K. J., Han, S.-S., Kim, Y. H., Choi, Y. J., Lee, A. und Choi, J. H. (2019). "CT-like MRI using the zero-TE technique for osseous changes of the TMJ." Dentomaxillofacial Radiology **49**(3): 20190272. 10.1259/dmfr.20190272

Lee, M. K., Choi, Y., Jang, J., Shin, N. Y., Jung, S. L., Ahn, K. J. und Kim, B. S. (2021). "Identification of the intraparotid facial nerve on MRI: a systematic review and meta-analysis." Eur Radiol **31**(2): 629-639. 10.1007/s00330-020-07222-9

Liney, G. (2006). MRI in Clinical Practice. London, Springer-Verlag London Ltd. 44-45.

Lu, A., Gorny, K. R. und Ho, M. L. (2019). "Zero TE MRI for Craniofacial Bone Imaging." AJNR Am J Neuroradiol **40**(9): 1562-1566. 10.3174/ajnr.A6175

Lüdeke, K. M., Röschmann, P. und Tischler, R. (1985). "Susceptibility artefacts in NMR imaging." Magnetic Resonance Imaging **3**(4): 329-343. 10.1016/0730-725X(85)90397-2

Ludlow, J. B., Timothy, R., Walker, C., Hunter, R., Benavides, E., Samuelson, D. B. und Scheske, M. J. (2015). "Effective dose of dental CBCT-a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units." Dento maxillo facial radiology **44**(1): 20140197-20140197. 10.1259/dmfr.20140197

Mann, H. B. und Whitney, D. R. (1947). "On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other." The Annals of Mathematical Statistics **18**(1): 50-60.
10.1214/aoms/1177730491

Matcuk, G. R., Jr., Mahanty, S. R., Skalski, M. R., Patel, D. B., White, E. A. und Gottsegen, C. J. (2016). "Stress fractures: pathophysiology, clinical presentation, imaging features, and treatment options." Emerg Radiol **23**(4): 365-375. 10.1007/s10140-016-1390-5

Meinck, H. (1993). "Der Kieferöffnungsreflex: Eine neue elektrophysiologische Methode zur objektiven Untersuchung trigeminaler Sensibilitätsstörungen-II. Befunde bei Patienten mit Astläsionen des N. trigeminus." EEG-EMG Zeitschrift für Elektroenzephalographie, Elektromyographie und verwandte Gebiete **24**(03): 147-154.

Menorca, R. M., Fussell, T. S. und Elfar, J. C. (2013). "Nerve physiology: mechanisms of injury and recovery." Hand Clin **29**(3): 317-330. 10.1016/j.hcl.2013.04.002

Moos, K. F. (2002). "Diagnosis of facial bone fractures." Annals of the Royal College of Surgeons of England **84**(6): 429-431. 10.1308/003588402760978265

National Clinical Guideline Centre (2011). National Institute for Health and Clinical Excellence: Guidance. The Management of Hip Fracture in Adults. London, Royal College of Physicians (UK) Copyright © 2011, National Clinical Guideline Centre.

Olate, S., de Assis, A. F., Pozzer, L., Cavalieri-Pereira, L., Asprino, L. und de Moraes, M. (2013). "Pattern and treatment of mandible body fracture." International journal of burns and trauma **3**(3): 164-168.

Patrocínio, L. G., Patrocínio, J. A., Borba, B. H. C., De Santi Bonatti, B., Pinto, L. F., Vieira, J. V. und Costa, J. M. C. (2005). "Mandibular fracture: analysis of 293 patients treated in the

Hospital of Clinics, Federal University of Uberlândia." Brazilian Journal of Otorhinolaryngology **71**(5): 560-565. 10.1016/S1808-8694(15)31257-X

Pauwels, R., Horner, K., Vassileva, J. und Rehani, M. M. (2019). "Thyroid shielding in cone beam computed tomography: recommendations towards appropriate use." Dento maxillo facial radiology **48**(7): 20190014. 10.1259/dmfr.20190014

Peterson, L. J. (1990). "Antibiotic prophylaxis against wound infections in oral and maxillofacial surgery." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **48**(6): 617-620. 10.1016/S0278-2391(10)80477-X

Pompa, V., Galasso, S., Cassetta, M., Pompa, G., De Angelis, F. und Di Carlo, S. (2010). "A comparative study of magnetic resonance (MR) and computed tomography (CT) in the pre-implant evaluation." Annali di stomatologia **1**(3-4): 33-38.

Probst, F. A., Schweiger, J., Stumbaum, M. J., Karampinos, D., Burian, E. und Probst, M. (2020). "Magnetic resonance imaging based computer-guided dental implant surgery—A clinical pilot study." Clinical Implant Dentistry and Related Research **22**(5): 612-621. 10.1111/cid.12939

Probst, M., Burian, E., Robl, T., Weidlich, D., Karampinos, D., Brunner, T., Zimmer, C., Probst, F. A. und Folwaczny, M. (2021). "Magnetic resonance imaging as a diagnostic tool for periodontal disease: A prospective study with correlation to standard clinical findings-Is there added value?" J Clin Periodontol **48**(7): 929-948. 10.1111/jcpe.13458

Probst, M., Koerdts, S., Ritschl, L. M., Bissinger, O., Liesche, F., Gempt, J., Meyer, B., Burian, E., Lummel, N. und Kolk, A. (2018). "Malignant Peripheral Nerve Sheath Tumor in the Course of the Mandibular Nerve." World Neurosurg **117**: e130-e137. 10.1016/j.wneu.2018.05.203

Probst, M., Richter, V., Weitz, J., Kirschke, J. S., Ganter, C., Troeltzsch, M., Nittka, M., Cornelius, C.-P., Zimmer, C. und Probst, F. A. (2017). "Magnetic resonance imaging of the inferior alveolar nerve with special regard to metal artifact reduction." Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery **45**(4): 558-569. 10.1016/j.jcms.2017.01.009

Rasse, M. (2014). Spezielle Traumatologie. Traumatologie des Mund-, Kiefer-, Gesichtsbereichs. Hausamen, J.-E., Machtens, E., Reuther, J. F., Eufinger, H., Kübler, A. and Schliephake, H. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 59-63.

Reith, W. (2011a). Magnetresonanztomographie. Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Vogl, T. J., Reith, W. and Rummeny, E. J. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 421.

Reith, W. (2011b). Strahlenbiologie und Strahlenschutz. Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Vogl, T. J., Reith, W. and Rummeny, E. J. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 11-19.

Renzi, G., Carboni, A., Perugini, M., Giovannetti, F. und Becelli, R. (2004). "Posttraumatic trigeminal nerve impairment: A prospective analysis of recovery patterns in a series of 103 consecutive facial fractures." Journal of Oral and Maxillofacial Surgery **62**(11): 1341-1346. 10.1016/j.joms.2004.05.212

Rohkamm, R., Kermer, P., Gawehn, A. und Kaste, M. (2021). Anlassbezogene neurologische Untersuchung. Die neurologische Untersuchung: Schneller Überblick – spezielle Fragestellungen. Kermer, P. and Rohkamm, R. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 194-204.

Röntgengesellschaft, D. (2020). Radiologische Diagnostik im Kopf-Hals-Bereich, Deutsche Röntgengesellschaft. **2**: 14-18.

Rubin, D. A., Roberts, C. C., Bencardino, J. T., Bell, A. M., Cassidy, R. C., Chang, E. Y., Gyftopoulos, S., Metter, D. F., Morrison, W. B., Subhas, N., Tambar, S., Towers, J. D., Yu, J. S. und Kransdorf, M. J. (2018). "ACR Appropriateness Criteria® Chronic Wrist Pain." Journal of the American College of Radiology **15**(5, Supplement): S39-S55. 10.1016/j.jacr.2018.03.021

Saarikko, A., Mellanen, E., Kuusela, L., Leikola, J., Karppinen, A., Autti, T., Virtanen, P. und Brandstack, N. (2020). "Comparison of Black Bone MRI and 3D-CT in the preoperative evaluation of patients with craniosynostosis." J Plast Reconstr Aesthet Surg **73**(4): 723-731. 10.1016/j.bjps.2019.11.006

Schultze-Mosgau, S., Erbe, M., Rudolph, D., Ott, R. und Neukam, F. W. (1999). "Prospective study on post-traumatic and postoperative sensory disturbances of the inferior alveolar nerve and infraorbital nerve in mandibular and midfacial fractures." Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery **27**(2): 86-93. 10.1016/S1010-5182(99)80019-5

Sievers, K. W., Greess, H., Baum, U., Dobritz, M. und Lenz, M. (2000). "Paranasal sinuses and nasopharynx CT and MRI." European Journal of Radiology **33**(3): 185-202. 10.1016/S0720-048X(99)00142-4

Singh, R. K., Pal, U. S., Singh, P. und Singh, G. (2016). "Role of fixation in posttraumatic nerve injury recovery in displaced mandibular angle fracture." National journal of maxillofacial surgery **7**(1): 29-32. 10.4103/0975-5950.196132

Smith-Bindman, R., Lipson, J., Marcus, R., Kim, K.-P., Mahesh, M., Gould, R., Berrington de González, A. und Miglioretti, D. L. (2009). "Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer." Archives of internal medicine **169**(22): 2078-2086. 10.1001/archinternmed.2009.427

Soldati, E., Rossi, F., Vicente, J., Guenoun, D., Pithioux, M., Iotti, S., Malucelli, E. und Bendahan, D. (2021). "Survey of MRI Usefulness for the Clinical Assessment of Bone Microstructure." International journal of molecular sciences **22**(5): 2509. 10.3390/ijms22052509

Spearman, C. (1904). "The Proof and Measurement of Association between Two Things." The American Journal of Psychology **15**(1): 72-101. 10.2307/1412159

Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, N. u. R. (2006). Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen. Bundesministerium für Umwelt, N. u. R. Bonn.

Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, N. u. R. (2019). Orientierungshilfe für bildgebende Untersuchungen. Bundesministerium für Umwelt, N. u. R.

Sunderland, S. (1951). "A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function." Brain **74**(4): 491-516. 10.1093/brain/74.4.491

Sunderland, S. (1970). "Anatomical features of nerve trunks in relation to nerve injury and nerve repair." Clin Neurosurg **17**: 38-62. 10.1093/neurosurgery/17.cn_suppl_1.38

Tay, A. B., Lai, J. B., Lye, K. W., Wong, W. Y., Nadkarni, N. V., Li, W. und Bautista, D. (2015). "Inferior Alveolar Nerve Injury in Trauma-Induced Mandible Fractures." J Oral Maxillofac Surg **73**(7): 1328-1340. 10.1016/j.joms.2015.02.003

Terumitsu, M., Matsuzawa, H., Seo, K., Watanabe, M., Kurata, S., Suda, A. und Nakada, T. (2017). "High-contrast high-resolution imaging of posttraumatic mandibular nerve by 3D-AC-PROPELLER magnetic resonance imaging: correlation with the severity of sensory disturbance." Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol **124**(1): 85-94. 10.1016/j.oooo.2017.02.017

Thapliyal, G. K., Sinha, R., Menon, P. S. und Chakranarayan, A. (2008). "Management of Mandibular Fractures." Medical journal, Armed Forces India **64**(3): 218-220. 10.1016/S0377-1237(08)80096-2

Thurmüller, P., Dodson, T. B. und Kaban, L. B. (2001). "Nerve Injuries Associated with Facial Trauma: Natural History, Management, and Outcomes of Repair." Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America **13**(2): 283-293. 10.1016/S1042-3699(20)30144-8

Tibrewal, S., Jayakumar, P., Vaidya, S. und Ang, S. C. (2012). "Role of MRI in the diagnosis and management of patients with clinical scaphoid fracture." Int Orthop **36**(1): 107-110. 10.1007/s00264-011-1350-3

Unterberg, A. und Kiening, K. L. (2016). Schädel- und Hirntraumen. Neurologie. Hacke, W. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 667-669.

Vriens, J. P. und Moos, K. F. (1995). "Morbidity of the infraorbital nerve following orbitozygomatic complex fractures." J Craniomaxillofac Surg **23**(6): 363-368. 10.1016/S1010-5182(05)80131-3

Weckx, A., Agbaje, J. O., Sun, Y., Jacobs, R. und Politis, C. (2016). "Visualization techniques of the inferior alveolar nerve (IAN): a narrative review." Surgical and radiologic anatomy : SRA **38**(1): 55-63. 10.1007/s00276-015-1510-z

Weishaupt, D., Köchli, V. D. und Marincek, B. (2008). How Does MRI Work? Berlin, Heidelberg, Springer. 52-52.

Wilcoxon, F. (1945). "Individual Comparisons by Ranking Methods." Biometrics Bulletin **1**(6): 80-83. 10.2307/3001968

Won, S.-Y., Kim, H.-K., Kim, M.-E. und Kim, K.-S. (2017). "Two-point discrimination values vary depending on test site, sex and test modality in the orofacial region: a preliminary study." Journal of applied oral science : revista FOB **25**(4): 427-435.

10.1590/1678-7757-2016-0462

Yadav, S., Mittal, H. C., Malik, S., Dhupar, V., Sachdeva, A., Malhotra, V. und Singh, G. (2016). "Post-traumatic and postoperative neurosensory deficits of the inferior alveolar nerve in mandibular fracture: a prospective study." Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons **42**(5): 259-264. 10.5125/jkaoms.2016.42.5.259

7. Anhänge

7.1. Ethikvotum

Unser Zeichen: **432/18 S**

Ethikkommission an der Technischen Universität München
Ismaninger Str. 22 • 81675 München • Germany

Klinikum rechts der Isar
Technische Universität München
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Dr. med. Dr. med. dent. Lucas Ritschl
Ismaninger Str. 22
81675 München

cc: Dr. med. Monika Probst (per E-Mail)

München, 10.01.2019/AS

Unser Zeichen: **432/18 5-AS** (bitte bei Schriftwechsel angeben)
Tel. Durchwahl: -4371

Beratung nach § 15 Berufsordnung für Ärzte in Bayern

Studientitel: Optimierte Nervendarstellung peripherer Trigeminusäste zur Beurteilung und Vorhersage von Nervenschädigungen durch traumatische Ereignisse mit neuartigen MRT-Sequenzen
Antragsteller: Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Dr. med. Dr. med. dent. Lucas Ritschl, Ismaninger Str. 22, 81675 München

Sehr geehrter Herr Dr. Ritschl,

die Ethikkommission hat Ihren Antrag vom 06.10.2018 auf der Basis der vorgelegten Unterlagen geprüft.

Die Ethikkommission erhebt keine Einwände gegen die Durchführung der Studie.

Folgender Hinweise ist allerdings zu beachten:
Da die Fakultät laut Ihrer Patienteninformation als juristische Person die Funktion des für die Datenverarbeitung Verantwortlichen übernehmen soll, informieren Sie bitte das Dekanat per E-Mail (dekanat.medizin@tum.de) unter Angabe des Studientitels, des Studienleiters und seiner Affiliation. Das Dekanat bestätigt Ihnen und der Ethikkommission dann die Kenntnisnahme.

Die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung dieser Studie verbleibt bei Ihnen. Änderungen des Protokolls sind zur erneuten Prüfung einzureichen. Das Studierende ist anzuzeigen und ein Kurzbericht über das Ergebnis der Studie ist vorzulegen. Die Ethikkommission empfiehlt die Eintragung des Forschungsprojektes in ein WHO-anerkanntes Register.



ät München



Ethikkommission

Prof. Dr. Georg Schmidt
Vorsitzender

Prof. Dr. Kurt Ulm
Stellvertretender Vorsitzender

Ismaninger Str. 22
81675 München Germany

Tel: 089 4140-4371
Fax: 089 4140-4199

ethikkommission@mri.tum.de
www.ek.med.tum.de

Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur kursorisch geprüft. Dieses Votum / diese Bewertung ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen betrieblichen oder behördlichen Datenschutzbeauftragten.

Mit freundlichen Grüßen

A black rectangular redaction box covering the signature of the chair of the ethics committee.

Prof. Dr. Georg Schmidt
Vorsitzender der Ethikkommission

Unser Zeichen: **432/18 S**

vorgelegte Unterlagen:

Antrag vom 06.10.2018

Anschreiben, 03.10.2018 Antragsformular

Information für Studienteilnehmer Proband Information für Studienteilnehmer Patient

Einverständniserklärung Aufklärungsbogen MRT

Studienprotokoll Version 1, 03.10.2018 Zustimmung Klinikdirektor MKG, 05.10.2018

Zustimmung Klinikdirektor Neuroradiologie, 24.08.2018

revidierte Unterlagen vom 09.12.2018; Eingang 10.12.2018 Anschreiben 09.12.2018

Protokoll Version 2, 07.12.2018

Revidierte Unterlagen vom 22.12.2018; Eingang 27.12.2018 Anschreiben 22.12.2018

Studieninformation Patienten Unterkieferfraktur prospektiv_20181222 highlighted und clean

Ethikkommission_Studienprotokolle-prospektiv_MRT Nervendarstellung_20181222
highlighted und clean

7.2. Information für Studienteilnehmer



„Optimierte Nervendarstellung peripherer Trigeminusäste zur Beurteilung und Vorhersage von Nervenschädigungen durch traumatische Ereignisse mit neuartigen MRT-Sequenzen“



Liebe Patientin,
Lieber Patient,

Sie werden in unserer Klinik demnächst aufgrund ihrer Fraktur operativ versorgt.

Aufgrund neuer Erkenntnisse führen wir in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie eine Studie durch, in welcher periphere Nerven im Gesichtsbereich mittels Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) dargestellt werden.

Ziel der Studie

Nerven in Kiefer und Mittelgesicht werden im Rahmen traumatischer Ereignisse häufig in Mitleidenschaft gezogen. Als Folge können vorübergehende oder bleibenden Gefühlsstörungen bis hin zu funktionellen Einschränkungen auftreten. Ziel dieser Studie ist es, eine diagnostische Möglichkeit zu entwickeln, welche eine potentielle Nervenschädigung schon früh erkennt, Handlungsmöglichkeiten aufzeigt und eine Aussage über die Prognose zulässt. Idealerweise könnten durch dieses Wissen klarere Aussagen zur Prognose vorhandener Nervenschäden getroffen werden und unnötige Operationen vermieden werden. Hierzu ist die MRT die Methode der Wahl, da sie in allen Bereichen des Körpers als Goldstandard zur Darstellung von Weichgewebe, insbesondere von Nerven gilt. Zudem handelt es sich hierbei um ein diagnostisches Verfahren, mit dem keine Strahlenbelastung für Sie verbunden ist.

Aufwand bei Studienteilnahme

Der zeitliche Aufwand für die Untersuchungen beträgt ca. 30 Minuten. Ein separater Informations- und Aufklärungsbogen über die MRT-Untersuchung liegt dieser Patienteninformation bei. Diesen Informations- und Aufklärungsbogen wird ein Arzt mit Ihnen durchsprechen.

**Klinikum rechts der Isar
Anstalt des öffentlichen Rechts**

**Klinik und Poliklinik für
Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie**

Mitglied des Roman-Herzog-
Krebszentrums (RHCCC)

Univ.-Prof. Dr. Dr. K.-D. Wolff
Direktor

Chefsekretariat
Anna Liegsalz
Ismaninger Straße 22
81675 München
E-Mail: anna.liegsalz@tum.de
Tel: 089 4140-2921
Fax: 089 4140-4993
www.mri.tum.de

Sprechstunden:
Poliklinik Mo-Fr. 8:30 – 12:00 Uhr
Tel. 089-4140-2929
Privatsprechstunde n. Vereinbarung
Tel. 089-4140-2921
Spezialsprechstunden:
Kopf-Hals-Tumoren
Plast. Rekonstr. Gesichtschirurgie
Lippen-Kiefer-Gaumenspalten
Kraniofaziale Fehlbildungen
Ästhetische Chirurgie
Gesichtstraumatologie
Kieferfehlstellungen (Dysgnathien)
Kiefergelenkerkrankungen
Tumornachsorge
Osteochemo-/Osteoradionekrose
Zahnärztliche Implantologie

Vorstand:
Univ.-Prof. Dr. Markus Schwaiger
(Ärztlicher Direktor)
Markus Zendler
(Kaufmännischer Direktor)
Robert Jeske
(Pflegedirektor)
Univ.-Prof. Dr. Peter Henningsen
(Dekan)

Bankverbindung:
Bayer. Landesbank Girozentrale
Kto-Nr. 20 272
BLZ 700 500 00

BIC: BYLADEMM
IBAN: DE82 7005 0000 0000 0202 72
USt-IdNr. DE 129 52 3996

Welches sind die Risiken dieser Studie?

In dieser Studie werden keine risikobehafteten Untersuchungen durchgeführt, es handelt sich um eine wissenschaftliche Studie zu Forschungszwecken. In der MRT werden keine Röntgenstrahlen eingesetzt. Der Einsatz von Kontrastmitteln ist nicht notwendig. Es kann jedoch sein, dass im Rahmen dieser Untersuchung Auffälligkeiten bzw. Zufallsbefunde erhoben werden (z.B. Tumoren der Kiefer bzw. der Speicheldrüsen, diese stellen ca. 3-5 % der Tumoren im Kopf-Hals- Bereich dar und sind in 2/3 der Fälle gutartig), die weitere diagnostische Untersuchungen und / oder eine Behandlung notwendig machen. Die Erhebung von solchen Zufallsbefunden ist insgesamt sehr selten, bietet dann jedoch die Möglichkeit der Therapie dieser Veränderungen in einem frühen Stadium. Die Entdeckung eines solchen Befundes kann aber auch psychisch belastend sein. Bitte setzen Sie sich im Vorfeld der Studie mit dieser Situation auseinander und klären Sie Fragen im Gespräch mit dem Studienleiter. Unsere Vorgehensweise bei Zufallsbefunden orientiert sich an Richtlinien, die von der Ethikkommission des Klinikums rechts der Isar veröffentlicht wurden. Die Richtlinien sehen vor, dass Sie mit der Teilnahme an dieser Studie zustimmen, dass Ihnen diese Zufallsbefunde in jedem Fall mitgeteilt werden und zu diesem Zweck die Pseudonymisierung aufgehoben wird (Wiederherstellung des Personenbezugs). Ein individueller Verzicht auf solch eine Befundmitteilung ist nicht möglich. Die Entdeckung eines Zufallsbefundes kann eine weitere Diagnostik möglich machen. Daher ist die Studienteilnahme an die Voraussetzung gebunden, dass bei Ihnen ein ausreichender Krankenversicherungsschutz besteht. Zudem ist die Einwilligung zur Weitergabe der erhobenen Daten an weiterbehandelnde ärztliche Kollegen im Falle eines relevanten Zufallsbefundes Voraussetzung. Bitte beachten Sie auch versicherungsrechtliche Konsequenzen durch Zufallsbefunde, insbesondere gegebenenfalls die Mitteilungspflicht gegenüber privaten Krankenversicherungen oder Lebensversicherungen.

Ergeben sich für Sie Vorteile, wenn Sie dieser Studie zustimmen, bzw. Nachteile, wenn Sie die Teilnahme an dieser Studie ablehnen?

Durch die Zustimmung zu dieser klinischen Studie ergeben sich für Sie keine direkten Vorteile. Die Behandlung wird jedoch allgemein sehr aufmerksam von uns beobachtet und dokumentiert, sodass Sie mit einer intensiven Betreuung rechnen können. Darüber hinaus erhoffen wir uns eine detailliertere Darstellung der Nerven sowie eine sicherere Planung der Frakturversorgung. Somit soll der Eingriff weiterhin sicherer für Sie gestaltet werden.

Diese Studie soll aber dazu beitragen, dass zukünftige Patienten mit der gleichen oder ähnlichen Erkrankung von den Ergebnissen profitieren können. Es ergeben sich für Sie keinerlei Nachteile, wenn Sie die Teilnahme ablehnen.

Freiwilligkeit der Teilnahme

Die Teilnahme an dieser Studie beruht auf freiwilliger Basis. Es erfolgt keine finanzielle Aufwandsentschädigung für die Teilnahme an dieser Studie. Im Falle einer Teilnahme an dieser Studie können Sie Ihre Zustimmung ohne Angabe von Gründen jederzeit widerrufen. Falls Sie sich dafür entscheiden, die Studie abubrechen, entstehen Ihnen daraus keine Nachteile.

Maßnahmen zum Datenschutz

Die für unsere Untersuchung wichtigen Daten werden pseudonymisiert und in einen gesonderten Dokumentationsbogen eingetragen. Die Daten werden anschließend digitalisiert und passwortgeschützt auf Servern der Abteilung gespeichert. Handschriftlich ausgefüllte Dokumentationsbögen werden in einem abgeschlossenen Schrank in der Klinik und Poliklinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie aufbewahrt. Alle erhobenen und pseudonymisierten (Bild-) Daten werden für 10 Jahre aufbewahrt. Bei Veröffentlichung von MRT-Bildern im Rahmen einer wissenschaftlichen Publikation werden nur Ausschnitte dargestellt, sodass eine Identifikation über den Zahnstatus oder die Topographie der Nasennebenhöhlen nicht möglich ist.

7.3. Einverständniserklärung zur Studie



„Optimierte Nervendarstellung peripherer Trigeminusäste zur Beurteilung und Vorhersage von Nervenschädigungen durch traumatische Ereignisse mit neuartigen MRT-Sequenzen“

Mir ist bekannt, dass bei dieser Studie personenbezogene Daten, insbesondere MRT-Bilder über mich erhoben, gespeichert und ausgewertet werden sollen. Die Verwendung der Angaben über meine Gesundheit erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen und setzt vor der Teilnahme an der Studie folgende freiwillig abgegebene Einwilligungserklärung voraus, das heißt ohne die nachfolgende Einwilligung kann ich nicht an der Studie teilnehmen.

1. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass im Rahmen dieser Studie personenbezogene Daten, insbesondere MRT-Bilder, über mich erhoben und auf elektronischen Datenträgern in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie aufgezeichnet werden. Soweit erforderlich dürfen die erhobenen Daten pseudonymisiert (verschlüsselt) weitergegeben werden:

- a) An institutsinterne Mitarbeiter und deren wissenschaftliche Kooperationspartner zum Zwecke der wissenschaftlichen Auswertung.
- b) zur Publikation in wissenschaftlichen Fachjournals.

2. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass ich jederzeit die Teilnahme an der Studie beenden kann. Beim Widerruf meiner Einwilligung, an der Studie teilzunehmen, habe ich das Recht, die Löschung aller meiner bis dahin gespeicherten personenbezogenen Daten zu verlangen.

3. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Daten nach Beendigung oder Abbruch der Studie mindestens zehn Jahre aufbewahrt werden. Danach werden meine personenbezogenen Daten gelöscht.

In dieser Studie sind Frau Dr. Monika Probst (Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Klinikum rechts der Isar, Tel. 089 4140 7639) und Herr Dr. Dr. Lucas Ritschl (Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie) für die Datenverarbeitung verantwortlich.



**Klinikum rechts der Isar
Anstalt des öffentlichen Rechts**

**Klinik und Poliklinik für
Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie**

Mitglied des Roman-Herzog-
Krebszentrums (RHCCC)

Univ.-Prof. Dr. Dr. K.-D. Wolff
Direktor

Chefsekretariat
Anna Liegsalz
Ismaninger Straße 22
81675 München
E-Mail: anna.liegsalz@tum.de
Tel: 089 4140-2921
Fax: 089 4140-4993
www.mri.tum.de

Sprechstunden:
Poliklinik Mo-Fr. 8:30 – 12:00 Uhr
Tel. 089-4140-2929
Privatsprechstunde n. Vereinbarung
Tel. 089-4140-2921
Spezialsprechstunden:
Kopf-Hals-Tumoren
Plast. Rekonstr. Gesichtschirurgie
Lippen-Kiefer-Gaumenspalten
Kraniofaziale Fehlbildungen
Ästhetische Chirurgie
Gesichtstraumatologie
Kieferfehlstellungen (Dysgnathien)
Kiefergelenkerkrankungen
Tumornachsorge
Osteochemo-/Osteoradionekrose
Zahnärztliche Implantologie

Vorstand:
Univ.-Prof. Dr. Markus Schwaiger
(Ärztlicher Direktor)
Markus Zendler
(Kaufmännischer Direktor)
Robert Jeske
(Pflegedirektor)
Univ.-Prof. Dr. Peter Henningsen
(Dekan)

Bankverbindung:
Bayer. Landesbank Girozentrale
Kto-Nr. 20 272
BLZ 700 500 00

BIC: BYLADEMM
IBAN: DE82 7005 0000 0000 0202 72
USt-IdNr. DE 129 52 3996

Ihre Daten werden ausschließlich im Rahmen dieser Studie verwendet. Dazu gehören personenidentifizierende Daten wie Name, Anschrift und sensible personenbezogene Gesundheitsdaten.

Alle unmittelbar Ihre Person identifizierenden Daten werden durch einen Identifizierungscode ersetzt (pseudonymisiert). Dies schließt eine Identifizierung Ihrer Person durch Unbefugte aus. Ihre Daten werden in der Abteilung für

Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Klinikum rechts der Isar gespeichert. Sie werden nach 10 Jahren nach Ablauf der Studie gelöscht.

Die Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer Daten ist freiwillig, Sie können jederzeit die Einwilligung ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für Sie widerrufen. Sie haben das Recht, Auskunft über die Sie betreffenden Daten zu erhalten, auch in Form einer unentgeltlichen Kopie. Darüber hinaus können Sie die Berichtigung oder Löschung Ihrer Daten verlangen. Wenden Sie sich in diesen Fällen an Frau Dr. Monika Probst oder Herr Dr. Dr. Lucas Ritschl.

Bei Rückfragen können Sie sich jederzeit wenden an:

Dr. Monika Probst
Fachärztin für Radiologie
Institut für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie
Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München
Ismaninger Str. 22, 81675 München
Tel.: +49.89.4140.7639; Fax: +49.89.4140.4834
E-mail: monika.probst@mri.tum.de

Dr. Dr. Lucas Ritschl
Arzt und Zahnarzt
Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie
Klinikum rechts der Isar, Technischen Universität München
Ismaninger Str. 22, 81675 München
Tel.: +49.89.4140.2921; Fax: +49.89.4140.7709
E-mail: Lucas.ritschl@mri.tum.de



Klinikum rechts der Isar



Technische Universität München

„Optimierte Nervendarstellung peripherer Trigeminusäste zur Beurteilung und Vorhersage von Nervenschädigungen durch traumatische Ereignisse mit neuartigen MRT-Sequenzen“

Name: _____

Geburtsdatum: _____

Telefonnummer: _____

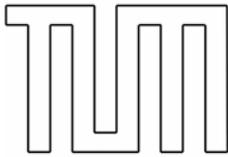
Ich, _____, bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich über die oben genannte wissenschaftliche Studie von Ärztin / Arzt _____ vollständig und umfassend informiert wurde und erkläre mein Einverständnis, an dieser Studie teilzunehmen. In die für diese Studie vorgesehene MRT-Untersuchung habe ich schriftlich auf dem entsprechenden Informations- und Aufklärungsbogen eingewilligt. Inhalte, Ziele und Risiken der Studie sowie persönlicher Zeitaufwand, der aus der Studienteilnahme resultiert, habe ich vollständig verstanden und meine sämtlichen Fragen diesbezüglich wurden von der oben genannten Ärztin / dem oben genannten Arzt ausreichend beantwortet. Mir ist bekannt, dass meine Teilnahme an dieser Studie auf vollkommen freiwilliger Basis beruht und keine finanzielle Aufwandsentschädigung für die Studienteilnahme erfolgt. Mir ist ebenso bekannt, dass ich meine erteilte Einverständniserklärung jederzeit und ohne Angaben von Gründen widerrufen werden kann und mir durch einen solchen Widerruf keinerlei Nachteile entstehen. Eine Patienteninformation bezüglich der oben genannten Studie wurde mir in schriftlicher Form zusätzlich zum persönlichen Aufklärungsgespräch ausgehändigt.

Mit meiner Unterschrift bestätige ich mein Einverständnis zur Teilnahme an der oben genannten Studie.

.....
Datum, Unterschrift des Patienten

.....
Datum, Unterschrift der aufklärenden Ärztin / des aufklärenden Arztes

7.4. Aufklärungsbogen für die MRT-Untersuchung



Abteilung für
Neuroradiologie Klinikum
rechts der Isar
der Technischen Universität
München
Anstalt des öffentlichen Rechts
Leiter: Prof. Dr. C Zimmer



Magnetresonanztomographie (MRT)

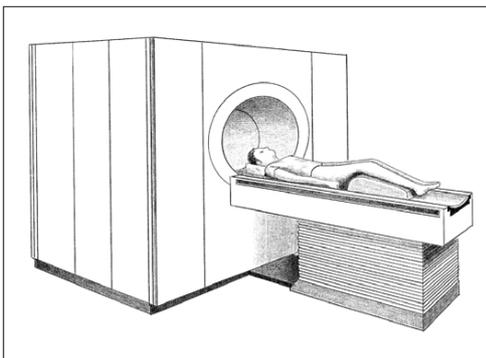
Bitte vor dem Aufklärungsgespräch lesen und Fragebogen ausfüllen!

Name des Patienten:.....

Geburtsdatum:.....

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient, liebe Eltern,

bei der Kernspintomographie (MRT) werden mit Radiowellen und Magnetfeldern, also ohne Röntgenstrahlung, zwei- und dreidimensionale Aufnahmen des ganzen Körpers oder bestimmten Körperregionen erstellt. Insbesondere im Gehirn, an den inneren Organen des Bauches und Beckens, an der weiblichen Brust, an Muskeln, Bändern, Knorpeln, Gelenken, aber auch an Herz und Blutgefäßen sind feinste Veränderungen zu erkennen, die mit anderen Verfahren schwerer oder nur mit höherem Risiko zu erfassen sind. Bei Ihnen soll(en)



- ohne Kontrastmittel mit Kontrastmittel

folgende Körperregion(en) untersucht werden:

(Organ oder Körperteil benennen)

Untersuchungsablauf

Sie werden für die Untersuchung auf einem gepolsterten Untersuchungstisch gelagert. Je nach der Körperregion, die untersucht werden soll, werden Sie teilweise oder mit dem ganzen Körper in das Magnetfeld des röhrenförmigen Untersuchungsgerätes gefahren. Dort regen kurze Radiowellenimpulse die Wasserstoffkerne im Gewebe an, elektromagnetische Signale abzugeben. Ein Computer zeichnet diese Signale auf. Er errechnet daraus Schnittbilder der untersuchten Körperregion aus verschiedenen Blickwinkeln und aus diesen Schnittbildern zwei- oder dreidimensionale Bilder, die wichtige Informationen für die Krankheitserkennung und für eine Behandlung liefern. Das Ergebnis der Untersuchung erlaubt Einblicke in Form und Funktion des jeweiligen Körperabschnitts.

Während der Untersuchung besteht direkter Sichtkontakt mit dem medizinischen Personal oder Sie werden durch Monitore vom Kontrollraum aus überwacht. Bitte ganz ruhig und entspannt liegen. Über Kopfhörer oder eine Gegensprechanlage erfahren Sie, wann Sie ein- und ausatmen sollen.

Das Schalten der Magnetspulen bei den vielen Messungen verursacht ein lautes, metallisches Klicken bzw. Klopfgeräusche. Bitte sagen Sie uns, wenn Sie besonders lärmempfindlich sind. Sie erhalten je nach untersuchter Körperregion immer, oder auf Wunsch, einen Kopfhörer oder Ohrstöpsel, um die Geräusche zu dämpfen.

Falls Sie Platzangst haben, bekommen Sie auf Wunsch ein Beruhigungsmittel. Bei Säuglingen wird die Untersuchung nach dem Trinken durchgeführt, ältere Kinder können ein leichtes Beruhigungsmittel erhalten, um ihnen die psychische Belastung zu ersparen und unerwünschte Bewegungen zu vermeiden. Um ein noch aussagekräftigeres Bild, und dadurch Antworten auf gezielte medizinische Fragen zu erhalten und Funktionsstörungen erkennen zu können, muss häufig ein flüssiges, nicht jodhaltiges Kontrastmittel eingenommen und/oder über eine Kanüle in eine Armvene eingespritzt werden.

Die Kernspintomographie kann eine halbe Stunde oder länger dauern.

Risiken und mögliche Komplikationen

Die Untersuchung ist schmerzfrei. Wenn Sie die im Folgenden genannten Verhaltenshinweise beachten, hat sie keine schwerwiegenden Risiken und Nebenwirkungen. Magnetfeld und Radiowellen belasten den Organismus nicht.

Vereinzelte wurden im **EKG** vorübergehende **harmlose Veränderungen** festgestellt. In Ausnahmefällen können **vorübergehende, extrem selten auch bleibende Hörgeräusche und -störungen** (z.B. Tinnitus) und vereinzelt Kopfschmerzen auftreten.

Bei **Allergie** oder **Überempfindlichkeit** (z.B. auf das Kontrastmittel oder Beruhigungsmittel) können vorübergehend Schwellung, Juckreiz, Niesen, Hautausschlag, Schwindel oder Erbrechen und ähnliche leichtere Reaktionen auftreten. **Schwerwiegende Komplikationen im Bereich lebenswichtiger Funktionen** (Herz, Kreislauf, Atmung, Nieren) und **bleibende Schäden** (z.B. Organversagen, Lähmungen) sind sehr selten.

In Tätowierungen, Tattoos, Make-up-/Augenmake-up-Produkten können metallhaltige Farbstoffe enthalten sein, die manchmal **Hautreizungen** verursachen und u.U. die Bildqualität beeinflussen.

Gelegentlich kann die Einspritzung in eine Vene einen **Bluterguss** oder eine **Nachblutung** im Bereich der Einstichstelle, sowie **Infektionen** (z.B. Spritzenabszess), **Absterben von Gewebe** und/oder **Venenreizungen/-entzündungen** verursachen. Es kann zu vorübergehenden, sehr selten zu bleibenden **Nervenschädigungen (Schmerzen, Lähmungen)** kommen.

Bitte unbedingt beachten! Sofern ärztlich nicht anders angeordnet!

Bitte bringen Sie möglichst alle früheren Aufnahmen (Röntgen, Computertomographie, Kernspintomographie, Ultraschall, Nuklearmedizin) der zu untersuchenden Körperregion mit.

Vor der Untersuchung

Implantate, die Eisen, Kobalt oder Nickel enthalten (z.B. Herzschrittmacher, automatische Insulinpumpen, Metall-Endoprothesen und/oder Metallteile oder Metallsplitter im Körper), können durch die Untersuchung **beschädigt** werden und/oder Ihnen/Ihrem Kind **ernsthafte Verletzungen**

1. Körpergewicht:

kg Körpergröße:

2. Tragen Sie / Ihr Kind einen **Herzschrittmacher** oder eine **künstliche Herzklappe**?

 Nein Ja

3. Tragen Sie / Ihr Kind eine **Insulinpumpe** oder eine andere Medikamentenpumpe?

 Nein Ja

4. Befinden sich in Ihrem Körper / im Körper Ihres Kindes **andere Implantate oder Teile aus Metall**? Z.B. Prothese, Gefäßprothese (sog. „Stent“), Gefäßclips, Zahnimplantate, kieferorthopädische Materialien, implantiertes Hörgerät, Neurostimulator, „Spirale“ (Intrauterinpressar), Metallsplitter als Folge von Unfällen oder Kriegsverletzungen, Metallstaub aus beruflicher Tätigkeit, Piercing etc.

 Nein Ja

(ggf. Jahr und Art des Eingriffs angeben)

5. Wurden Sie / Ihr Kind schon einmal an **Kopf, Herz** oder am **Gefäßsystem operiert**?

 Nein Ja

6. Leiden Sie / Ihr Kind an **Klaustrophobie** (Angst in engen Räumen, z.B. im Fahrstuhl)?

 Nein Ja

7. Leiden Sie / Ihr Kind an **Lärmempfindlichkeit, Schwerhörigkeit** oder an einem **Gehörschaden**?

 Nein Ja

8. Wurden bei Ihnen / Ihrem Kind schon einmal eine Kernspinuntersuchung oder Röntgenaufnahmen zur Gefäß-, Knochen- oder Hirnuntersuchung bzw. andere Röntgenuntersuchungen oder eine Computertomographie durchgeführt?

 Nein Ja

Bitte Art der Untersuchung und Jahr, in dem sie stattfand, eintragen oder Ihren **Röntgenpass** vorlegen.

9. **Allergie** (z.B. Heuschnupfen, Asthma) oder **Unverträglichkeit** von Nahrungsmitteln, Medikamenten, Kontrastmittel, Pflaster, Latex?

 Nein Ja

oder:

Falls Sie einen **Allergiepasse** besitzen, bitte vorlegen.

10. Traten nach früheren **Kontrastmitteluntersuchungen** Nebenwirkungen auf?

 Nein Ja

Wenn ja, welche?

11. Bestehen oder bestanden bei Ihnen / Ihrem Kind **Nierenfunktionsstörungen**?

 Nein Ja

12. Für Frauen im gebärfähigen Alter: Könnten Sie **schwanger** sein?

 Nein Ja

Falls eine Schwangerschaft besteht, in welcher Schwangerschaftswoche sind Sie?

zufügen. **Es ist deshalb wichtig, alle Implantate oder sonstigen Metallteile vor der Untersuchung**

anzugeben! In Zweifelsfällen wird mit einer Röntgenuntersuchung geklärt, ob sich Metallteile im Körper befinden.

Auch Metallteile, die am Körper getragen werden, können im Magnetfeld Verletzungen und Komplikationen verursachen. Sie müssen vor dem Betreten des Untersuchungsraumes alle metallenen Gegenstände ablegen, wie z.B.:

Schmuck (z.B. Ohrringe, Ketten, Ringe,) und Piercing-Schmuck, Uhr, Brille, metallhaltige Zahnprothesen, Arm- oder Beinprothesen, Zahnspangen, Hörgeräte, Metallteile an der Kleidung (z.B. Gürtelschließen) Schlüssel, Münzen, Haarspangen, Schreibgeräte oder andere Gegenstände, die Metall enthalten, sowie Karten mit Magnetstreifen (z.B. Scheck-, Telefon-, Versicherungskarten), da sie sonst gelöscht werden.

Nach der Untersuchung

Wurde ein Kontrastmittel verabreicht, bitte reichlich trinken (z.B. Tee, Mineralwasser, Saft), sofern Ihre Ärztin / Ihr Arzt nichts anderes anordnet.

Haben Sie / Ihr Kind ein Beruhigungsmittel erhalten, müssen Sie sich von einer erwachsenen Begleitperson abholen lassen bzw. holen Sie Ihr Kind ab. Das Reaktionsvermögen kann noch Stunden nach der Untersuchung eingeschränkt sein. Wir werden Ihnen mitteilen, wann Sie / Ihr Kind wieder aktiv am Straßenverkehr teilnehmen, an laufenden Maschinen arbeiten oder Alkohol trinken können.

Bitte verständigen Sie sofort Ihre Ärztin/Ihren Arzt, wenn Übelkeit, Durchfall, Unwohlsein, Schwindel, Niesreiz, Hautausschlag, Schmerzen oder andere Beschwerden während oder nach der Untersuchung auftreten. Bei erheblichen Beschwerden bitte den Notarzt rufen, falls Ihre Ärztin/Ihr Arzt (siehe Klinik-/Praxisstempel) nicht erreichbar ist.

Ergänzungen:



Fragebogen/Anamnese Magnetresonanztomographie:

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen sorgfältig, damit wir etwaigen Risiken besser vorbeugen können. Zutreffendes bitte ankreuzen und unterstreichen bzw. ergänzen. Bei Bedarf helfen wir Ihnen gerne beim Ausfüllen.

Dokumentation:

Bitte die zutreffenden Kästchen ankreuzen, Textstellen unterstreichen oder an den vorgesehenen Stellen ergänzen und unterschreiben.

Aufklärungsgespräch

- Den **Aufklärungsbogen** habe ich gelesen und verstanden. Ich konnte im Aufklärungsgespräch alle mich interessierenden **Fragen** stellen. Sie wurden vollständig und verständlich beantwortet. Die Fragen zur **Krankenvorgeschichte (Anamnese)** habe ich nach bestem Wissen beantwortet.
- Den **abgetrennten Info-Teil** bzw. ein **Zweitstück des Bogens** habe ich zum Mitnehmen und Aufbewahren erhalten. Die **Verhaltenshinweise** werde ich beachten.

Vermerke der Ärztin/des Arztes (Name) **zum**
Aufklärungsgespräch:

Erörtert wurden z.B.: Wahl des Verfahrens, Vor- und Nachteile gegenüber anderen Methoden, Risiken und mögliche Komplikationen, risikoerhöhende Besonderheiten, Verhaltenshinweise vor, während und nach der Untersuchung, eventuelle Neben- und Folgeeingriffe sowie (bitte hier auch etwaige Änderungen des Info-Teils vermerken):

Vorgesehener Untersuchungstermin (Datum):

Einwilligung

Ich habe mir meine Entscheidung gründlich überlegt; ich benötige keine weitere Überlegungsfrist.

- Ich willige** in die Untersuchung **ein** von:
-

(Körperregion angeben)

ggf. einschließlich Kontrastmittel. Mit eventuell erforderlichen Neben- oder Folgeeingriffen bin ich einverstanden.

Falls Sie bestimmte einzelne Maßnahmen ablehnen, bitte bezeichnen:

Nur für den Fall der Ablehnung der Untersuchung:

- Ich **willige** in die Untersuchung **nicht ein**.
Ich wurde darüber aufgeklärt, dass sich dadurch Diagnose und Behandlung einer etwaigen Erkrankung erheblich verzögern und erschweren können.

Ort, Datum, Uhrzeit
Patientin / Patient bzw. Betreuer /
Bevollmächtigter /Sorgeberechtigter

Ort, Datum, Uhrzeit
Ärztin / Arzt

8. Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei dem Betreuer meiner Dissertation, Herrn Apl. Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Andreas Fichter, und meinem ständigen Ansprechpartner Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Lucas Ritschl aus der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie für die professionelle fachliche Betreuung während meiner Dissertation bedanken. Ihre sachkundige Anleitung und konstruktiven Rückmeldungen haben maßgeblich zur Entstehung meiner Arbeit beigetragen.

Ein besonderer Dank geht auch an meine Mentorin, Frau Priv.-Doz. Dr. med. Monika Probst aus der Abteilung für Neuroradiologie für ihre Zeit und Unterstützung bei der Arbeit am MRT-Gerät und der Auswertung der Bilddaten. Ihre Betreuung war für den erfolgreichen Verlauf meiner Arbeit von großer Bedeutung.

Während meiner Arbeit stieß ich auf Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf zeitliche Einschränkungen bei der Terminierung der MRT-Scans und klinikinterne Beschränkungen während der Corona-Pandemie. Dank des Engagements meiner Betreuungspersonen und des Fachpersonals der Abteilungen für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Neuroradiologie konnte ich immer Lösungen finden und meine Forschung fortsetzen.

Zudem möchte ich mich herzlich bei meiner Familie und meinem Partner für ihre fortwährende moralische Unterstützung bedanken.