Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik

(Prof. Dr. med. dent. R. Bürgers)

im Zentrum Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Vergleichende Auswertung von Realtime(Echtzeit)-MRT-Aufnahmen des Kiefergelenks bei Bildraten von 3 und 15 Bildern pro Sekunde mit der klinischen Untersuchung anhand der RDC/TMD

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
[für Zahnmedizin]
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Kim Maureen Brinkmann, geb. Runge

aus

Oldenburg

Göttingen 2022

Dekan:	Prof. Dr. med. W. Brück
Referent/in	apl. Prof. Dr. med. dent. M. Rödiger
Ko-Referent/in:	
Drittreferent/in:	
Datum der mündlichen Prüfung:	

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel "Vergleichende Auswertung von *Realtime*(Echtzeit)-MRT-Aufnahmen des Kiefergelenks bei Bildraten von 3 und 15 Bildern pro Sekunde mit der klinischen Untersuchung anhand der RDC/TMD" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den		
	(Unterschrift)	

Meiner geliebten Familie, in memoriam Theresa und Detlev

<u>Inhaltsverzeichnis</u> <u>I</u>

Inhaltsverzeichnis

AbbildungsverzeichnisIII			
Tabelle	ΓabellenverzeichnisIV		
Abkür	zungsverzeichnisVII		
1	Einleitung1		
1.1	Anatomie und Funktion des Kiefergelenks und der Kaumuskulatur		
1.2	Kraniomandibuläre Dysfunktionen: Ätiologie und Symptomatik		
1.2.1	Myogene Erkrankungen 8		
1.2.2	Arthrogene Erkrankungen		
1.2.2.1	Diskusverlagerung und -veränderungen		
1.2.2.2	Arthralgie, Arthritis, Arthrose		
1.3	Bildgebende Diagnostik zur Untersuchung des Kiefergelenks		
1.3.1	Die Magnetresonanztomographie im Vergleich zur Tomographie und zum klassischen		
	Röntgen (OPAN)		
1.3.2	Die Realtime-Magnetresonanztomographie		
1.4	Der Fragebogen RDC/TMD als klinisches Diagnostikmittel		
1.5	Therapiemöglichkeiten der Kraniomandibulären Dysfunktionen		
1.6	Fragestellung 19		
2	Material und Methoden		
2.1	Proband*innenkollektiv		
2.2	Methodik der <i>Realtime</i> -MRT		
2.2.1	Auswertung der <i>Realtime</i> -MRT		
2.2.2	Auswertungen der Realtime-MRT zweier Bildauflösungen		
2.3	RDC/TMD Achse I		

<u>Inhaltsverzeichnis</u> <u>II</u>

2.3.1	Anamnestischer Fragenteil	27
2.3.2	Klinischer Fragenteil	32
2.3.3	Auswertung der RDC/TMD-Daten	40
2.4	Reliabilität (Kappa)	47
2.5	Sensitivität/ Spezifität	48
3	Ergebnisse	49
3.1	Ergebnisse der Realtime-MRT	49
3.2	Vergleichende Ergebnisse zweier Realtime-MRT-Methoden (3 Bilder pro Sek. vers	us
	15 Bilder pro Sek.)	56
3.3	Ergebnisse der RDC/TMD	60
3.4	Vergleichende Ergebnisse der Realtime-MRT und RDC/TMD	62
3.4.1	Berechnung Diskusverlagerung mit Reposition	66
3.4.2	Berechnung Diskusverlagerung ohne Reposition	67
4	Diskussion	68
4.1	Validität der Realtime-MRT gegenüber der klassischen MRT-Aufnahme	68
4.2	Vergleich der beiden Realtime-MRT-Methoden (3 Bilder pro Sek.und 15 Bilder	
	pro Sek.)	73
4.3	Validität der RDC/TMD (Achse I)	76
4.4	Vergleich der Realtime-MRT mit der RDC/TMD	83
5 Zusa	ammenfassung	89
6 Lite	raturverzeichnis	91

Abbildungsverzeichnis III

A 1 1 •1 1	• 1	
Abbildi	ingsverzeicl	hnic
AUUIIU	11123 Y CI ZCIC	

bbildung 1: Phasen der Mundöffnung	4
bbildung 2: Mundschluss- und Mundöffnungsbewegung einer exemplarischen <i>Realtime</i> -MRT-ideosequenz	3
bbildung 3: Mundöffnungsbewegung einer exemplarischen <i>Realtime</i> -MRT-Videosequenz für eir iefergelenk mit DVR	
bbildung 4: Schematische Darstellung der Mundöffnung3	4
bbildung 5: Schematische Darstellung des Ober- und Unterkieferschneidezahns im <i>sagittalen</i> Anhnitt	
bbildung 6: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 14	.0
bbildung 7: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 2, rechtes Gelenk4	2
bbildung 8: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 2, linkes Gelenk4	.3
bbildung 9: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 3, rechtes Kiefergelenk4	.5
bbildung 10: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 3, linkes Kiefergelenk4	6

<u>Tabellenverzeichnis</u> <u>IV</u>

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation der Dysfunktionen des Kausystems nach Jakstat und Ahlers
Tabelle 2: Klassifikationsschema der CMD nach Dworkin
Tabelle 3: Drei Schienentypen zur Behandlung einer CMD
Tabelle 4: Technische Daten der für diese Studie genutzten <i>Realtime</i> -MRT
Tabelle 5: Zuordnung der Untersucher-Nummerierung und der Untersucher-Namen24
Tabelle 6: Verschlüsselung der aufgestellten Bewertungskategorien
Tabelle 7: Anamnestischer Fragebogen für die Probanden aus Achse I der RDC/TMD29
Tabelle 8: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung33
Tabelle 9: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung33
Tabelle 10: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung33
Tabelle 11: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung34
Tabelle 12: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung36
Tabelle 13: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung37
Tabelle 14: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung

<u>Tabellenverzeichnis</u> V

Tabelle 15: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung	38
Tabelle 16: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung	38
Tabelle 17: : Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung	39
Tabelle 18: Vierfeldertafel zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität	.48
Tabelle 19: Ergebnisse der Bewertung der Realtime-MRT-Aufnahmen.	49
Tabelle 20: Gesamtanzahl der Bewertungen bezogen auf die Diskusbewegung.	54
Tabelle 21: Gesamtanzahl der Bewertungen bezogen auf die Kondylusbewegung	54
Tabelle 22: Berechneter kappa-Wert zur Beurteilung der Interrater-Übereinstimmung (Diskusbewegung)	55
Tabelle 23: Berechneter kappa-Wert zur Beurteilung der Interrater-Übereinstimmung (Kondylusbewegung)	55
Tabelle 24: Vergleichende Ergebnisse zweier Realtime-MRT-Methoden (Untersucher 5)	56
Tabelle 25: Vergleichende Ergebnisse zweier <i>Realtime</i> -MRT-Methoden (Untersucher 4 – 6)	.57
Tabelle 26: Vergleichende Ergebnisse zweier <i>Realtime</i> -MRT-Methoden anhand der qualitativen Beurteilbarkeit der anatomischen Strukturen.	
Tabelle 27: Ergebnisse der RDC/TMD	60
Tabelle 28: Zusammenfassende Gesamtergebnisse der RDC/TMD.	62
Tabelle 29: Vergleich der Ergebnisse der <i>Realtime</i> -MRT und der RDC/TMD	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 30: Berechnung Diskusverlagerung mit Reposition anhand der Vierfeldertafel	66
Tabelle 31: Berechnung Diskusverlagerung ohne Reposition anhand der Vierfeldertafel	67

Abkürzungsverzeichnis VII

Abkürzungsverzeichnis

Av. average (engl.), Durchschnitt
CMD kraniomandibuläre Dysfunktion

CINE kinematografisch

CT Computertomographie

DC/TMD Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders

DVR anteriore Diskusverlagerung mit Reposition

DVoR anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition

DVT digitale Volumentomographie FLASH fast low angle shot (engl.)

HASTE half fourier single shot turbo spin echo (engl.)

J.W. Jens Wehle k-Wert kappa-Wert

kDV keine Diskusverlagerung

Lig. Ligamentum

M. Musculus

Mm. Musculi

MR/MRT Magnetresonanz/Magnetresonanztomographie

N. Nervusneg. negativ

N.G. Nikolaus Gersdorff

NLINV non-linear inversion (engl.), nicht-lineare Inversion

NSAID non-steroidal anti-inflammatory drug (engl.), nicht-steroi-

dale Antiphlogistika

OPAN Orthopantomogramm

pos. positiv

RDC/TMD Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Dis-

orders

Rr. Rami

SNR signal-to-noise-ratio (engl.), Signal-zu-Rausch-Verhältnis

SSFP balanced steady-state free precession (engl.)

T Tesla

TMJ temporo-mandibular joint (engl.), kraniomandibuläres

Gelenk

T.W. Torsten Wassmann

1 Einleitung

Die Anatomie und Funktion des Kiefergelenks ist komplex und als Doppelgelenk einzigartig im menschlichen Organismus. Es umfasst sowohl Hart- als auch Weichteilgewebe und führt sowohl eine Rotations- als auch eine Translationsbewegung durch. An der Dynamik sind diverse umliegende *Ligamente* und Muskeln beteiligt (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Durch diese Komplexität kann es zu zahlreichen pathologischen Erscheinungen der beteiligten Strukturen kommen. Die Ursachen für diese Dysfunktionen im Kiefergelenk sind multifaktoriell – sie können somatischer und/oder psychischer, *arthrogener* und/oder *myogener* Ursache sein. So ergeben sich je nach Symptomatik unterschiedlichste Klassifikations- und Gliederungsmöglichkeiten (s. u.) (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Bei circa 75 % der Bevölkerung ist ein Anzeichen dieser Dysfunktionen vorhanden, jedoch besteht bei nur ca. 5 – 7 % Behandlungsbedarf auf Grund akuter Symptomatiken (McNeill 1997). Vorrangig weibliche Patientinnen in der mittleren Lebensphase (Steenks und de Wijer 1991) stellen sich ihrem Zahnarzt oder ihrer Zahnärztin mit Beschwerden im *kraniomandibulären* Bereich vor und erhoffen sich eine schnelle Diagnostik und Verbesserung der unterschiedlich ausgeprägten Symptomatik. Diese umfasst Gelenkschmerzen und -geräusche, Einschränkungen oder Abweichungen in der Mundöffnung, neu erworbene Okklusionsstörungen und/oder eine druckdolente Muskulatur (Reichart et al. 2002). Allerdings müssen nicht zwingend alle Symptome auftreten; viele der Pathologien bleiben auch unerkannt, da sie keine Beschwerden verursachen.

Somit stellen die differenzierten Krankheitsbilder des Kiefergelenks und der Kaumuskulatur neben der konservierenden und prothetischen Versorgung einen erheblichen Anteil an der heutigen Behandlungstätigkeit eines Zahnarztes oder einer Zahnärztin dar. Um die betreffenden Strukturen ausreichend beurteilen zu können, wird neben der klinischen Untersuchung in schwerwiegenden Fällen auch die bildgebende Diagnostik miteinbezogen; vor allem, wenn der Verdacht auf eine Dysfunktion bereits besteht.

Es ist bekannt, dass die Magnetresonanztomographie (MRT) eine gute Methode darstellt, um sowohl den *Discus articularis* als auch das umliegende Weichgewebe beurteilen zu können. Zusätzlich ist dieses Verfahren non-invasiv, stellt somit im Gegensatz zum klassischen Röntgen und der Computertomographie keine Strahlenbelastung dar (Krestan et al. 2001; Bumann und Lotzmann 1999). Da jedoch die Charakteristik der dynamischen Bewegung

bei der Kieferöffnung und beim Kieferschluss möglicherweise signifikant beim Vorhandensein einer *kraniomandibulären* Dysfunktion vom Normzustand abweicht (z. B. bei Reposition des Diskus nach *anteriorer* Verlagerung), ist die statische MRT noch kein ideales diagnostisches Mittel. Dennoch wurde sie bislang als Goldstandard der Bildgebung angesehen (Behr et al. 1996; Ahmad et al. 2009; Nogami et al. 2013).

Ins Zentrum der klinischen Forschung rückt deshalb die *Realtime*-MRT, welche in der Herzchirurgie ihren Ursprung fand und hochauflösende Videoaufnahmen in Echtzeit ermöglicht. Mittels dieser neuen Technik ist es nun möglich, die anatomischen Strukturen und ihr Zusammenspiel sowohl in der Statik als auch Dynamik beurteilen zu können.

Auch diese neue Form der Bildgebung unterliegt einem ständigen Fortschritt. Daher ist es von Interesse, inwiefern die aktuell mögliche Bildauflösungsrate eine Modifikation in der Diagnosefindung darstellt und darauf basierend die bestmögliche Therapie eingeleitet werden kann.

Ferner ist die Gegenüberstellung der voranschreitenden *Realtime*-MRT-Technik zur klinischen Untersuchung mittels des international etablierten Fragebogens *Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders* (RDC/TMD, Dworkin 2010) entscheidend um einen möglichen Mehrwert der jeweiligen Diagnostik ermitteln zu können.

Ziel dieser Studie war es, zwei *Realtime*-MRT-Verfahren zu vergleichen. Das ältere Verfahren basierte auf einer Auflösungsrate von 3 Bildern pro Sekunde, das neuere auf 15 Bildern pro Sekunde. Sie unterscheiden sich somit in ihrer Auflösungsrate um 12 Bilder. Hierfür wurde durch drei verschieden kalibrierte Zahnärzte jeweils die Bewegung des Kiefergelenks in drei unterschiedlichen Schichten des Gelenks (eine *mediale*, zentrale und *laterale*) beurteilt und pro Schicht eine Diagnose erstellt. Die durch die Zahnärzte ermittelten Diagnosen wurden sowohl untereinander verglichen als auch mit den anhand der RDC/TMD ermittelten Diagnosen der klinischen Untersuchung der Probanden und Probandinnen. Abschließend konnte zudem eine Intrarater-Validität berechnet werden, da einer der Untersucher (Nr. 5) bereits 2011 an der Vergleichsstudie teilnahm. Die Intrarater-Validität wurde anhand der Beurteilbarkeit der Bildqualität der anatomischen Strukturen (wie beispielsweise der Begrenzung des Diskus oder Kondylusköpfchens) im Vergleich der Auflösungsrate von 3 zu 15 Bildern pro Sekunde ermittelt.

1.1 Anatomie und Funktion des Kiefergelenks und der Kaumuskulatur

Das Kiefergelenk ist paarig im Körper angelegt und wird gebildet durch die knöchernen Strukturen des Os temporale des Neurocraniums und des Caput mandibulae des Processus condylaris am aufsteigenden Unterkiefer-Ast. Das Os temporale stellt dorsal eine Art Grube dar, die Fossa mandibularis, und geht nach ventral in einen Vorsprung, dem Tuberculum articulare über. Zwischen den knöchernen Strukturen liegt eine erythrozytenförmige Scheibe, der Discus articularis. Dieser besteht überwiegend aus Faserknorpel und lässt sich in eine breitere pars anterior und posterior sowie eine schmalere pars medialis einteilen. Physiologisch sollte die pars medialis zu jeder Zeit des Mundöffnens und -schließens dem Köpfchen des Unterkiefers aufliegen. Der Diskus ist über eine Gelenkkapsel mit dem Kondylus verbunden und folgt somit immer seiner Bewegung. Diskus und Kapsel bilden die obere bzw. untere Gelenkkammer, welche ober- bzw. unterhalb des Diskus liegt. Die Gelenkkapsel ist nicht ausschließlich am Diskus befestigt, sondern ebenso an der Schädelbasis sowie am Caput mandibulae. Von ventral strahlen Fasern des Musculus (M.) pterygoideus lateralis in die Kapsel ein. Lateral und medial schließt sich eine feste Bindegewebsplatte an, das Ligamentum (Lig.) laterale bzw. mediale. Zusammen mit weiteren Bändern stabilisieren sie das Gelenk (Stelzenmüller und Wiesner 2010; Liehm 2013).

Die bilaminäre Zone *dorsal* des Diskus besteht aus dem *Stratum superius* aus elastischen Fasern und dem *Stratum inferius* aus überwiegend kollagenen Fasern. Beide Schichten sind notwendig für eine stabile und sichere Führung des Diskus während verschiedener Kieferbewegungen. In der Mitte der beiden Schichten liegt das sogenannte *Genu vasculosum*, eine stark durchblutete und innervierte Schicht. Im Gegensatz dazu sind die Knochenflächen und der Diskus frei von Nerv- oder Blutgefäßen. Oftmals ist dieser Bereich durch eine Kiefergelenkspathologie in Form von Druck oder einer Quetschung belastet, wodurch betroffene Patienten und Patientinnen starke Schmerzen erleiden (Thiem 2013; Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Die nervale Versorgung der beteiligten Strukturen ist vielseitig. Sensibel wird das Gelenk im *posterioren* Bereich vom *Nervus* (N.) *auriculotemporalis* innerviert, im *anterioren* Bereich sowohl vom *N. massetericus*, als auch von den *Rami* (*Rr.*) *communicantes cum nervo faciali* und *Rr. temporalis superiores*. Des Weiteren sind die *Rr. temporalis profundus posterior* sowie der *N. meaticus acusticus externus* beteiligt (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Motorisch wird das Kiefergelenk durch die Kaumuskulatur und die *supra*- und *infrahyoidale* Hilfsmuskulatur bewegt. Erstere wird durch den *N. mandibularis* des *N. trigeminus* innerviert (Aumüller et al. 2017).

Für die Kieferöffnung sind der *M. pterygoideus lateralis* sowie die o. g. Hilfsmuskulatur verantwortlich. Der *M. pterygoideus lateralis* besteht aus zwei Muskelbäuchen. Der *medial* liegende Muskelbauch zieht den Diskus bei Kieferöffnung nach ventral, der *lateral* liegende sorgt entweder für eine Mediotrusionsbewegung (Bewegung der Arbeitsseite zur Medianebene) bei einseitiger Belastung oder für eine Protrusionsbewegung (Unterkieferbewegung nach vorne) bei beidseitiger Belastung. Von der *suprahyoidalen* Muskulatur ist vorwiegend der zweigeteilte *M. digastricus* an der Abduktion mitbeteiligt. Der Kieferschluss kann durch das Zusammenspiel des *M. masseter*, *M. temporalis* und *M. pterygoideus medialis* durchgeführt werden. Der *M. masseter* entspringt am *Arcus zygomaticus* und zieht zum Unterkieferwinkel. Er besteht aus einem *pars superficialis* und *profunda* und bildet außerdem eine Muskelschlinge mit dem *M. pterygoideus medialis* am Kieferwinkel. Dieser Muskel ist meist gut von außen sichtbar und palpierbar. Durch die Muskelschlinge ist der *M. pterygoideus medialis* maßgeblich an der Adduktion beteiligt, seinen Ursprung findet dieser Muskel in der *Fossa pterygoidea* (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Der *M. temporalis* ist ein dreigeteilter Muskel. Er setzt am *Processus coronoideus mandibulae* an. Er ist sowohl an der *Protrusion* als auch an der Adduktion beteiligt (Aumüller et al. 2017; Anderhuber 2012; Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Außerdem kann die *Mandibula* bei manchen Menschen durch die *Musculi* (Mm.) *pterogoideii* eine *retrale* Bewegung ausführen sowie nicht reproduzierbare freie Kiefer- und Mahlbewegungen (Bartrow 2011).

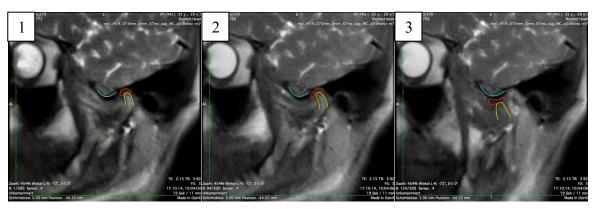


Abbildung 1: Phasen der Mundöffnung. Bild 1: Ausgangsposition bei geschlossenem Mund. Bild 2: initiale Rotationsbewegung der Mundöffnung. Bild 3: Translationsbewegung der Mundöffnung. Blau = *Eminentia mandibularis*, rot = *Discus articularis*, gelb = *Condylus articularis*.

Betrachtet man nun die Abduktion im Detail, so lässt sich diese in drei verschiedene Phasen gliedern. In der ersten Phase findet die Bewegung im *kraniomandibulären* Anteil statt in Form einer primären Drehung der Kiefergelenksköpfchen nach *anterior* um die bestehende Verzahnung der Zahnhöcker mit den antagonistischen *Fossae* bei geschlossenem Mund aufzulösen (Abbildung 1, Bild 2). Dabei stellt die Verbindung der Mittelpunkte der beiden Kondylen eine feste, transversale Drehachse dar. Zunächst findet eine relative Dorsalbewegung des Diskus im Verhältnis zum Kondylus statt um sich auf dem Kondylus zu stabilisieren (Bumann und Lotzmann 1999). Das *Stratum superius* der bilaminären Zone sichert dabei gemeinsam mit dem *Lig. laterale* und der *pars posterior* des *M. temporalis* die Bewegung des Diskus. Das *Stratum inferius* ist zu diesem Zeitpunkt entspannt, um die Bewegung des Kondylus freizugeben.

In der sich anschließenden zweiten Phase beginnt nun auch eine Beteiligung des *diskotem- poralen* Anteils des Gelenks (Abbildung 1, Bild 3). Die Bewegung geht in ein Gleiten über,
wobei der Diskus regulär dem Caput passiv folgt. Dies geschieht durch ein Ziehen des *M. pterygoideus lateralis kaudal* des *Tuberculum articulare*, welches auch als Protrusionsbewegung bezeichnet wird. Dabei ist ebenfalls die *suprahyoidale* Muskulatur beteiligt.

Bei der abschließenden dritten Phase, der sekundären Drehphase, rotiert der Kondylus erneut nach *anterior*, so dass der folgende Diskus sich nun nicht mehr unterhalb, sondern auf dem *Tuberculum articulare* befindet. Somit ist erst eine maximale Mundöffnung möglich. Das *Genu vasculosum* ist durch den steigenden Druck vollständig mit Blut gefüllt (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Beim Kieferschluss finden diese Bewegungen in der umgekehrten Reihenfolge in drei Phasen statt, die aktiven Muskeln sind hier der *M.masseter*, *M.temporalis*, *M.pterygoideus medialis* und anteilig der *M. pterygoideus lateralis* als antagonistische Komponente des *Caput* (Bartrow 2011; Bumann und Lotzmann 1999).

1.2 Kraniomandibuläre Dysfunktionen: Ätiologie und Symptomatik

Die Pathophysiologie des Kiefergelenks wird in der Literatur mit verschiedensten Begriffen wie z.B. "Internal Derangement" (Jung et al. 2015; Krestan et al. 2001), "Myoarthropathie" (Katsoulis et al. 2011) oder "Craniofacial Disorder" (Krestan et al. 2001) betitelt. Dies gibt bereits einen Hinweis darauf wie vielfältig diese Erkrankung ist.

Im Folgenden wird die einzig von der DGZMK verwendete Nomenklatur als "Kranio-mandibuläre Dysfunktion (CMD)" verwendet (Ahlers et al. 2005).

Die CMD ist ein multifaktoriell bedingtes Krankheitsbild, das innerhalb der letzten Jahrzehnte auf unterschiedlichste Weise benannt (s. o.) und auch untergliedert (s. u.) wurde.

Bei der Entstehung dieser Erkrankung haben sowohl neuromuskuläre (z. B. Habits wie Zähne- oder Zungenpressen), psychologische (z. B. Stress) als auch anatomische (z. B. Gelenkveränderungen) Faktoren einen signifikanten Einfluss (McNeill 1993). Okklusale Aspekte in Form von Vorkontakten im *posterioren* Bereich der Zähne sowie die Diskrepanz zwischen der maximalen *Interkuspidation* und der maximal *retrudierten* Position des Unterkiefers spielen ebenfalls eine ursächliche Rolle (McNeill 1993).

Symptomatisch äußert sich die CMD in o. g. Schmerzen und Geräuschen (Knacken oder Krepitation) im Bereich des Kiefergelenks, Bewegungseinschränkungen/-abweichungen des Unterkiefers, muskulären Problemen und/oder veränderter Okklusion (Bell 1986). Ergänzt werden die Hauptsymptome durch Begleiterscheinungen wie z. B. Ohrensausen oder Schwindel (Steenks und de Wijer 1991). Der Schmerz wird dabei durch Druck oder Quetschung der gut innervierten und durchbluteten bilaminären Zone verursacht (Thiem 2013).

Somit gibt es eine Vielzahl an Bewertungskriterien, die für die Einteilung der Dysfunktionen des Kausystems relevant sind. Daher ergaben sich in den vergangenen Jahrzehnten diverse Klassifikationsschemata. Beispielhaft sei hier jenes von Ahlers und Jakstat aus dem Jahr 1991 aufgezeigt (Stelzenmüller und Wiesner 2010):

Tabelle 1: Klassifikation der Dysfunktionen des Kausystems nach Jakstat und Ahlers aus dem Jahr 1991 (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Initialdiagnosen

Okklusopathie:

Parafunktion Pressen

Parafunktion Knirschen

Gestörte statische Okklusion

Gestörte dynamische Okklusion

Myopathie:

Elevatoren

Laterotraktoren

Retraktoren

Protraktoren

Hilfsmuskulatur

Arthropathie:

Diskusverlagerung ohne Reposition

Diskusverlagerung ohne Reposition

Inaktive Arthrose (Osteoarthrose)

Aktivierte Arthrose (aktivierte Osteoarthrose)

Kondylusverlagerung nach kranial

Kondylusverlagerung nach kaudal (Gerber Test)

Kondylushypermobilität

Kondylusluxation

Nebendiagnosen

Orthopädie

Psychosomatik

Differentialdiagnosen

Entsprechend der Klassifikation für Orofazialschmerz der AAOP

International haben sich dabei jedoch die RDC/TMD durchgesetzt (Stelzenmüller und Wiesner 2010), auch wenn sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben und dienen im Folgenden als diagnostische Grundlage dieser Arbeitsgruppe:

Tabelle 2: Klassifikationsschema der CMD nach Dworkin in der RDC/TMD (Dworkin und LeResche 1992).

Gruppe 1: Schmerzen im Bereich der Kiefermuskulatur

Ia Myofaszialer Schmerz ohne Limitation der Mundöffnung

Ib Myofaszialer Schmerz mit Limitation der Mundöffnung

Gruppe 2: Verlagerung des Discus articularis

IIa Verlagerung des Diskus mit Reposition

IIb Verlagerung des Diskus ohne Reposition mit Limitation der Mundöffnung

IIc Verlagerung des Diskus ohne Reposition ohne Limitation der Mundöffnung

Gruppe 3: Arthralgie, Arthritis, Arthrose des Kiefergelenks

IIIa Arthralgie

IIIb Arthritis

IIIc Arthrose

Unter anderem anhand dieser Gliederung werden im weiteren Verlauf einige der Pathophysiologien des Kiefergelenks erläutert.

1.2.1 Myogene Erkrankungen

Myogen bedingte Dysfunktionen sind innerhalb der RDC/TMD-Gliederung die erste Hauptgruppe der Pathophysiologien einer CMD.

Sie werden direkt durch Überbelastung, Ermüdung, Auskühlung oder Trauma der Kau- und Kauhilfsmuskulatur und indirekt z. B. durch Stress oder *Arthritis* verursacht. Vor allem spielen auch orale Parafunktionen als Kofaktor einer CMD eine Rolle (Bell 1986). Das sind Bewegungen, die keinem funktionellen Zweck dienen und sich in Form von Zähnepressen oder -knirschen, Wangen- und Lippenbeißen äußern. Ausgelöst werden sie durch emotionalen Stress und besondere Belastungssituationen im Alltag der Patienten und Patientinnen. Sie führen zu Muskelschmerz, welcher durch einen Sauerstoffmangel und Übersäuerung des Muskels verursacht wird, aber auch zu Schmerzen im Kiefergelenk, Zahnbeweglichkeit und -schmerz, Abrasionen, Frakturen von Restaurationen und Kopfschmerz am Morgen (Carlsson et al. 2000).

Die o. g. Faktoren aktivieren sog. Triggerpunkte, welche den Schmerzreiz afferent über das Rückenmark an das Gehirn weiterleiten. Von dort aus wird der Reiz efferent an den Muskel

weitergegeben. Daraus resultieren dann schmerzhafte Verhärtungen, Verkürzungen oder Entzündungen des Muskelgewebes.

Symptomatisch äußert sich diese Form der CMD neben den Schmerzen häufig auch in einer eingeschränkten Mundöffnung (Ahlers und Jakstat 2011; Bell 1986).

Die Bewegungseinschränkung des Muskels kommt durch eine "Schonhaltung" des Körpers zu Stande-der Muskel wird nur bis zum Auftreten des Schmerzes und nicht weiter beansprucht (Travell und Simons 1983).

Durch die genannten Triggerpunkte innerhalb des betroffenen Muskelgewebes kann der Schmerz zusätzlich auch auf weitere Regionen des Körpers übertragen werden (Travell und Simons 1983). So kann beispielsweise eine Verspannung des *M. masseter* und die Aktivierung des darin enthaltenen Triggerpunkts den Schmerz in den Bereich der Augenbrauen, um das Ohr, um die Wangen und/oder um die Molaren im Oberkiefer projizieren (Steenks und de Wijer 1991; Travell und Simons 1983).

Daher ist eine Differentialdiagnostik sehr bedeutsam, da auch viele weitere Erkrankungen außerhalb der Kaumuskulatur Schmerzen im Bereich der Projektionsfelder und des Kiefergelenks mit sich bringen. Dazu gehören u. a. Krankheitsbilder wie die Trigeminusneuralgie, Gesichtsschädeltumore, Entzündungen der Ohrspeicheldrüse oder *arthrogene* Veränderungen des Kiefergelenks (s. u.) (Steenks und de Wijer 1991).

Auf die *myogenen* Dysfunktionen soll im Weiteren nicht mehr eingegangen werden, da sich die Dissertation auf die bildgebenden Verfahren für den Bereich der knöchernen Strukturen und Dysfunktionen des Kiefergelenks bezieht.

1.2.2 Arthrogene Erkrankungen

Arthrogene Erkrankungen umfassen die Pathologien aller knöchernen Strukturen des Kiefergelenks. Im Folgenden soll auf die zwei Hauptgruppen der RDC/TMD in Bezug auf arthrogene Ursachen besonders eingegangen werden, da diese neben den myogenen Ursachen in der Tätigkeit eines Zahnarztes oder einer Zahnärztin einen Schwerpunkt darstellen. Dazu zählen Diskusverlagerungen und Arthralgie/ Arthritis/Arthrose.

Dennoch gibt es zahlreiche weitere, u. a. auch systemische Erkrankungen, die eine Funktionsstörung des Kausystems hervorrufen können. Beispielhaft seien hier das Gelenktrauma und Fehlentwicklungen wie die Hypo-/Hyperplasie erwähnt (McNeill 1993). Auch Frakturen, Tumoren und Metastasen gehören zu den *intrakapsulären* Erkrankungen. Zu jenen

extrakapsulären seien etwa noch Entzündungen der Glandula parotis oder submandibularis, Entzündungen der Kieferhöhlen, Logenabzesse (z. B. in der infratemporalen Loge) und Tumore genannt. Auch neurologische oder dentogene Ursachen, in Form einer Pulpitis oder eines periapikalen Geschehens können zu ausstrahlenden Schmerzen im Bereich des Kiefergelenks führen (Steenks und de Wijer 1991). Diese vielseitigen Ursachen erschweren ein Zuordnen der Symptomatik zu ihrem Ursprung und das Einleiten der korrekten Therapie.

1.2.2.1 Diskusverlagerung und -veränderungen

Die Diskusverlagerung in anteriorer (oder anteromedialer) Richtung ist die am häufigsten auftretende Arthropathie des Kiefergelenks. Als Hauptursache wird eine Gelenküberbeweglichkeit durch überdehnte oder gerissene Ligamente vermutet, die den Diskus mit dem Kondylus verbinden und diesen somit nach anterior vor den Kondylus gleiten lassen. Alternativ können auch die unebene Oberfläche des Knochens oder des Diskus, eine fehlerhafte Koordination zwischen Diskus und Kondylus, Muskelhyperaktivitäten, eine Verminderung der Gelenkflüssigkeit oder auch ein Trauma von Relevanz sein. Es wird zwischen anteriorer Verlagerung "mit" und "ohne Reposition" unterschieden. Dabei ist ersteres Krankheitsbild gekennzeichnet durch ein diagnostizierbares reziprokes Knacken, welches durch das Repositionieren des Diskus auf den Kondylus während der Translation der Mundöffnungsbewegung entsteht. Auch kurz vor Ende der Mundschlussbewegung ist ein leiseres Knacken wahrnehmbar, hervorgerufen durch erneute Dislokation des Diskus (Carlsson et al. 2000; McNeill 1993).

Dieses Geräusch fehlt bei der Verlagerung ohne Reposition. Es können dabei überdies Schmerzen auftreten, vorrangig während des "Aufspringens" des Diskus (s. o.) oder im Zustand ohne Reposition. Sofern der Diskus nicht wieder in eine physiologische Position zum Kondylus findet, ist dies oftmals begleitet von einer eingeschränkten Kieferöffnung, einer *Deflexion* zur betroffenen Seite und einer limitierten *Laterotrusion* auf der Gegenseite. Ebenfalls sind das Kiefergelenk oder die beteiligten Muskeln palpationsempfindlich. In einer MRT-Aufnahme ist eine solche Dysfunktion u.U. nachweisbar. Oft ist bei fehlender Reposition eine Diskusdeformation bis hin zur Zerstörung sichtbar. Die Symptome klingen bei Übergang in einen chronischen Zustand ab (McNeill 1993).

Ferner existiert die *posteriore* Diskusverlagerung, bei der der *pars anterior* des *Discus articularis* sowohl bei geschlossenem als auch geöffnetem Mund *dorsal* des Kondylus liegt.

Typisch ist hier eine Mittellinienabweichung zur gesunden Seite sowie ein seitlich offener Biss wenn eine *anteriore* Schonhaltung des Unterkiefers eingenommen wird. Ursächlich ist oftmals ein Trauma (Bumann und Lotzmann 1999). Diese Form ist selten und wird im Folgenden vernachlässigt.

Ebenso kann der *Discus articularis* in seiner erythrozytenförmigen Gestalt verändert sein. Die Ursachen hierfür können angeboren oder erworben sein. Die Veränderung der anatomischen Gestalt führt meist zu schmerzlosen Kiefergelenksgeräuschen in Form von Reiben oder Knacken, die an der gleichen Position des Kondylus während des Kieferöffnens und des -schlusses auftreten.

Eine große Bedeutsamkeit kommt der Diskusperforation zu, welche durch starke Kompression des Gelenkes entsteht und meist am dünneren *lateralen* Pol lokalisiert ist. Diese Veränderung bleibt lange Zeit asymptomatisch auf Grund fehlender Schmerzrezeptoren (dies macht die Diagnostik lange Zeit sehr schwierig) bis eine strukturelle Umwandlung am umliegenden Knochen und eine Abflachung des Kondylus entsteht. Dann lassen sich radiologisch ein verformter Umriss des Diskus oder des Knochens erkennen (McNeill 1993).

Der Diskus verliert durch Formveränderung seine druckdämpfende Funktion. Zunächst führt es ab Beteiligung der Knochenstrukturen zu akut schmerzhafter und eingeschränkter Mundöffnung, später geht es in einen chronischen, weniger schmerzhaften Zustand der Kiefergelenksarthrose über (Hansson et al. 1976; 1977).

1.2.2.2 Arthralgie, Arthritis, Arthrose

Die Osteoarthritis und -Arthrose sind degenerative Gelenkerkrankungen. Im Gegensatz zur Osteoarthrose, welche größtenteils asymptomatisch verläuft, ist eine Arthritis stets symptomatisch auf Grund einer beginnenden Entzündung der chondralen und subchondralen Schicht. Die o. g. Krankheitsbilder sind durch Zerstörung und Fibrillation des Gelenkgewebes gekennzeichnet. Dadurch verändert sich die Form des Gelenks. Als Ursachen gibt es u. a. einen rheumatoiden Hintergrund (als Systemerkrankung), ein Trauma oder lokale Infektionen. Es sind doppelt so viele Frauen als Männer betroffen und das Auftreten steigt mit zunehmendem Alter (Ahlers und Jakstat 2011). Als Symptome werden Kiefersteifheit, Krepitation, Schmerzen und Einschränkung bei Gelenkbewegung angegeben-sie wechseln zwischen Ruhephasen und Akutphasen auf Grund von Überbeanspruchung des Gelenks. Oft treten diese Anzeichen unilateral auf. Röntgenologisch lassen sich die Krankheitsbilder erst

spät erkennen — dann in Form von Sklerose, Osteophytenbildung, verkleinertem Gelenkspalt oder Abflachung des Kondylus (Carlson et al. 2000; Ahlers und Jakstat 2011). Die rheumatische *Arthritis* stellt eine Sonderform der *Arthritis* dar, die meist *bilateral* auftritt und zu den Autoimmunerkrankungen zählt, bei der es zur fortschreitenden Resorption des Kondylus und schmerzhaften Schüben kommt (Schwenzer und Ehrenfeld 2011). Das Krankheitsbild der *Arthralgie* (auch *Kapsulitis, Synovitis*) beschreibt hingegen den reinen Gelenkschmerz mit Rötungen und Schwellungen in diesem Bereich, der ohne weitere Symptome einer *Arthritis* einhergeht. Oftmals sind zu hohe Druck- und Zugkräfte auf die ligamentären Strukturen und ein Gelenkerguss auslösend. Eine *Arthralgie* kann aber auch bei anderen Krankheiten wie Gicht, Infektionskrankheiten (z. B. Röteln) und Metastasen/Tumoren im Kiefergelenksbereich auftreten (Ahlers und Jakstat 2011).

1.3 Bildgebende Diagnostik zur Untersuchung des Kiefergelenks

Neben der Erkennung pathologischer Veränderungen der Zahnhartgewebe, der *Pulpa* oder des *Parodontiums*, vorwiegend mittels einer Orthopantomogramm- (OPAN) oder Zahnfilmaufnahme, wird auch der Erkennung der Kiefergelenkspathophysiologien im zahnmedizinischen Alltag große Bedeutsamkeit zugeschrieben. Das Kiefergelenk stellt auf Grund seiner topografischen Lage und seiner komplexen Anatomie sowie Funktionalität hohe Anforderungen an die bildgebende Diagnostik. Somit haben sich zahlreiche Verfahren entwickelt, um das Gelenk darzustellen, wobei erst deren Kombination eine ausreichende Bildgebung ermöglicht. Denn sowohl eine räumliche Orientierung als auch eine Funktionsbeurteilung sowie Reproduzierbarkeit und Überlagerungsfreiheit der Aufnahmen sollen gewährleistet sein (Rother 2006).

Es sollte stets eine ausführliche klinische Untersuchung der Bildgebung vorausgehen. Denn die Bildgebung allein kann keine symptomatischen von asymptomatischen Personen unterscheiden, jedoch den klinischen Eindruck von Abnormalitäten der bindegewebigen oder knöchernen Strukturen bestärken (Dworkin und LeResche 1992). Entgegengesetzt können auch in den Aufnahmen Diagnosen wie z. B. eine Diskusverlagerung befundet werden, die jedoch keinerlei Relevanz haben, da die Patienten und Patientinnen weder unter Schmerz noch Dysfunktion leiden. Somit ist die Notwendigkeit der Verwendung von hochauflösenden Bildgebungsverfahren oftmals nicht gegeben (Carlsson et al. 2000).

Sollte dennoch eine weitere, exaktere Bildgebung zur Sicherstellung der Diagnose nötig sein, greift man u. a. auf Panoramaschichtaufnahmen, invasive Arthrographien, die Computertomographie vor allem jedoch auf die spezifische, non-invasive Magnetresonanztomographie zurück (Rother 2006; Brooks et al. 1997).

1.3.1 Die Magnetresonanztomographie im Vergleich zur Tomographie und zum klassischen Röntgen (OPAN)

Die Panoramaschichtaufnahme verkörpert neben vielen weiteren Optionen des klassischen Röntgens eine simple Aufnahmetechnik des Kiefers und wird zahlreich in der Zahnarztpraxis angewendet. Es zeigte sich jedoch in der Vergangenheit, dass sowohl der Kondylus als auch der temporale Gelenkanteil nicht ausreichend gut dargestellt werden (Mawani et al. 2005; Schmitter et al. 2006). Auch vertikale Asymmetrien zwischen Kondylus und Ramus auf beiden Seiten konnten nicht deutlich befundet werden (Türp et al. 1996). Somit sollte auf die klinische Untersuchung und andere Bildgebungstechniken zurückgegriffen werden, um die mögliche Diagnose einer CMD zu sichern (Epstein et al. 2001).

Eine weitere Aufnahmetechnik repräsentiert die Computer-Tomographie (CT), die im *oro-fazialen* Bereich immer mehr durch die gleichwertige digitale Volumentomographie (DVT) abgelöst wird. Bisher ergaben Studien gleichwertige Resultate der beiden Techniken bei indes deutlich reduzierter Strahlenbelastung im DVT (Hintze et al. 2007).

Die CT ist besonders geeignet um knöcherne Strukturen mit ihren Abnormitäten wie Frakturen, *Neoplasien* oder *Arthritiden* darzustellen. Für die Bestimmung der Position (sowohl bei geöffneter als auch geschlossener Mundposition) und Morphologie des knorpeligen *Discus articularis* bewies sich die MRT als aussichtsreich und hat sich somit als Standardverfahren der erweiterten bildgebenden Diagnostik im Bereich der CMD bewährt, besonders zur Erkennung von Diskusverlagerungen. Sie zeichnet vor allem Weichgewebe durch einen hohen Kontrast und beteiligte Muskelstrukturen auf. Dazu zählen sowohl Diskusperforationen, Gelenkergüsse als auch arthritische Veränderungen (mittels Kontrastmittelgabe). Indes können auch knöcherne Konturen erkannt werden und sie erzeugt keinerlei Strahlenbelastung, da das Bild durch Magnetfelder erzeugt wird (Brooks et al. 1997; Aiken et al. 2012). Wie bereits genannt, ist der Mehrwert einer bildgebenden Untersuchung für die Diagnosefindung nicht immer gegeben und individuell abzuwägen — daher ist der Verzicht auf Strahlenbelastung von großer Bedeutung. Wiederum ist die MRT bei einigen Patienten und

Patientinnen, vergleichsweise auf Grund von Herzschrittmachern oder metallischen Prothesen, kontraindiziert.

1.3.2 Die *Realtime*-Magnetresonanztomographie

Um nun überdies die Dynamik des Gelenkkondylus und -diskus mitsamt der Pathophysiologien innerhalb eines bildgebenden Verfahrens besser beurteilen zu können, wurde die Radiologie durch die fortschrittliche *Realtime*-Magnetresonanztomographie erweitert. Sie wird beispielsweise auch im Fachgebiet der Kardiologie verwendet um u. a. Blutfluss, Gewebedurchblutung und anatomische Strukturen am schlagenden Herzen erkennen zu können, ohne dabei auf eine Synchronisation zwischen EKG und ursprünglichem MRT angewiesen zu sein (Zhang et al. 2014).

Diese Technik trat aus der sog. pseudo-dynamischen MRT (CINE-Mode = kinematografisch) hervor, bei der aus Einzelbildern mithilfe eines Computerprogramms eine dynamische Bewegung der Strukturen, z. B. während der Mundöffnungsbewegung, simuliert wurde. Dabei mussten stets unterschiedlichste Aufbissbehelfe verwendet werden, um die Probanden und Probandinnen während der verschiedenen Mundöffnungspositionen innerhalb der langen Aufnahmezeiten zu unterstützen (Burnett et al. 1987, Conway et al. 1988). Diese Bilder führten freilich zu keinem Mehrwert in der Beurteilung der Strukturen, da die statischen Bilder nur vor und nach der Diskusverlagerung aufgenommen wurden und nicht den dynamischen Prozess der eigentlichen Verlagerung darstellten (Tymofiyeva et al. 2007).

1985 vollzog sich ein revolutionierender Fortschritt in der Aufnahme von *Realtime*-Aufnahmen mit der Entwicklung der *Realtime*-MRT am Max-Planck-Institut Göttingen. Bis dato war es auf Grund der sehr langen Aufnahmezeiten der Bilder nicht möglich diese Technik im Alltag anzuwenden. Diese neue Technik basiert auf der sog. *fast low angle shot* (FLASH) Technik. Die Protonen der Wasserstoffatome im Gewebe können durch einen anderen Radiowellenimpuls als beim klassisch statischen MRT in einem kleineren Winkel (5 – 15°) ausgelenkt werden und die Impulse folgen schneller aufeinander (daher FLASH). Bei der noch innovativeren hier genutzten FLASH II Methode wird ebenfalls eine Gradientenecho-MRT genutzt, aber nur noch die Daten gemessen, die sich von einem Bild zum darauffolgenden unterscheiden. Dies ist durch die radiale Signalabtastung (extreme Unterabtastung) und leistungsfähigere Computer zum Verarbeiten der Signale möglich (Zhang et al. 2010;

Uecker et al. 2010). Die schnellere Bildberechnung kann durch numerische Mathematik mit Hilfe eines Algorithmus zur Lösung eines nichtlinearen inversen Problems (NLINV) erreicht werden. Durch Parallelisierung des Algorithmus findet eine automatische unmittelbare Bildrekonstruktion und Darstellung der Bilder statt (Schaetz und Uecker 2010). Der NLINV Algorithmus wird implementiert in einen Grafikkartenrechner mit 2x4 Grafikkarten, welcher wiederum in jedes kommerzielle MRT System mittels eines Steckers integriert werden kann. Die raumzeitliche Genauigkeit kann durch verschiedene Filter erreicht werden-restliche Artefakte in den Bildern werden reduziert und Details dennoch ohne Unschärfe dargestellt (Klosowski und Frahm 2017).

Die Geschwindigkeit der MRT konnte somit um das mehr als 10.000fache erhöht werden und die gesamte Aufnahmezeit wird stark verkürzt. Folglich werden sehr hoch aufgelöste Bilder sowie *Realtime*-Aufnahmen *in-vivo* möglich.

Seit dem Jahr 2010 wird nun die FLASH II Technik verwendet. Es konnte die Auflösungsrate in Bezug auf die Untersuchung des Kiefergelenks innerhalb von drei Jahren (2012 – 2014) von 3 auf 15 Bilder pro Sekunde modifiziert werden (Zhang et al. 2014).

1.4 Der Fragebogen RDC/TMD als klinisches Diagnostikmittel

Die internationalen Kriterien RDC/TMD wurden 1992 von Samuel F. Dworkin und Linda LeResche im Journal of Craniomandibular Disorders, Facial & Oral Pain (heute: Journal of Oral & Facial Pain and Headache) veröffentlicht, um ein standardisiertes Diagnostik- und Klassifikationssystem für die komplexen Erscheinungsformen der *kraniomandibulären* Dysfunktionen zu schaffen, welches sowohl im klinischen Alltag als auch in der Forschung Anwendung finden kann. Der Untersuchungs- bzw. Fragebogen wurde in 21 Sprachen übersetzt und unterliegt einer ständigen, auf Forschung beruhenden Überarbeitung. Somit ist eine evidenz-basierte Reliabilität, Validität und klinischer Nutzen sichergestellt (Stelzenmüller und Wiesner 2010).

Die Idee der ständig voranschreitenden Überarbeitung und Überprüfung des Diagnostikmittels basiert auf der von der *American Psychiatric Association* verfassten *Research Criteria* für die Klassifikation und Diagnose der psychischen Störungen anhand des ursprünglichen Schemas *Diagnostic and Statistical Manual for Mental Disorders*.

Die RDC/TMD umfassen nicht jede Möglichkeit einer CMD, sondern beinhalten die klar erkennbaren Formen, die in drei Diagnosegruppen unterteilt wurden. Dies sind die *myogenen* Erkrankungen, die Verlagerungen des *Discus articularis* und die inflammatorischen degenerativen Erkrankungen des Kiefergelenks (siehe Abbildung 6-10) (Dworkin 2010).

Des Weiteren teilten Dworkin und LeResche ihre Diagnostik in zwei Achsen ein.

Die erste befasst sich mit der physischen Untersuchung und der Anamnese der Personen, wohingegen die Achse II den psychologischen Status, die Schmerzempfindung und die Kieferfunktionen erfasst. Aus den Ergebnissen der Fragebögen und Untersuchungen sollte der Arzt eine klare Diagnose anhand der drei Diagnosegruppen (siehe Abbildung 6-10) stellen können (2010).

Im Jahr 2014 überarbeitete eine Gruppe von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen die RDC/TMD, da die Validität des Algorithmus der Achse I als zu wenig spezifisch (Zielwert ≥0.95) und sensibel (Zielwert ≥0.7) in einem Validierungsprojekt ermittelt wurde. Auch die Untersuchungsmethoden der Achse II sollten überarbeitet und ergänzt werden. Daraufhin entwickelte sich die neue Form, die sog. *Diagnostic Criteria for Temporo Mandibular Disorders* (DC/TMD), welche zu einem besseren Erkennen und Klassifizieren der CMD, einem besseren Verständnis der Untersuchungsschritte und einer Zeitersparnis führen soll (Schiffman et al. 2014). Auch dieser ist bereits in mehreren Sprachen verfügbar.

1.5 Therapiemöglichkeiten der Kraniomandibulären Dysfunktionen

Durch die multikausale Ätiologie und den Facettenreichtum der Symptomatik der CMD ist eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Fachbereichen wie der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Physiotherapie oder Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie notwendig. Bei allen Patienten und Patientinnen gibt es eine unterschiedlich starke Verteilung auf psychosoziale, funktionelle und anatomische Ursachen der Erkrankung sowie Auftreten der Symptome. Somit muss immer ein individuelles Therapiekonzept angewendet werden (Steenks und de Wijer 1991). Primär wird das konservative Therapiekonzept mittels Okklusionsschienen und Physiotherapie auf Grund der geringen Nebenwirkungen bevorzugt. Außerdem muss auch der psychologisch-ätiologische Aspekt durch eine Psychotherapie oder kognitives Training Berücksichtigung finden. Denn es ist bekannt, dass psychologische Faktoren wie Stress und Depressionen für einen erheblichen Anteil der CMD ursächlich sind (Su et al. 2017; Durham

et al. 2015). Zusätzlich werden Kälte-, Wärme-, Licht- sowie Lasertherapie und manuelle Übungen eingesetzt.

Generell ist die Schienentherapie die am häufigsten verschriebene Therapiemethode. Laut einer Metaanalyse aus dem Dezember 2016 wird durch die Anwendung von Okklusionsschienen sowohl das Schmerzempfinden als auch die -dauer reduziert und die maximale Mundöffnung bei Personen mit einer Mundöffnung <45 mm erweitert (Zhang et al. 2016). Es stehen diverse Schienen zur Verfügung. Hier sollen beispielhaft in Tabelle 3 drei Optionen erwähnt sein:

Tabelle 3: Drei Schienentypen zur Behandlung einer CMD mit Indikationen und genannten Beispielen nach Freesmeyer et al. (2005).

Schienentyp	Funktionsweise	Indikation	Beispiel
Reflex-Schiene	Schützt vor habituellem Zahn-	Bei akuten Sympto-	Interzeptor
	kontakt (Knirschen/Pressen) ->	men durch Überbean-	
	wirkt sich positiv auf Zahn und	spruchung des Gewe-	
	Muskelbeschwerden aus	bes; zur kurzzeitigen	
		Anwendung	
Stabilisierungs-Schiene	Imitieren eine ideale Okklusion,	Kann kurz- oder	Michigan
	symmetrische Zahnkontakte,	langfristig benutzt	
	eine zentrische Position der	werden, um akute	
	Kondylen in statischer Okklu-	und chronische	
	sion sowie eine Disklusion im	Symptome zu lin-	
	lateralen Zahnbereich während	dern; zusätzlich psy-	
	der dynamischen Okklusion	chologischer Faktor	
Schienentyp	Funktionsweise	Indikation	Beispiel
Repositionierungs-	Das Kiefergelenk wird durch	z. B. bei anteriorer	Anteriore
schiene	diese Schiene in eine therapeuti-	Diskusverlagerung	Repositionie-
	sche Position gebracht, um eine	mit oder ohne Repo-	rungsschiene
	dauerhafte symptomfreie Posi-	sition, bei Kompres-	
	tion zu erreichen	sion des Diskus, Os-	
		teoarthritis; zur kurz-	
		und langfristigen	
		Therapie	

Die Physiotherapie dient dem Muskelaufbau und der -entspannung. Insbesondere soll bei den regelmäßigen Sitzungen das Bewusstsein für habituelle Parafunktionen geweckt und mögliche Asymmetrien, Schmerzen oder Limitationen behoben werden. Massagen und gezielte Stimulation der Trigger-Punkte führen zur Verbesserung der Zirkulationsstörungen und sorgen für eine Regulation des Muskeltonus (Stelzenmüller und Wiesner 2010). Somit tritt eine Entspannung und Schmerzreduktion ein (Wieckiewicz et al. 2015). Bei guter Compliance können auch Massage-Übungen für Zuhause mit an die Hand gegeben werden um eine verbesserte Durchblutung der Kaumuskulatur zu erreichen.

Darüber hinaus stehen dem oder der behandelnden Arzt oder Ärztin invasive Maßnahmen zur Verfügung. Früher wurde angenommen, dass Störungen in der statischen Okklusion oder dynamischen Artikulation zwischen den beiden Zahnreihen einzig ursächlich für eine Dysfunktion im *stomatognathen* System seien. Heute weiß man, dass diese Aspekte nur einen Teil der Ätiologie ausmachen. Dazu zählt der Verlust von Zähnen, veränderte Kaumuster und neue, zu hohe prothetische Versorgungen oder Füllungen. Diese können einen Vorkontakt verursachen und den Unterkiefer aus seiner zentralen Relation drängen. Dadurch werden Schmerz sowie Druck erhöht und können über Rezeptoren zu *myogenen* Dysfunktionen oder Diskusverlagerungen führen. Um diese ätiologischen Faktoren zu beseitigen, kann der Behandler auf das Einschleifen der Okklusion oder eine Bisshebung mittels prothetischer Versorgungen zurückgreifen. Jedoch ist die am häufigsten angewandte Therapie zur Elimination der dysfunktionalen Symptome die Schienentherapie (Steenks und de Wijer 1991).

Im Fall von stark degenerativen Krankheitsbildern und daraus resultierenden hochgradig akut oder chronisch schmerzenden Kiefergelenken (z. B. bei *Arthritis* oder Parkinson) kann andernfalls von pharmakologischer Therapie, meist ergänzend zu anderen Methoden, Gebrauch gemacht werden. Sie bewirkt eine verbesserte Beweglichkeit des Gelenks, indem Schmerz und Entzündung gelindert werden. Am zahlreichsten verschrieben werden u. a. *non-steroidal anti-inflammatory drugs* (NSAID) und Glukokortikoide. Dazu stehen Injektionen mit Lokalanästhetika (z. B. Lidocain) zur Reduktion schmerzhafter Muskelspasmen zur Verfügung (Carlson et al. 2000; Freesmeyer et al. 2005). Ein weiterer Ansatz der medikamentösen Therapie ist die Injektion von Botulinum Toxin A in die Kaumuskulatur, um eine schmerzhafte Entzündung durch Überbelastung bis hin zum Spasmus zu vermeiden und vorübergehend eine Schmerzlinderung zu ermöglichen (Bogucki und Kownacka 2016). Dies geschieht durch die hemmende Wirkung auf die Ausschüttung der *präsynaptischen* Acetyl-

cholinvesikel an neumuskulären Neuronen sowie aus postganglionären cholinergen Neuronen im autonomen Nervensystem. Es führt zu einer reversiblen Schwächung oder Lähmung des betroffenen Muskels (Sellin und Thesleff 1981). Chirurgisch können schwerwiegende degenerative Erkrankungen des Kiefergelenks durch Punktierung des Gelenkspalts, Injektion von thrombozytenreichem Plasma oder gar durch den Ersatz des Kiefergelenks behandelt werden. Auch könnte sich der Einsatz von mesenchymalen Stammzellen zum Kondylenersatz in Zukunft bewähren, was bereits in vitro getestet wurde (Wu et al. 2014). Dabei sollten jedoch die erheblichen Risiken bedacht werden.

1.6 Fragestellung

Anhand dieser Studie sollte dargestellt werden, inwiefern die Untersucher-Diagnosen durch eine klinische Untersuchung mittels der RDC/TMD und durch dynamische *Realtime*-Videos im Magnetresonanztomographen übereinstimmen. Ferner wird betrachtet, ob beide Methoden ein reliables und valides Diagnostikmittel darstellen. Zuletzt wird auch die Weiterentwicklung der *Realtime*-Aufnahmen anhand erhöhter Bildauflösungsraten, der Vergleich zur klassischen MRT-Aufnahme und der mögliche diagnostische Mehrwert der dynamischen Betrachtung des Kiefergelenks bei *kraniomandibulären* Dysfunktionen diskutiert.

2 Material und Methoden

Diese klinische Studie ist gemeinsam von der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahnmedizin der Universitätsmedizin der Georg-August-Universität Göttingen (Leiter Prof. Dr. R. Bürgers) und der Biomedizinischen NMR Forschungs GmbH am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie (Direktor Prof. Dr. J. Frahm) durchgeführt worden.

2.1 Proband*innenkollektiv

Das Kollektiv an Teilnehmenden bestand aus zufällig ausgewählten Zahnärzten und Zahnärztinnen und Zahnmedizinstudierenden. Es handelte sich um 20 weibliche sowie 14 männliche Probanden, somit nahmen insgesamt 34 Teilnehmer*innen an der Studie teil. Das Durchschnittsalter lag bei 24,9 Jahren, wobei die älteste Probandin 36 Jahre und der jüngste Proband 18 Jahre alt war.

Nachdem die Ethikkommission ein positives Votum zur Durchführung der Studie gegeben hatte (Nr. DOK_78_2015), wurden die Durchführung und Risiken des Scans in der *Real-time*-MRT sowie die klinische Untersuchung anhand des Fragebogens (der RDC/TMD) aufgeklärt und erklärten sich damit einverstanden, an der Studie teilzunehmen.

Die Untersuchung anhand der *Realtime*-MRT am Max-Planck-Institut fand in zwei Gruppen an zwei Terminen statt. Im Anschluss wurde die klinische Untersuchung mittels Fragebogen von Zahnarzt Dr. T. Wassmann (Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik) durchgeführt.

2.2 Methodik der *Realtime*-MRT

Die Untersuchung der 34 Probanden und Probandinnen fand ausschließlich im 3 Tesla (T) Gradientenecho-Magnetresonanztomographen des Max-Planck-Instituts Göttingen statt. Nachdem die Teilnehmer*innen der Studie erneut über die Risiken und den Ablauf aufgeklärt wurden, sie alle metallischen Gegenstände ab- und Ohrstöpsel angelegt hatten, platzierten sie sich nach Standard-Prozedere nacheinander waagerecht auf der Liege des Tomographen. Hierbei wurde der Kopf möglichst stabil gelagert und ein Kopfaufsatz mit einer Standard 64-Kanal-Kopfspule oberhalb des Kopfes angelegt. In diesem Kopfaufsatz befand sich ein Spiegel, über den die Teilnehmer*innen eine Power Point-Präsentation (s. u.) wäh-

rend der Aufnahme sahen. Die beidseitigen Spulen konnten individuell an die Lage des Kiefergelenks angepasst und dann arretiert werden. Die Orientierung fand dabei mit Hilfe des *Tragus* und der "Frankfurter Horizontalen" statt. Diese gedachte Ebene verbindet die höchsten Punkte des *Porus acusticus externus* mit den tiefsten Punkten der knöchernen *Orbita* (Nötzel et al. 2007).

Die o. g. Power Point-Präsentation zeigte, wann und in welcher Geschwindigkeit der Unterkiefer aus der geschlossenen Position maximal geöffnet und wieder in die habituelle *Interkuspidation* gebracht werden sollte. Jede dieser Bewegungen dauerte 10 Sekunden, also 20 Sekunden insgesamt. Dieser Vorgang wurde zweifach wiederholt, um drei verschiedene Schichten zu erfassen (s. u.). Infolgedessen sollte eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zwischen den Studienteilnehmer*innen gewährleistet sein.

Vorab wurden zunächst noch sogenannte *Localizer*-Aufnahmen durchgeführt. Es wurde pro Kiefergelenksseite anhand eines axialen statischen Bildes des Kopfes eine *sagittale* Schicht gewählt, die senkrecht zur Achse des Kondylus stand. Es wurde darin eine zentrale Schicht definiert und davon ausgehend jeweils eine *mediale* und *laterale* Schicht im Abstand von 5 mm (*section thickness*) pro Kiefergelenkseite. Die räumliche Auflösung der Aufnahmen betrug 0,75 mm in der Bildebene. Somit ergaben sich 12 *Realtime*-MRT-Videos pro Proband oder Probandin mit zwei Kiefergelenken, da zwei verschiedene Kontraste verwendet wurden (T1 und T2/T1 Kontrast). Die Auswertungen der Videos durch die Untersucher fanden in dieser Studie anhand des T2/T1 Kontrasts statt. Jedes der Videos dauerte 20 Sekunden (gleiche Dauer wie die Power Point-Präsentation) und ergab somit bei einer Auflösung von 15 Bildern pro Sekunde eine totale Summe von 300 Einzelbildern pro Video. Die Messzeit entsprach 66,7 Millisekunden pro Einzelbild. Diese extrem schnelle Aufnahmetechnik und Berechnung der Bilder wurde durch Nutzung der innovativen FLASH II Technik erreicht. Insgesamt dauerte die Untersuchung pro Proband oder Probandin inklusive der Positionierung, der *Localizer*-Aufnahmen und der 12 Videos ca. 15 Minuten.

Zusammenfassend sind in der folgenden Tabelle 4 noch einmal die technischen Daten aufgelistet:

Tabelle 4:Technische Daten der für diese Studie genutzten Realtime-MRT.

MRT	3T Magnetom Prisma Fit, Siemens
	Healthcare, Erlangen, Germany
Spulen	64 channel head coil
Spokes	17 per frame
Section thickness	5 mm
Inplane resolution	0,75 x 0,75 x 5 mm ³
Base resolution/spoke	256 x 256
Repetition Time	3,92 ms
Flip angle	35°
Frame rate	15 per second
Gradient echo time TE	2,15 ms
Field of view FOV	192x192 mm^2

In der folgenden Abbildung 2 ist exemplarisch die Mundöffnungs- und Mundschlussbewegung einer Probandin aufgeführt. Das rechte Kiefergelenk ist in der zentralen *sagittalen* Schicht aufgenommen. Dieses Gelenk wurde von allen drei Gutachtern als "gesund" bzw. "ohne Diskusverlagerung" diagnostiziert. Da jede Videosequenz aus 300 Einzelbildern besteht, ist hier nur beispielhaft jedes 30. Bild dargestellt. Bild 1 und 10 geben den Mundschluss wieder, Bild 5 die maximale Mundöffnung.

Darunter ist ergänzend das rechte Kiefergelenk eines Probanden in der zentralen *sagittalen* Schicht dargestellt (Abbildung 3), bei dem 2 von 3 Gutachtern eine *anteriore* Diskusverlagerung mit Reposition diagnostiziert haben (Proband Vol. 6). Um den Sprung des Kondylus auf den Diskus während der Reposition besser erkennen zu können, wurden hier die anatomischen Strukturen farblich markiert. Die Reposition ist zwischen Bild 2 und 3 erkennbar. Das Anfangsbild stellt den Mundschluss dar, das Bild 5 die maximale Mundöffnung.

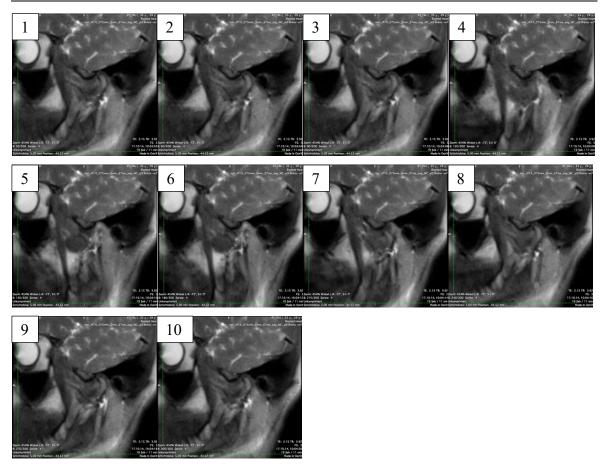


Abbildung 2: Mundschluss- und Mundöffnungsbewegung einer exemplarischen Realtime-MRT-Videosequenz in der zentralen *sagittalen* Schicht einer gesunden Probandin. Bild 1 und 10 stellen den Mundschluss dar, Bild 5 die maximale Mundöffnung.

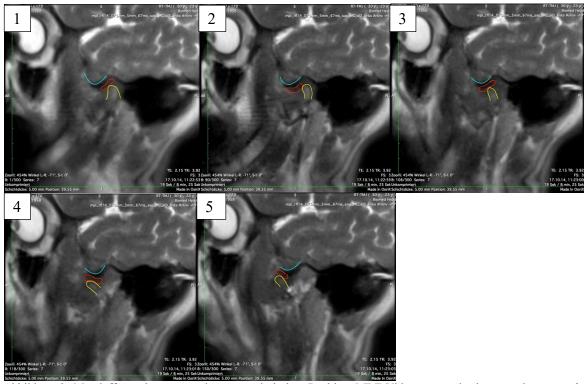


Abbildung 3: Mundöffnungsbewegung einer exemplarischen Realtime-MRT-Videosequenz in der zentralen *sagittalen* Schicht für ein rechtes Kiefergelenk mit diagnostizierter *anteriorer* Diskusverlagerung mit Reposition. Blau = *Eminentia mandibularis*, rot = *Discus articularis*, gelb = *Condylus articularis*. Zwischen Bild 2 und 3 ist der Sprung des Kondylus auf den Diskus erkennbar.

2.2.1 Auswertung der Realtime-MRT

Die Aufnahmen des *Realtime*-MRT wurde von drei erfahrenen Zahnärzten (siehe Tabelle 5) des Universitätsklinikums Göttingen, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, ausgewertet:

Tabelle 5: Zuordnung der Untersucher-Nummerierung und der Untersucher-Namen.

Untersucher Nummer	Untersucher Name/ Kürzel
4	Jens Wehle/ J.W.
5	Nikolaus Gersdorff/ N.G.
6	Torsten Wassmann/ T.W.

Dabei konnten sich die Behandler untereinander nicht austauschen oder beeinflussen. Sie hatten dabei immer die gleiche Zeitspanne (zweifaches Ansehen jeder Videosequenz, Gesamtzeit ca. 40 Sekunden) um die Bilder zu beurteilen.

Ausgewertet wurden anhand der Aufnahmen der *Realtime*-MRT sowohl die Sichtbarkeit der anatomischen Strukturen (in der zentralen *sagittalen* Schicht und während offenem, geschlossenem und sich bewegendem Kiefer) als auch die Physiologie der Kiefergelenksbewegung in Form von möglicher Verlagerung des Diskus und Bewegungsumfang des Kondylus in der *lateralen*, zentralen und *medialen* Schicht.

Dabei wurde die gestellte Diagnose bezüglich der Diskusverlagerung und des Bewegungsumfangs des Kondylus herangezogen um die Ergebnisse der *Realtime*-MRT mit den Ergebnissen der klinischen Untersuchung mittels der RDC/TMD vergleichen zu können. Eine Diagnose mit Hilfe der RDC/TMD wurde anhand der international anerkannten Auswertungsalgorithmen erstellt (Abbildung 6-10).

Gerade die Diagnose in Bezug auf die *Bewegung* des Diskus oder Kondylus war entscheidend bei der Bestimmung einer möglichen CMD, da vor allem die Dynamik relevant ist um beispielsweise bei *anterioren* Verlagerungen die Repositionsbewegung des Diskus erkennen zu können.

Aufnahmen, bei denen es zu Abweichungen zwischen der klinischen Untersuchung mittels der RDC/TMD und den Auswertungen der *Realtime*-MRT kam, wurden später durch Untersucher 6 erneut beurteilt, indem er sich die Videosequenzen wiederholt ansah und mit den Ergebnissen des klinischen Fragebogens verglich.

In der folgenden Übersicht (Tabelle 6) erkennt man, mit welchen Ziffern die einzelnen Bewertungskategorien zur besseren Auswertung codiert wurden:

Tabelle 6:Verschlüsselung der aufgestellten Bewertungskategorien.

Bildqualität anhand der	1	exzellent		
anatomischen Strukturen	2	gut		
	3	sichtbar		
	4	eingeschränkt		
	5	gar nicht sichtbar		
Diskusverlagerung	1	Normal / keine Pathologie		
	2	Anteriore Diskusverlagerung mit Reposition		
	3	Anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition		
	4	Posteriore Diskusverlagerung		
	5	Laterale Diskusverlagerung		
	5	Mediale Diskusverlagerung		
Bewegungsumfang des	1	normal		
Kondylus	2	limitiert		
	3	diskontinuierlich		

Verschlüsselung der aufgestellten Bewertungskategorien (linke Spalte) der Realtime-Videos mit einem Zahlenwert (mittlere Spalte) und dessen inhaltliche Bedeutung (rechte Spalte).

2.2.2 Auswertungen der Realtime-MRT zweier Bildauflösungen

Zusätzlich wurde die Beurteilung der anatomischen Strukturen im Intrarater-Vergleich des Untersuchers 5 herangezogen um die Auswirkungen der erhöhten Auflösung der *Realtime-* MRT im Jahr 2014 im Vergleich zur Auflösung im Jahr 2012 zu beurteilen, da dieser Untersucher an beiden Studien teilnahm. Dies geschah mit Hilfe der Berechnung des Mittelwertes:

$$Mittelwert = \frac{Summe \ der \ Werte}{Anzahl \ der \ Werte} \ .$$

Es wurden pro Teilnehmer*in 14 anatomische Kategorien von Gutachter 5 bewertet und die Bildqualität mit einem Zahlenwert von 1 – 5 codiert (siehe Tabelle 6). Dabei entsprach der Zahlenwert 1 einer "exzellenten" und 5 einer "gar nicht sichtbaren" Bildqualität. Die Anzahl der Bewertungen aller Probanden und Probandinnen aller Kategorien pro Zahlenwert wurde mit dem Zahlenwert multipliziert und diese fünf Ergebnisse dann addiert. Diese Summe wurde dann durch die Anzahl der Zahlenwerte geteilt, um einen Mittelwert für den durch-

schnittlich vergebenen Zahlenwert des Gutachters für alle Kategorien zusammen zu erhalten. Aus den Mittelwerten wurde der prozentuale Anteil an der Gesamtbewertung sowie die Standardabweichung vom Mittelwert berechnet.

Dies geschah für die 30 Teilnehmer*innen der Studie von 2012 und ebenso für die 35 der Studie von 2014.

Anschließend wurde für jede einzelne Kategorie 1 - 14 ein Mittelwert für die Bewertung des Gutachters 5 oder summiert für die Gutachter 4, 5 und 6 gemeinsam berechnet.

Zahlenwert 1-3 wurden als "positiv" bewertete Bildqualität angenommen, die Zahlenwerte "4-5" als "negativ". Somit wurde die Summe der positiven bzw. negativen Bewertungen in prozentuale Anteile an der Gesamtbewertung umgerechnet.

2.3 RDC/TMD Achse I

Die RDC/TMD wurden als Fragebogen von Dworkin und LeResche (1992) zur vereinfachten, standardisierten und somit vergleichbaren Diagnostik einer CMD zwischen verschiedenen Behandlern entwickelt. Er unterteilt sich in zwei Achsen. Achse I beinhaltet einen Teil zu epidemiologischen Angaben sowie zu anamnestischen als auch klinischen Fragen. Achse II bleibt hier außer Acht, da sich diese mit den psychosomatischen Aspekten in der Entstehung einer CMD befasst und nicht mit den Ergebnissen des *Realtime-MRT* verglichen werden kann.

Achse II wird vor allem bei langjährigen CMD-Erkrankten mit starken Schmerzen ohne erkennbare somatische Ursache zu Rate gezogen. Dazu gehört auch die sogenannte *Jaw Disability List*, die hier keine Beachtung fand.

Die Antwortmöglichkeiten des Fragebogens sind mit Hilfe von Zahlen kodiert, um eine schnelle und vereinfachte Auswertung zu ermöglichen.

2.3.1 Anamnestischer Fragenteil

Die Fragestellungen aus Achse I zu persönlichen Angaben wie Alter, Einkommen oder sozialer Herkunft wurden hier aus mangelnder Relevanz vernachlässigt.

Ebenso wenig relevant für die statistische Auswertung dieser Arbeit sind die 18 anamnestischen Fragen. Diese wurden von den Freiwilligen vor Untersuchung im Max-Planck-Institut selbstständig ausgefüllt. Sie geben zwar Aufschluss zum Gesundheitszustand, zu Schmerzen

und Einschränkungen im Mund-Gesichtsbereich sowie zur familiären Disposition und sollen einen ersten Anhaltspunkt für eine mögliche CMD bezüglich der Symptom-Lokalisation und der -Ursachen geben. Jedoch kann auch hier keine eindeutige Korrelation zu den Ergebnissen aus den Videos der *Realtime*-MRT hergestellt werden.

Da sich diese Studie mit dem Auffinden von Symptomen einer CMD anhand der *Realtime*-MRT sowie der klinischen Untersuchung und deren möglichem Zusammenhang beschäftigt, spielt die Schmerzsymptomatik anhand des anamnestischen Teils nur eine untergeordnete Rolle.

In der folgenden Tabelle 7 sind die Fragen des anamnestischen Teils aufgeführt:

Tabelle 7: Anamnestischer Fragebogen aus Achse I der RDC/TMD nach John et al. (2006).

Anamnestischer Frageteil Achse I RDC/TMD	
F 1	
Wie würden Sie Ihren allgemeinen Gesundheitszustand einschätzen?	
ausgezeichnet	
sehr gut	
gut3	
mäßig4	
schlecht5	
F 2	
Wie würden Sie Ihren Mundgesundheitszustand einschätzen?	
ausgezeichnet	
sehr gut	
gut	
mäßig4	
schlecht5	
F 3	
Hatten Sie Schmerzen im Gesicht, dem Kiefer, den Schläfen, vor dem oder im	
Ohr im vergangenen Monat?	
Nein0	
Ja1	
Wenn Ja: siehe nächste Frage, sonst weiter mit F 5	
F 4a	
Vor wie vielen Jahren begannen Ihre Gesichtsschmerzen zum ersten Mal?	
Jahre	
(Wenn es ein Jahr oder länger her ist, dann weiter zu Frage F 5)	
(Wenn es weniger als ein Jahr her ist, dann 00 eintragen.)	
F 4b	
Vor wie vielen Monaten begannen Ihre Gesichtsschmerzen zum ersten Mal?	
Monate	
F 5	
Ist Ihr Gesichtsschmerz dauernd, wiederkehrend oder trat er nur einmalig auf?	
dauernd1	
wiederkehrend	
nur einmalig3	

Anamnestischer Frageteil Achse I RDC/TMD
F 6
Sind Sie aufgrund der Gesichtsschmerzen zu einem Arzt, Zahnarzt oder zu Angehörigen anderer
Heilberufe gegangen?
Nein
Ja, innerhalb der letzten 6 Monate2
Ja, vor mehr als 6 Monaten
F 14a
War Ihr Unterkiefer jemals blockiert oder hatten Sie Schwierigkeiten, den Mund
vollständig zu öffnen?
Nein0
Ja1
(Wenn Nein, weiter mit Frage 15)
F 14b
War diese Mundöffnungsbehinderung so stark, dass dabei Ihre Fähigkeit zu essen beeinflusst
war?
Nein0
Ja1
F 15a
Knackt es in Ihrem Kiefergelenk, wenn Sie den Mund öffnen oder schließen oder
wenn Sie kauen?
Nein0
Ja1
F 15b
Nehmen Sie in Ihrem Kiefergelenk ein reibendes Geräusch wahr, wenn Sie den
Mund öffnen oder schließen oder wenn Sie kauen?
Nein0
Ja1
F 15c
Wurde Ihnen gesagt oder haben Sie selbst bemerkt, dass Sie im Schlaf mit den
Zähnen pressen oder knirschen?
Nein0
Ja1
F 15d
Pressen oder knirschen Sie mit den Zähnen am Tage?
Nein
Ja 1

Anamnestischer Frageteil Achse I RDC/TMD
F 15e
Haben Sie Schmerzen oder ein Gefühl der Steifheit im Kieferbereich beim morgendlichen Erwa-
chen?
Nein
Ja1
F 15f
Haben Sie Ohrgeräusche oder Ohrklingen?
Nein
Ja1
F 15g
Fühlt sich der Zusammenbiss Ihrer Zähne ungewöhnlich oder unbequem an?
Nein
Ja1
F 16a
Haben Sie rheumatoide Arthritis, Lupus erythematodes oder eine andere allgemeine Gelenker-
krankung des Körpers?
Nein0
Ja1
F 16b
Hat jemand in Ihrer Familie eine dieser Erkrankungen?
Nein0
Ja1
F 16c
Hatten oder haben Sie geschwollene oder schmerzhafte Gelenke (das Kiefergelenk ausgenom-
men)?
Nein
Ja1
(Wenn Nein, weiter mit Frage 17a)
Wenn Ja: siehe nächste Frage, sonst weiter mit F 5
F 16d
Wenn ja, ist das ein anhaltender Schmerz, den Sie schon länger als ein Jahr haben?
Nein0
Ia 1

	mnestischer Frageteil Achse I RDC/TMD
F 17	a
Habe	n Sie in der letzten Zeit eine/n Verletzung/Unfall im Bereich des Kiefers
oder	des Gesichtes erlitten?
Nein.	0
Ja	1
(Wen	n Nein, weiter mit Frage 18)
F 17	b
Weni	n Ja, hatten Sie Ihren Gesichtsschmerz schon vor diesem Ereignis?
Nein.	0
Ja	1
F 18	
Hatte	en Sie während der vergangenen 6 Monate Probleme mit Kopfschmerzen
oder	Migräne?
Nein.	0
т	1

2.3.2 Klinischer Fragenteil

Die klinische Untersuchung erfolgte nach folgenden festgelegten Regeln: Sie wurde von einem examinierten Zahnarzt, Untersucher 6, durchgeführt. Er besaß zu diesem Zeitpunkt schon mehrere Jahre Berufserfahrung. Er trug während der Untersuchung stets Mundschutz und Handschuhe. Der Proband oder die Probandin saß entspannt und aufrecht im Behandlungsstuhl. Die Untersuchung erfolgte entlang der Reihenfolge des klinischen Fragenteils des RDC/TMD-Fragebogens und die Messungen fanden nur an gut palpierbaren und passiven Muskeln statt. Die Millimeterangaben der Parameter wurden auf ganze Zahlen gerundet.

In folgenden weiteren Tabellen (8-17) sind die einzelnen Untersuchungsschritte sowie das Vorgehen des Behandlers entlang des Fragebogens erläutert.

Tabelle 8: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuchungsblatt Achse II U1. Haben sie Schmerzen in der rechten den?	Gesichtshälfte, in der linken und in bei-
Keine	0
Rechts	1
Links	2
beide	3

Der Proband wurde nach Schmerzen im Gesicht befragt.

Tabelle 9: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

U2.Können Sie auf die schmerzende Stelle zeigen? (Der Untersucher tastet die gezeigte Stelle ab, wenn unklar ist, ob es Muskel- oder Gelenkschmerzen sind)						
rechts		links				
keine	0	keine	0			
Kiefergelenk	1	Kiefergelenk	1			
Muskel	2	Muskel	2			
beide	3	beides	3			

Die Person zeigte bei Angaben von Schmerzen auf die betroffene Stelle. Bei Unklarheiten, ob das Gelenk oder die Muskulatur schmerzt, war der Behandler angehalten, die entsprechende Stelle zu palpieren und seiner Diagnose entsprechend im Fragebogen anzukreuzen.

Tabelle 10: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

U3. Mundöffnungsbewegung	
Gerade	0
seitliche Abweichung (Deflexion) nach rechts	1
"s"-förmige Abweichung (Deviation) nach rechts	2
seitliche Abweichung (Deflexion) nach links	3
"s"-förmige Abweichung (Deviation) nach links	4
Anderes Muster	5
Тур	

Für diese Messung sollte die Person aufrecht und entspannt im Behandlungsstuhl sitzen. Der Mund war zunächst geschlossen. Der Behandler stand direkt vor ihm/ihr, schaute ihm/ihr gerade ins Gesicht und forderte ihn/sie auf, drei Mal den Mund zu öffnen und zu schließen.

Dabei konnte die Unterlippe nach unten abgehalten und ein Lineal als Hilfsmittel senkrecht an die Mittellinie des Oberkiefers angelegt werden. Somit war zu erkennen, ob sich die Mittellinie der Oberkiefer Schneidezähne zu der unteren Mittellinie verschiebt. Dabei konnte eine Abweichung zur Seite und wieder zur Ausgangsposition zurück stattfinden und wurde als "Deviation" klassifiziert. Wich die Mittellinie des Oberkiefers von der des Unterkiefers zur Seite ab, blieb in dieser Stellung bei vollständiger Mundöffnung und kehrte nicht in die Ausgangsposition zurück, so kreuzte man entsprechend "Deflexion" an. Diese Abweichungen waren jeweils zu beiden Seiten möglich.



Abbildung 4: Schematische Darstellung der Mundöffnung. Links normale Mundöffnung ohne Abweichung der Mittellinie der oberen und unteren Inzisivi. Mittig *Deflexion* (zur linken Gesichtsseite), *Deviation* (zur linken Gesichtsseite).

Tabelle 11: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuch	Untersuchungsblatt Achse II							
U4. Vertik	U4. Vertikaler Bewegungsumfang							
a) akt. max. (Öffnung ohne Scl	nmerzen	mm					
b) akt. max. (Öffnungr	nm						
c) passive ma	ax. Öffnung	mm						
d) Overbite	mm							
e) Overjet	mm							
Muskelschm	nerzen		Gelenkschm	ierzen				
	b)	c)		b)	c)			
keine	0	0	keine	0	0			
rechts	1	1	rechts	1	1			
links	2	2	links	2	2			
beide	3	3	beide	3	3			

Um den vertikalen Bewegungsumfang zu messen, öffnete der Proband oder die Probandin zunächst aktiv maximal den Mund, ohne dass er dabei Schmerzen empfand. Im Anschluss daran sollte er versuchen, den Mund noch weiter zu öffnen bis ein leichter Schmerz entstand.

Daraufhin versuchte der Behandler den Mund erneut weiter aufzudehnen in dem er mit leichtem Druck und zwei Fingern die Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers auseinander drückte (passive Mundöffnung). Bei manchen Teilnehmer*innen war dies nicht möglich. Entstanden hierbei Schmerzen im Bereich der Muskulatur oder des Gelenks, so war dies für die jeweilige Seite im Untersuchungsbogen anzukreuzen. Diese drei Bewegungen wurden mit dem Lineal vermessen und notiert.

Im Anschluss maß der Zahnarzt ebenfalls den *Overbite*, also den maximalen Abstand der Schneidekanten von Ober- und Unterkiefer Schneidezähnen in vertikaler Richtung sowie den *Overjet*, den maximalen Abstand der Schneidekanten in horizontaler Richtung.

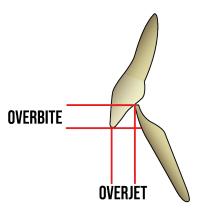


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Ober- und Unterkieferschneidezahns im *sagittalen* Anschnitt. Der Abstand der Schneidekanten in der Vertikalen entspricht dem *Overbite* und in der *Sagittalen* dem *Overjet*.

Tabelle 12: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuchungsblatt Achse II U5. Gelenkgeräusche (Palpation)						
Öffnung	Links	Rechts				
keine	0	0				
Knacken	1	1				
starkes Reiben	2	2				
feines Reiben	3	3				
Öffnungsknacken bei	mm	mm				
Schließen	Links	Rechts				
keine	0	0				
Knacken	1	1				
starkes Reiben	2	2				
feines Reiben	3	3				
Öffnungsknacken bei	mm	mm				
Reziprokes Knacken	Links	Rechts				
verhindert bei protrusiver Öff-						
nung						
Ja	0	0				
Nein	1	1				
Nicht reproduzierbar	9	9				

Der Behandler stand vor dem Probanden oder der Probandin und tastete mit Hilfe seiner Zeigefinger im Bereich des *Tragus*, welcher den knorpeligen Anteil des Ohrs *anterior* des Gehörgangs darstellt, das Kiefergelenk auf beiden Seiten. Nun öffnete dieser/diese mehrfach den Mund aus maximaler *Interkuspidation* in die maximale Mundöffnung und umgekehrt. War dabei ein Knacken oder ein Reiben beim Öffnungs- oder beim Schließvorgang fühlbzw. hörbar und war dieses reproduzierbar, so war entsprechendes anzukreuzen für die jeweilige Seite. Bei einem Knackgeräusch war die Millimeteranzahl der Position zu notieren, in der es auftrat.

Als letzter Unterpunkt war beim reziproken Knacken "ja" anzukreuzen, sofern das Knackgeräusch verschwand, sobald die untersuchte Person in *protrudierter* Stellung den Mund öffnete und schloss. "Nicht reproduzierbar" war anzukreuzen, wenn ein Geräusch vorlag, welches nicht reproduzierbar wiedergegeben werden konnte.

Tabelle 13: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuchungsblatt Achse II U6. Bewegungen									
Bewegung	Bewegung in mm	Muskelschmerzen Gelenkschmerzen							
		Keine 0	Rechts	Links	Beide	Keine	Rechts	Links	Beide
			1	2	3	0	1	2	3
Laterotrusion									
rechts									
Laterotrusion									
links									
Protrusion									

In diesem Abschnitt sollte der oder die Teilnehmende seinen oder ihren Unterkiefer maximal nach links, rechts und nach vorne bewegen. Diese Laterotrusions- und Protrusionsbewegungen wurden mit dem Lineal anhand der sich verschiebenden Mittellinien vermessen und notiert. Sofern bei diesen Bewegungen Schmerzen auftraten, war dies ebenfalls zu notieren. Lag eine Mittellinienverschiebung vor, war diese zu vermessen und zu notieren. Dies musste dann auch bei Vermessung der Laterotrusionsbewegung berücksichtigt werden.

Tabelle 14: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

U7. Gelenksgeräusche bei Bewegungen						
		Geräusche rechts	Geräusche links			
Bewegung nach	Keine	0	0			
rechts	Knacken	1	1			
	Starkes Reiben	2	2			
	Feines Reiben	3	3			
Bewegung nach	Keine	0	0			
links	Knacken	1	1			
	Starkes Reiben	2	2			
	Feines Reiben	3	3			
Protrusion	Keine	0	0			
	Knacken	1	1			
	Starkes Reiben	2	2			
	Feines Reiben	3	3			

Ebenfalls musste bei *Laterotrusion* und *Protrusion* auf mögliches Gelenkknacken oder -reiben geachtet und dieses ggf. notiert werden. Auch hier galt es, die Geräusche nur zu notieren, wenn sie reproduzierbar waren.

Tabelle 15: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuchungsblatt Achse II	Untersuchungsblatt Achse II					
U8. Extraorale Muskelpalpation						
kein Schmerz/nur Druck = 0	rechts	links				
leichter Schmerz = 1						
mäßiger Schmerz = 2						
heftiger Schmerz = 3						
a) Temporalis posteriorer Teil	0 1 2 3	0 1 2 3				
b) Temporalis medialer Teil	0 1 2 3	0 1 2 3				
c) Temporalis anteriorer Teil	0 1 2 3	0 1 2 3				
d) Masseterursprung	0 1 2 3	0 1 2 3				
e) Masseterkörper	0 1 2 3	0 1 2 3				
f) Masseteransatz	0 1 2 3	0 1 2 3				
g) Regio retromandibularis	0 1 2 3	0 1 2 3				
h) Regio submandibularis	0 1 2 3	0 1 2 3				

Im Anschluss wurden die Regionen der Kaumuskeln palpiert. Dabei konnte der oder die Untersuchte angeben, ob bzw. wie stark der entstehende Schmerz bei Palpation empfunden wurde. Er oder sie konnte während der Untersuchung durch kräftiges Zusammenbeißen die Kaumuskulatur anspannen, um ein eindeutigeres Ergebnis zu erzielen.

Der Therapeut benutzte gleichzeitig seinen Zeige- und Mittelfinger, mit denen er den entsprechenden Muskel mit gleichmäßigem Druck abtastete und dabei auf mögliche Verhärtungen und Angaben von Schmerzen achtete.

Tabelle 16: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

Untersuchungsblatt Achse II U9. Palpation des Gelenks		
	rechts	links
a) lateraler Kondylenpol	0 1 2 3	0 1 2 3
b) posteriorer Kondylenpol	0 1 2 3	0 1 2 3

In diesem Abschnitt wurde der laterale Kondylenpol des Kiefergelenks durch Auflegen des Zeigefingers des Behandlers auf den *Tragus* getastet. Der *posteriore* Anteil des Gelenks wurde durch Einführen der Zeigefinger in den *Porus acusticus externus* untersucht. Dabei wurde der oder die Freiwillige gebeten wiederholt den Mund zu öffnen/zu schließen und dabei mögliche Schmerzen erneut anhand einer dreistufigen Skala zu bewerten. Dies wurde dann dokumentiert.

Tabelle 17: Untersuchungsblatt der Achse II der RDC/TMD zur klinischen Untersuchung nach John et al. (2006).

U10. Intraorale Palpation									
	rec	chts				lin	ks		
a) M. pterygoideus lateralis	0	1	2	3		0	1	2	3
b) Temporalissehne	0	1	2	3		0	1	2	3

Der zehnte Abschnitt stellt den Abschluss des klinischen Untersuchungsteils dar. Hier wurden der *M. pterygoideus lateralis* und die Temporalissehne von intraoral abgetastet und auf mögliche Schmerzentstehung sowie auf Druckdolenzen geachtet.

Die Temporalissehne wurde *medial* von der *Linea obliqua* der *Mandibula* aufgefunden. Glitt man von dort aus nach *kranial* mit der Fingerspitze fand man den *M. pterygoideus lateralis*. Die richtige Position wurde durch Ziehen der *Ala major* nach *kranial* bestätigt, in dem sich der Druck unterhalb der Fingerspitze erhöhte (Prodinger-Glöckl 2013).

Die angekreuzten Ziffern durch den Behandler dienen der Berechnung der sog. *Disability Points*, welche wiederum genutzt werden, um die Einschränkung der Personen im Alltag durch ihre CMD zu berechnen. Hinzugezogen werden noch weitere *Disability Points*, welche durch eine anamnestische Frage im Fragebogen *Graded Chronic Pain* ermittelt werden. Zusammengesetzt aus diesen beiden Faktoren und weiteren diagnostischen Aspekten der RDC/TMD (z. B. *Jaw Disability List*) kann dann das Gesamtergebnis Aufschluss darüber geben, wie stark der chronische Schmerzgrad und somit daraus resultierend die Einschränkung im täglichen Leben ist (Dworkin und LeResche 2016). Diese diagnostischen Punkte werden hier jedoch außer Acht gelassen, da sie keine Relevanz für das Thema dieser Dissertation besitzen. In dieser Arbeitsgruppe wurden die Ergebnisse der klinischen Untersuchung genutzt, um mit den Werten die Diagnose anhand des Algorithmus unter 2.3.3 für jedes Kiefergelenk zu ermitteln.

2.3.3 Auswertung der RDC/TMD-Daten

Die Auswertung der Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders erfolgte anhand eines bestimmten Algorithmus (siehe Abbildung 6-10) und führte dazu, dass beide Kiefergelenke eines Probanden oder einer Probandin (rechts und links separat) in eine oder mehrere der folgenden Diagnosen eingestuft werden konnten:

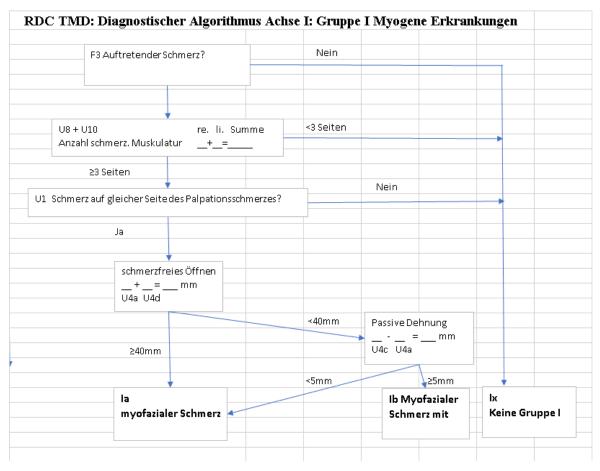


Abbildung 6: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 1 nach Dworkin und LeResche (2016).

Die Diagnosegruppe I umfasst die *myogenen* Erkrankungen. Dazu zählt unter Ia der "*myofaziale* Schmerz ohne eingeschränkte Mundöffnung". Um in diese Gruppe eingeteilt zu werden, musste der Proband oder die Probandin im anamnestischen Frageteil unter Frage 3 Schmerzen in mindestens einer der Gesichtshälften angeben. Der Palpationsbefund an einem der folgenden Muskeln auf der schmerzenden Seite musste an mehr als drei Stellen positiv ausfallen: *posteriore*, mittlere und *anteriore* Region des *M. temporalis*; Ursprung, Ansatz und Muskelbauch des *M. masseter*; Regio *postmandibularis* und *retromandibularis*; Region des *M. pterygoideus lateralis* und die Sehnen des *M. temporalis*. Dennoch war die schmerzfreie Mundöffnung von mindestens 40 mm gewährleistet.

In die Kategorie Ib "myofazialer Schmerz mit eingeschränkter Mundöffnung" konnten die untersuchten Personen eingeordnet werden, sofern alle Punkte aus Ia zutrafen, jedoch die Mundöffnung auf unter 40 mm reduziert war und die passive Mundöffnung 5 mm oder mehr betrug. War die passive Mundöffnung geringer als 5 mm trotz limitierter aktiver Mundöffnung, so gehörte die Diagnose in den Bereich Ia.

Gab der Proband oder die Probandin keine Schmerzen im Gesichtsbereich in der Anamnese an oder war die Anzahl der schmerzhaft palpierten Muskelstellen weniger als drei, so lag keine *myogene* Erkrankung und Ix als Diagnose vor.

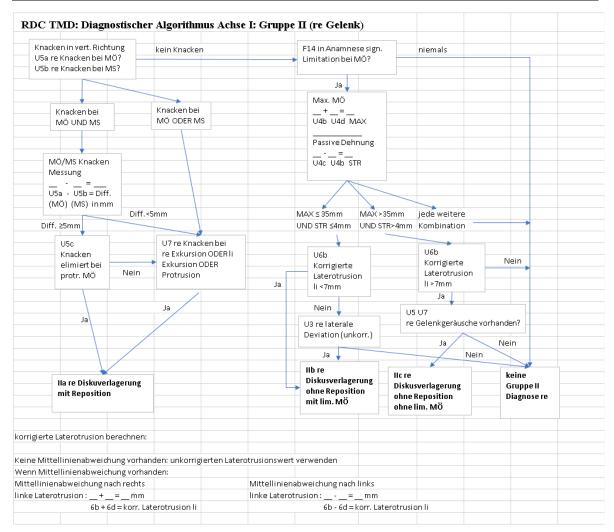


Abbildung 7: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 2, rechtes Gelenk nach Dworkin und LeResche (2016).

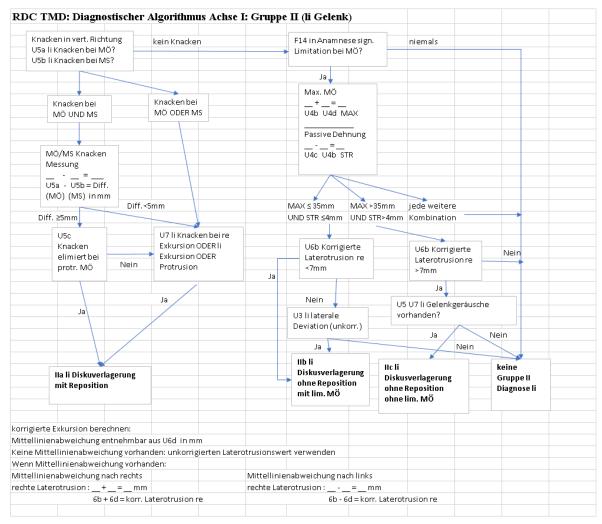


Abbildung 8: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 2, linkes Gelenk nach Dworkin und LeResche (2016).

Die Diagnosegruppe II umfasst die Diskusverlagerungen. Lag ein ein- oder beidseitiges Klickgeräusch bei Mundöffnung und/oder Mundschluss vor, wurde zusätzlich dieses Klicken durch *protrusive* Öffnung verhindert oder ein Geräusch bei Exkursions-/Protrusionsbewegung hervorgerufen, so konnte das Kiefergelenk mit der Diagnose IIa "Diskusverlagerung mit Reposition" versehen werden.

War weder bei Mundöffnung/-schluss noch Exkursions-/Protrusionsbewegungen ein Gelenkgeräusch wahrnehmbar, lag jedoch eine limitierte aktive Kieferöffnung <35mm, eine passive Dehnung von <4 mm und eine Exkursion <7 mm vor, so war die Diagnose "Diskusverlagerung ohne Reposition und mit eingeschränkter Mundöffnung" sehr wahrscheinlich. Sofern die Exkursion <7mm war, aber eine *Deviation* vorlag, konnte die Diagnose auch als IIb gestellt werden.

War weder bei Mundöffnung/-schluss noch Exkursions-/Protrusionsbewegungen ein Gelenkgeräusch auf der untersuchten Seite wahrnehmbar, lag ebenfalls eine aktive Kieferöffnung >35 mm, eine passive Dehnung von >4 mm und eine Exkursion >7 mm vor, aber waren jedoch Geräusche vernehmbar, so lautete die Diagnose IIc. Die Personen litten somit unter einer "Diskusverlagerung ohne Reposition und ohne eingeschränkte Mundöffnung".

Bei allen anderen Kombinationsmöglichkeiten lag "keine Diskusverlagerung", bezeichnet als IIx, vor.

Der folgende Algorithmus kann sowohl auf das rechte als auch auf das linke Kiefergelenk angewandt werden:

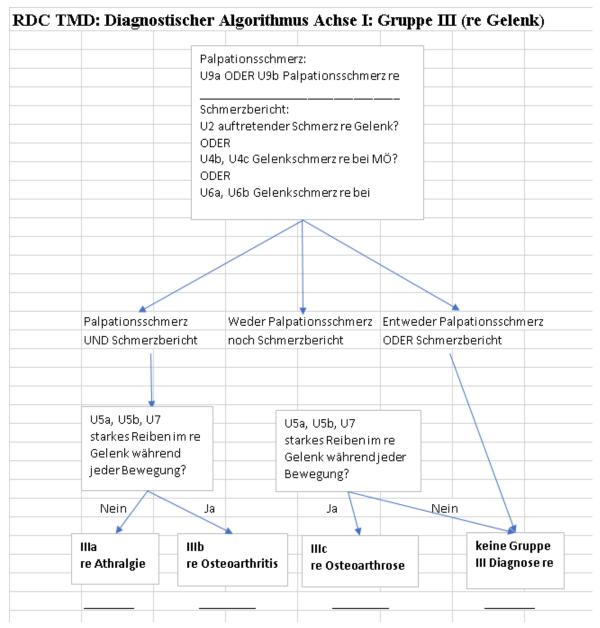


Abbildung 9: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 3, rechtes Kiefergelenk nach Dworkin und LeResche (2016).

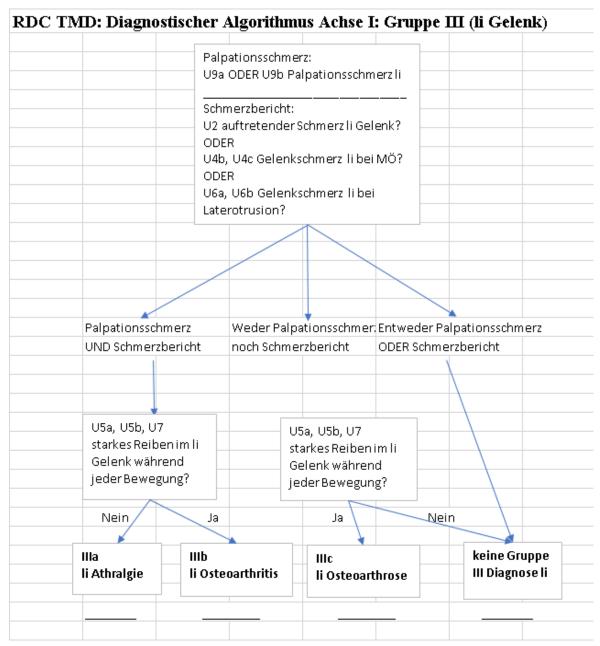


Abbildung 10: Auswertung RDC/TMD Achse I, Gruppe 3, linkes Kiefergelenk nach Dworkin und LeResche (2016).

Die III. Diagnosegruppe umfasst die Arthralgie, Arthritis und Arthrose. War ein Palpationsschmerz in der Kiefergelenksregion plus ein Empfindungsschmerz bei aktiver/passiver Mundöffnung oder Laterotrusion, aber keine Krepitation im untersuchten Gelenk vorhanden, so lag die Diagnose "Arthralgie" IIIa vor.

Lag zusätzlich zu den Kriterien der Gruppe IIIa noch ein Krepitationsgeräusch vor, so wurde für die Probanden und Probandinnen die Diagnose "Arthritis" ermittelt, abgekürzt mit IIIb. War weder ein Palpationsschmerz noch ein Empfindungsschmerz angegeben, jedoch zusätzlich ein Krepitus, so ergab der Algorithmus die Diagnose "Arthrose" IIIc.

Trat entweder ein Palpationsschmerz oder ein Empfindungsschmerz auf, oder lag bei IIIc keine Krepitation vor, so war die Diagnose IIIx und keine der o. g. Diagnosen zutreffend.

Somit war es möglich, einen direkten Vergleich zwischen den *Realtime*-MRT-Diagnosen, die von den drei Untersuchern erstellt wurden, und den Diagnosen des RDC/TMD-Fragebogens, die auf der Untersuchung des Untersuchers 6 beruhen, herzustellen. Der Vergleich war nur anhand der Diskusverlagerung in der Hauptgruppe II möglich, da die *myogenen* Erkrankungen der Hauptgruppe I in der MRT nicht erkennbar sind und die Erkrankungen der Hauptgruppe III nicht als Diagnose zur Auswahl standen.

2.4 Reliabilität (Kappa)

Der Kappa Wert wird verwendet um die Reliabilität zwischen zwei oder mehr Untersuchern zu beurteilen. Die Reliabilität gibt an, in welchem Umfang die Untersucher eine Variable mit der gleichen Bewertung versehen haben. Dabei beinhaltet der Kappa Wert im Gegensatz zu einer prozentualen Übereinstimmung zwischen den Untersuchern auch die zufällig auftretende Übereinstimmung, was Jakob Cohen 1960 an dem prozentualen Wert kritisierte und in seine Formel für den Kappa Wert einarbeitete. Seitdem lässt sich die Übereinstimmung zwischen zwei Untersuchenden mit dem nach ihm benannten Cohens Kappa ausdrücken. Handelt es sich um mehr als zwei Untersucher*innen, so kann der Fleiss Kappa Wert berechnet werden (Fleiss 1971).

Dabei legte Cohen (1960) fest, dass Werte ≤ 0 als keine bzw. durch den Zufall entstandene Übereinstimmung gewertet werden. Werte zwischen 0.01-0.2 werden als "keine bis wenig", 0.21-0.4 als "ausreichende", 0.41-0.6 als "mittelmäßige", 0.61-0.8 als "beachtliche" und 0.81-1.0 als "perfekte" Übereinstimmung angenommen.

Zur Berechnung des Wertes ergibt sich folgende Formel:

$$K = (Pr(a)-Pr(e)) / (1-Pr(e))$$

Pr(a) steht für die tatsächlich vermerkten Übereinstimmungen und Pr(e) hingegen für die zufällig zu erwartenden Übereinstimmungen.

2.5 Sensitivität/ Spezifität

Die Sensitivität und Spezifität sind Maße für die Effizienz eines medizinischen Testverfahrens. Je höher der errechnete Wert, desto effizienter ist er in Bezug auf das Erkennen gesunder oder erkrankter Personen, die am Verfahren teilnehmen.

Die Sensitivität gibt an, bei welchem Prozentsatz ein Testverfahren erkrankte Menschen auch als "krank" erkennt und somit ein richtig positives Testergebnis erbringt. Die Sensitivität wird als Quotient aus richtig positiven Testergebnissen und der Summe aus richtig positiven plus falsch negativen Testergebnissen errechnet:

$$(\#RP/(\#RP + \#FN))$$

Die Spezifität gibt an, bei welchem Prozentsatz ein Testverfahren gesunde Menschen einer Gruppe auch als "gesund" erkennt und somit ein richtig negatives Testergebnis erbringt. Die Spezifität wird als Quotient aus richtig negativen Testergebnissen und der Summe aus richtig negativen plus falsch positiven Ergebnissen errechnet (Giere et al. 2013).

$$(\#RN/(\#RN + \#FP))$$

Tabelle 18: Vierfeldertafel zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität nach Hellwig et al. (2013).

Vierfeldertafel	Proband*in krank	Proband*in gesund
	(P.k.)	(P.g.)
Test positiv (T.p.)	richtig positiv (RP)	falsch positiv (FP)
Test negativ (T.n.)	falsch negativ (FN)	richtig negativ (RN)

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Realtime-MRT

Wie bereits unter 2.2.1 beschrieben, standen den Untersuchern für die Bewertung der Diskusverlagerung und der Kondylusbewegung jeweils eine Skala mit der Kodierung 1-6 bzw. 1-3 zur Verfügung. In der folgenden Ansicht sind die Ergebnisse der Beurteilungen für jeweils das rechte und linke Kiefergelenk (TMJ = kraniomandibul"ares Gelenk) aufgelistet.

Tabelle 19: Ergebnisse der Bewertung der Realtime-MRT-Aufnahmen durch die Untersucher Nr.4,5 und 6 (Spalte 4 – 6).

Vol_	Side	TMJ Functions	Rater 4	Rater 5	Rater 6
	R	Disc displ.	1	1	1
1	K	Condyle mov.	1	1	1
1	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
2	K	Condyle mov.	1	1	1
2	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	2	1
3	K	Condyle mov.	1	1	1
9	L	Disc displ.	1	1	1
		Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
4	K	Condyle mov.	1	1	1
7	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	3
5	K	Condyle mov.	1	1	3
,	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1

Vol_	Side	TMJ Functions	Rater 4	Rater 5	Rater 6
	R	Disc displ.	1	1	1
6	K	Condyle mov.	1	1	3
0	L	Disc displ.	2	1	2
	L	Condyle mov.	3	3	3
	R	Disc displ.	1	1	1
7	K	Condyle mov.	1	1	1
/	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
	K	Condyle mov.	1	1	1
8	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
o	9 L	Condyle mov.	1	1	1
9		Disc displ.	1	1	1
		Condyle mov.	1	1	3
	D	Disc displ.	1	1	1
10	R	Condyle mov.	1	1	3
10	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
11	K	Condyle mov.	1	1	1
11	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
12	K	Condyle mov.	1	1	1
12	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	D	Disc displ.	1	1	1
12	R	Condyle mov.	1	2	2
13	т	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	2	2
	R	Disc displ.	1	1	1
14	K	Condyle mov.	1	1	1

Vol_	Side	TMJ	Rater 4	Rater 5	Rater 6
_		Functions			
	L	Disc displ.	1	1	1
	_	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
15	IX.	Condyle mov.	1	2	1
	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	p	Disc displ.	1	1	1
16	R .	Condyle mov.	1	1	1
10	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	3	3
	R	Disc displ.	1	1	1
17	K	Condyle mov.	1	1	1
1 /	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	18 R	Disc displ.	1	1	1
10		Condyle mov.	1	1	1
18		Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	3	3
	D	Disc displ.	1	1	1
10	R	Condyle mov.	1	1	3
19	Ţ	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	D	Disc displ.	1	1	1
	R	Condyle mov.	1	1	3
20	T	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	3
	D	Disc displ.	1	1	1
21	R	Condyle mov.	1	1	1
21	_	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	D	Disc displ.	1	1	1
22	R	Condyle mov.	1	1	1
22	7	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	<u> </u>			<u> </u>	

Vol_	Side	TMJ Functions	Rater 4	Rater 5	Rater 6
		Disc displ.	1	1	1
	R	Condyle mov.	1	1	1
23		Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
		Disc displ.	1	1	1
	R	Condyle mov.	1	3	1
24		Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
		Disc displ.	1	1	1
	R	Condyle mov.	1	1	1
25		Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
		Disc displ.	1	1	1
	R L	Condyle mov.	1	1	1
26		Disc displ.	1	1	1
		Condyle mov.	1	1	1
	_	Disc displ.	1	1	1
27	R	Condyle mov.	1	1	1
27	<u> </u>	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	D	Disc displ.	1	1	1
20	R	Condyle mov.	1	1	1
28	т	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	2
	D	Disc displ.	1	1	1
20	R	Condyle mov.	1	1	1
29	т	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	D	Disc displ.	1	1	1
20	R	Condyle mov.	1	1	1
30	т	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
31	K	Condyle mov.	1	3	3

Vol_	Side	TMJ Functions	Rater 4	Rater 5	Rater 6
	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	3	3
	R	Disc displ.	1	1	1
32	K	Condyle mov.	1	1	1
32	L	Disc displ.	1	1	1
		Condyle mov.	1	1	1
	R	Disc displ.	1	1	1
33	K	Condyle mov.	1	1	1
33	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	3	3
	R	Disc displ.	1	1	1
34	K	Condyle mov.	1	1	1
J	L	Disc displ.	1	1	1
	L	Condyle mov.	1	1	3

Von links: Spalte Vol_ entspricht der Teilnehmer*innen-Nummer, Side entspricht bei "R" dem rechten und "L" dem linken Kiefergelenk des Probanden oder der Probandin, TMJ Functions entspricht der Differenzierung der Bewertung auf die Diskusverlagerung und den Kondylusbewegungsumfang. 0 = nicht beurteilbar, 1 = normale Diskuslage/keine Verlagerung, 2 = Verlagerung des Discus articularis mit Reposition, 3 = Verlagerung des Discus articularis ohne Reposition, 4 = Verlagerung des Discus articularis nach posterior, 5 = Verlagerung des Discus articularis nach lateral, 6 = Verlagerung des Discus articularis nach medial.

Aus dieser Tabelle 19 ergibt sich, dass insgesamt 204 Diskusbewegungen aller Kiefergelenke von drei Untersuchern begutachtet wurden und davon 200fach mit "keine Diskusverlagerung", dreifach mit "anteriore Diskusverlagerung mit Reposition" und nur einfach mit "anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition" bewertet wurde (Tabelle 20). Die Kategorien der posterioren, lateralen oder medialen Diskusverlagerung wurden hier nicht verwendet, da mit diesen im Ergebnisteil kein Vergleich zu den Diagnosen ergebend aus dem Bewertungsalgorithmus der klinischen Untersuchung gezogen werden kann.

Tabelle 20: Gesamtanzahl der Bewertungen der drei Untersucher bei Auswertung der Realtime-Videos bezogen auf die Diskusbewegung beider Gelenkseiten aller Teilnehmer*innen.

Anzahl der Bewertungen bei Diskusbewegung				
Keine Diskusverlagerung	200			
Anteriore Diskusverlagerung mit Reposition	3			
Anteriore Diskusverlagerung ohne	1			
Reposition				

Bei der Beurteilung der Kondylusbewegung ergab sich bei 204 Kondylen die Anzahl von 176 Bewertungen mit "normaler Kondylusbewegung". Bei 6 Kiefergelenken wurde eine "limitierte Kondylusbewegung" und bei 22 eine "diskontinuierliche Kondylusbewegung" diagnostiziert (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Gesamtanzahl der Bewertungen der drei Untersucher bei Auswertung der Realtime-Videos bezogen auf die Kondylusbewegung beider Gelenkseiten aller Teilnehmer*innen.

Anzahl der Bewertungen bei Kondylusbewegung					
Normale Kondylusbewegung 176					
Limitierte Kondylusbewegung	6				
Diskontinuierliche Kondylusbewegung	22				

Insgesamt konnten alle Videos von den Untersuchern beurteilt werden, es gab somit keine Artefakte oder technischen Probleme.

Die drei Untersucher waren sich nur bei 21 von 136 zu bewertenden Fällen uneinig, was einem Prozentsatz von 15,44 % entspricht.

Betrachtet man nun die Interrater-Übereinstimmung, so ergaben sich folgende kappa-Werte (siehe Tabelle 22) für die Beurteilung der Diskusverlagerung anhand von den o. g. sechs Kategorien:

Tabelle 22: Berechneter kappa-Wert zur Beurteilung der Interrater-Übereinstimmung bezogen auf die Art der Diskusverlagerung.

Art der Diskusverlagerung	k-Wert
Keine Diskusverlagerung	0.941176
Anteriore Diskusverlagerung mit Reposition	0.960784
Anteriore Diskusverlagerung ohne Reposi-	0.980392
tion	

Die Kategorien 4 – 6 wurden in der Beurteilung der *Realtime*-Videos nicht genutzt und daher nicht berechnet. Dies entsprach einer "perfekten" Gesamt-Übereinstimmung der drei Untersucher in Bezug auf die Beurteilung der Diskusbewegung von 0,95588.

Tabelle 23: Berechneter kappa-Wert zur Beurteilung der Interrater-Übereinstimmung bezogen auf die Art der Kondylusbewegung.

Bewegungsumfang des Kondylus	k-Wert
Normaler Bewegungsumfang	0.647059
Limitierter Bewegungsumfang	0.921569
Diskontinuierlicher Bewegungsumfang	0.725490

Die Kappa-Werte für die Übereinstimmung bei Beurteilung des Bewegungsumfangs sind der Tabelle 23 zu entnehmen. Im Gesamtergebnis der Kondylusbewertung ergab sich ein Wert von 0.735294, welcher einer "beachtlichen" Übereinstimmung entspricht.

3.2 Vergleichende Ergebnisse zweier *Realtime*-MRT-Methoden (3 Bilder pro Sek. versus 15 Bilder pro Sek.)

Wie unter Punkt 2.2.1 beschrieben wurden die Mittelwerte der Beurteilungen der Bildqualität in Bezug auf die anatomischen Strukturen von Untersucher 5 und auch zusammengefasst von Untersucher 4,5 und 6 berechnet um einen direkten Vergleich zwischen der Studie von 2012 mit der aktuellen von 2014 ziehen zu können. Auch die prozentualen Anteile an positiv bzw. negativ gewerteten Bildqualitäten sowie die Standardabweichung wurde berechnet.

Tabelle 24: Vergleichende Ergebnisse zweier Realtime-MRT-Methoden (Jahr 2012 und 2014) anhand der qualitativen Beurteilbarkeit der anatomischen Strukturen in der Realtime-MRT durch Untersucher 5.

Beurteilbarkeit anatomischer Strukturen						
		Studie 2012 (30 Teilnehmer*innen)		Studie 2014 (35 Teilnehmer*innen)		
	Score	Anzahl Rater 5	in %	Anzahl Rater 5	in %	
beurteilbare	1	380	45,2	156	18,6	
Bildqualität -	2	292	34,8	404	48,1	
Diiuquantat	3	149	17,7	161	19,2	
Anat. Strukturen	4	11			10,4	
	5	8	1,0	32	3,8	
Av.Score		1,78		2,33		
Std.		0,85		1,01		
Pos.		97,7		85,8		
Neg.		2,3		14	14,2	

Score 1 = exzellente, 2 = gute, 3 = sichtbare, 4 = eingeschränkte und 5 = gar nicht sichtbare Beurteilbarkeit. Anzahl Rater 5 = Anzahl der Kiefergelenke mit dieser Bildqualität (Score) bewertet durch Untersucher 5 und prozentual gesehen zur Gesamtanzahl der bewerteten Kiefergelenke. Av.Score = durchschnittlich bewerteter Score von allen Kiefergelenken (zw. 1 – 5). Std. = Standardabweichung vom durchschnittlichen Score. Pos. = positiv, Gesamtanzahl der mit Score 1 – 3 (als "sichtbar") gewerteten Kiefergelenksaufnahmen. Neg. = negativ, Gesamtanzahl der mit Score 4 – 5 (als "schlecht sichtbar") gewerteten Kiefergelenksaufnahmen.

Tabelle 25: Vergleichende Ergebnisse zweier Realtime-MRT-Methoden (Jahr 2012 und 2014) anhand der qualitativen Beurteilbarkeit der anatomischen Strukturen in der Realtime-MRT durch zusammenfassende Ergebnisse der Untersucher 4-6.

Beurteilbarkeit anatomischer Strukturen							
		Studie 2012 (30 Teilnehmer*innen)		Studie 2014 (35 Teilnehmer*innen)			
	Score	Anzahl Rater	in %	Anzahl Rater	in %		
		4 - 6		4 - 6			
beurteilbare	1	289	34,4	169	20,2		
Bildqualität -	2	329	39,2	386	46,0		
Diiuquantat	3	184	21,9	190	22,6		
Anat. Strukturen	4	32	32 3,8		7,0		
	5	6	0,7	36	4,2		
Av.Score	Av.Score		1,97		2,25		
Std.		0,88		1,00			
Pos.		95,5		88,8			
Neg.		4,5		11,2			

Score 1 = exzellente, 2 = gute, 3 = sichtbare, 4 = eingeschränkte und 5 = gar nicht sichtbare Beurteilbarkeit. Anzahl Rater 4 - 6 = Anzahl der Kiefergelenke mit dieser Bildqualität bewertet durch alle Untersucher 4 - 6. Und folgend im prozentualen Anteil der Gesamtbewertungen. Av. Score = durchschnittlich bewerteter Score von allen Kiefergelenken (zw. 1 - 5). Std. = Standardabweichung vom durchschnittlichen Score. Pos. = positiv, Gesamtanzahl der mit Score 1 - 3 (als "sichtbar") gewerteten Kiefergelenksaufnahmen. Neg. = negativ, Gesamtanzahl der mit Score 4 - 5 (als "schlecht sichtbar") gewerteten Kiefergelenksaufnahmen.

Untersucher 5 hat an beiden Studien teilgenommen und bot somit die identischen Voraussetzungen zur Beurteilung der *Realtime*-Videos, außer der Tatsache, dass er bei der aktuellen Studie bereits zwei weitere Jahre an Berufserfahrung erlangt hatte.

Es wurden jeweils die Videos mit der Gutachterbewertung 1, 2 und 3 als "gut sichtbar"/"positiv" in Bezug auf die anatomischen Strukturen und mit Bewertung 4 und 5 als "schlecht sichtbar"/"negativ" auf Grund minderer Qualität in Tabelle 24 und 25 zusammengefasst. Anhand der Tabelle 24 ließ sich somit feststellen, dass Untersucher 5 in der aktuellen Studie die 14 anatomischen Kategorien, die anhand der *Realtime*-Videos durch die Gutachter beurteilt wurden, durchschnittlich mit 2,33 bewertet hatte, im Jahr 2012 hingegen mit 1,78. Im Vergleich zum gemittelten Durchschnitt aller drei Untersucher von 2,25 (Tabelle 25) in der aktuellen Studie, hatte Untersucher Nr. 5 die Sichtbarkeit der anatomischen Strukturen somit etwas schlechter bewertet. Prozentual ausgedrückt kam man folglich auf einen Wert von 95,5 % "gut sichtbarer anatomischer Strukturen" (pos.) im Jahr 2012, im Jahr 2014 nur noch auf 88,8 %. Und auch der Vergleich der Mittelwerte aller drei Untersucher (Tabelle 25)

zeigte, dass im Jahr 2012 noch durchschnittlich mit 1,97 und nun nur noch mit 2,25 beurteilt wurde.

Betrachtet man jede der 14 anatomischen Kategorien in Tabelle 26 separat, so gab es zwei entscheidende Kategorien, in denen Untersucher 5 prozentual gesehen häufiger mit den Bewertungen 1-3 beurteilt hatte:

Diese Kategorien waren die Kontur des Diskus während der Bewegung, die nun zu 100 statt 98,4 % als "gut sichtbares" Bild benotet wurden, und die Kontur des Kondylus während der Bewegung. Hier war das Ergebnis beider Auflösungstechniken konstant bei 100 % in der Beurteilung der Bilder mit 1, 2 oder 3 geblieben.

Nahm man die Durchschnittwerte aller drei Untersucher gemeinsam, so gab es noch drei weitere Kategorien, in denen besser beurteilt wurde als in der alten Auflösungstechnik. Dies bezog sich auf die Gruppe der vorderen Begrenzung des Diskus während der geschlossenen Mundposition, die nun durchschnittlich mit 2,49 statt 2,53 erkannt wurde. Und auch in Bewegung wurde der *anteriore* Anteil des Diskus verbessert mit 2,10 an Stelle von 2,22 bewertet. Ferner wurde die Form des Diskuskörpers nicht mehr mit 2,10 im Mittel, sondern mit 2,04 beurteilt.

Alle weiteren Untergruppen wurden sowohl in Bezug auf die Mittelwerte der gesamten Beurteilungen der drei Untersucher gemeinsam als auch in Bezug auf den prozentualen Anteil der Bewertungen zwischen 1-3 schlechter erkannt. Auch in Bezug auf Untersucher 5 ist die Beurteilung der übrigen Kategorien mit den Werten 1-3 prozentual gesunken.

Tabelle 26: Vergleichende Ergebnisse zweier Realtime-MRT-Methoden (Jahr 2012 und 2014) anhand der qualitativen Beurteilbarkeit der 14 genannten anatomischen Strukturen.

		Av. Beurteilung		Av. Beui	Av. Beurteilung		
		alle <i>Rater</i> 4 – 6		Rate	, and the second		
Kategorie	Jahr	2012	2014	2012	2014		
1	Av.	2,53	2,49	2,23	2,73		
vordere Diskusbegrenzung bei geschl. Mund	%	84,9	85,5	95,1	74,1		
2	Av.	2,28	2,29	1,85	2,37		
vordere Diskusbegrenzung bei geöff. Mund	%	94,1	86	98,4	83,9		
3	Av.	2,22	2,1	1,85	1,94		
vordere Diskusbegrenzung in Bewegung	%	97,3	93	100	95,2		
4	Av.	2,98	3,04	2,95	3,5		
hintere Diskusbegrenzung bei geschl. Mund	%	79	72,6	85,6	45,2		
5	Av.	1,9	2,16	1,63	1,98		
hintere Diskusbegrenzung bei geöff. Mund	%	97,3	88,7	98,4	92		
6	Av.	2	2,22	1,81	1,9		
hintere Diskusbegrenzung in Bewegung	%	98,9	92,5	100	96,8		
7	Av.	2,68	2,79	2,68	3,34		
Diskusumriss bei geschl. Mund	%	91,9	78,5	93,6	56,4		
8	Av.	1,98	2,15	1,69	2,05		
Diskusumriss bei geöffn. Mund	%	97,9	88,7	98,4	90,3		
9	Av.	2,1	2,04	1,9	1,82		
Diskusumriss in Bewegung	%	97,3	95,2	98,4	98,4		
10	Av.	1,27	1,97	1,15	2,32		
Kondylusköpfchen bei geschl. Mund	%	99,5	94,6	100	93,6		
11	Av.	1,24	2,29	1,13	2,55		
Kondylusköpfchen bei geöffn. Mund	%	99,5	86	100	85,5		
12	Av.	1,27	1,92	1,16	1,87		
Kondylusköpfchen in Bewegung	%	100	95,2	100	96,8		
13	Av.	2,05	2,04	1,92	1,89		
Diskuskontur in Bewegung	%	98,4	95,2	98,4	100		
14	Av.	1,22	2	1,08	1,85		
Kondyluskontur in Bewegung	%	100	96,2	100	100		

3.3 Ergebnisse der RDC/TMD

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse in Form der Diagnosen, die anhand der klinischen Untersuchung und der Fragebögen der RDC/TMD für jedes Kiefergelenk gestellt werden konnten. Dabei steht in der Gruppe I des *myofazialen* Schmerzes das Ia für "*myofazialer* Schmerz ohne limitierte Mundöffnung", Ib für "*myofazialer* Schmerz mit limitierter Mundöffnung" sowie Ix für "keine Gruppe I Diagnose". In der Gruppe II, die die Diskusverlagerungen beinhaltet, stellt IIa die Diagnose "Diskusverlagerung mit Reposition" dar, IIb "Diskusverlagerung ohne Reposition und mit limitierter Mundöffnung", IIc "Diskusverlagerung ohne Reposition und ohne limitierte Mundöffnung" und IIx "keine Gruppe II Diagnose". Die dritte Hauptgruppe der degenerativen Erkrankungen III ist ebenfalls in vier Untergruppen unterteilt: IIIa bedeutet "*Arthralgie*", IIIb " *Arthritis*", IIIc "*Arthrose*" und IIIx "keine Gruppe III Diagnose".

Tabelle 27: Ergebnisse der RDC/TMD nach Auswertung der Frage- und Untersuchungsbögen anhand der entsprechenden Bewertungsalgorithmen.

			RDC	RDC	RDC
	Max / Stretch		TMD	TMD	TMD
Proband*in Nr.	(in mm)	Seite	Gr. I	Gr. II	Gr. III
1	53/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIc
2	60/7	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
3	41/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
4	60/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIa / IIIx
5	52/5	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
6	45/3	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
7	56/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
8	-	re/li	Ix / Ix	-	-
9	45/3	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
10	45/7	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
11	53/4	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
12	58/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
13	41/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
14	65/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
15	46/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
16	45/3	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
17	48/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIa	IIIx / IIIa

			RDC	RDC	RDC
	Max / Stretch		TMD	TMD	TMD
Proband*in Nr.	(in mm)	Seite	Gr. I	Gr. II	Gr. III
18	60/0	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
19	-	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	-
20	58/3	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIa / IIIx
21	46/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIa	IIIx / IIIc
22	54/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
23	46/0	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
24	68/6	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
25	65/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
26	55/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
27	50/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
28	54/2	re/li	Ix / Ix	IIa / IIx	IIIx / IIIx
29	41/2	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
30	54/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
31	55/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
32	47/5	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
33	55/1	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx
34	54/0	re/li	Ix / Ix	IIx / IIx	IIIx / IIIx

Max = Maximale aktive Mundöffnung (mm), Stretch = Maximale passive Mundöffnung (in mm), Seite entspricht der rechten oder linken Kiefergelenksseite. Diagnosen: Ia = *Myofaziale* Schmerzen, Ib = *Myofaziale* Schmerzen mit limitierter Mundöffnung, Ix = Keine Gruppe I Diagnose, IIa = verlagerter Diskus mit Reposition, IIb = verlagerter Diskus ohne Reposition mit limitierter Mundöffnung, IIc = verlagerter Diskus ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung, IIx = keine Gruppe II Diagnose, IIIa = Gelenkschmerz, IIIb =. *Osteoarthritis*, IIIc = *Osteoarthrose*, IIIx = Keine Gruppe III Diagnose.

Es wurden insgesamt 34 Probanden und Probandinnen, somit 68 Kiefergelenke untersucht. Davon wurden bei zwei Personen die Daten nicht vollständig erhoben, da diese aus zeitlichen Gründen die Untersuchung nicht zu Ende durchführen lassen konnten. Somit werden sich die folgenden Berechnungen auf 64 Kiefergelenke beziehen.

Die Tabelle 26 ergibt, dass von den 64 Kiefergelenken keines der Gelenke eine Gruppe I Diagnose zugeordnet bekam. In der Gruppe II traten 61 Kiefergelenke ohne Diagnose (IIb und IIc) auf, jedoch 3 Kiefergelenke mit der Diagnose a "Diskusverlagerung mit Reposition". In der dritten Hauptgruppe waren 59 Kiefergelenke ohne Diagnose der degenerativen Erkrankungen. 3 Kiefergelenke traten mit Diagnose a "Arthralgie" auf, bei 2 weiteren wurde die Diagnose c "Arthrose" gestellt.

Die maximale Mundöffnung (in mm) unter "Max" sowie die passive Mundöffnung (in mm) unter "Stretch" zeigen, dass keiner der untersuchten Personen unter einer limitierten Mundöffnung litt.

Somit konnte bei 6 der einbezogenen 32 Personen eine Diagnose laut der RDC/TMD erhoben werden, was rund 19 % entspricht. Jedoch gaben innerhalb des Anamnesebogens 10 der 32 (31%) an, dass sie unter Schmerzen in mindestens einem der Kiefergelenke litten und 18 von 32 (56%) nachts mit den Zähnen knirschen und pressen würden.

In der folgenden Tabelle 27 sind die Gesamtergebnisse (und gerundete Prozentangaben) noch einmal zusammengefasst:

Tabelle 28: Zusammenfassende Gesamtergebnisse der RDC/TMD aller drei Untersucher anhand der Bewertungsalgorithmen (in Klammern in prozentualen Anteilen).

Ergebnisse der RDC/TMD anhand der Auswertungsalgorithmen							
	RDC/TMD	RDC/TMD	RDC/TMD				
	Gr. I	Gr. II	Gr. III				
X	64 (100%)	61 (95%)	59 (92%)				
a	0	3 (5%)	3 (5%)				
b	0	0	0				
c	-	0	2 (3%)				

Diagnosen: Ix = Keine Gruppe I Diagnose, Ia = *Myofaziale* Schmerzen, Ib = *Myofaziale* Schmerzen mit limitierter Mundöffnung. IIx = keine Gruppe II Diagnose, IIa = verlagerter Diskus mit Reposition, IIb = verlagerter Diskus ohne Reposition mit limitierter Mundöffnung, IIc = verlagerter Diskus ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung. IIIx = Keine Gruppe III Diagnose, IIIa = Gelenkschmerz, IIIb = *Osteoarthritis*, IIIc = *Osteoarthrose*.

3.4 Vergleichende Ergebnisse der *Realtime*-MRT und RDC/TMD

Um die Ergebnisse der klinischen Untersuchung anhand der RDC/TMD mit den Ergebnissen der Beurteilungen der *Realtime*-MRT-Videos in Vergleich zu setzen, konnte nur die Diskusverlagerung herangezogen werden. Dies beruhte darauf, dass ausschließlich die Diskusverlagerung als konkrete Diagnose sowohl in dem Bewertungsalgorithmus der RDC/TMD als auch in den Beurteilungsbögen der Videos für die Untersucher möglich war.

In der folgenden Tabelle 28 sind die beiden Untersuchungsmöglichkeiten gegenüber gestellt anhand der Diagnosen "keine Diskusverlagerung" (kDV), "anteriore Diskusverlagerung mit

Reposition" (DVR) und "anteriore Diskusverlagerung ohne Reposition" (DVoR). Sofern die Diagnose durch die MRT oder die RDC/TMD gestellt wurde, ist eine 1 in die Tabelle eingetragen; bei Nicht-Zutreffen der Diagnose ist eine 0 eingetragen. Dies gilt jeweils für das rechte und linke Kiefergelenk pro Proband*in. Stimmen die beiden Diagnosen überein, so ist die Spalte daneben mit einem "+" gekennzeichnet. Sofern sie voneinander abweichen, ist sie mit einem "-" markiert.

Tabelle 29: Vergleich der Ergebnisse der Realtime-MRT und der RDC/TMD.

Pro- band*in		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:	
Nr	Seite	kDV	kDV		DVR	DVR		DVoR	DVoR	
1	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
2	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
3	rechts	1	1	+	1	0	-	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
4	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
5	rechts	1	1	+	0	0	+	1	0	-
	links	1	1	+	1	0	-	1	0	-
6	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	1	0	-	0	0	+
7	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
8	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
9	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
10	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
11	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+

Pro- band*in		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:	
Nr	Seite	kDV	kDV		DVR	DVR		DVoR	DVoR	
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
12	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
13	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
14	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
15	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
16	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
17	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	0	-	0	1	-	0	0	+
18	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
19	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
20	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
21	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	0	-	0	1	-	0	0	+
22	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
23	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
24	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
25	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+

Pro- band*in		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:		MRT:	RDC:	
Nr	Seite	kDV	kDV		DVR	DVR		DVoR	DVoR	
26	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
27	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
28	rechts	1	0	-	0	1	-	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
29	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
30	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
31	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
32	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
33	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+
34	rechts	1	1	+	0	0	+	0	0	+
	links	1	1	+	0	0	+	0	0	+

kDV = keine Diskusverlagerung, DVR = Diskusverlagerung mit Reposition, DVoR = Diskusverlagerung ohne Reposition, 1 = Diagnose wurde gestellt, 0 = Diagnose wurde nicht gestellt, "-" = keine Übereinstimmung zwischen Diagnose der MRT und RDC/TMD, "+" = Übereinstimmung zwischen Diagnose der MRT und RDC/TMD.

Somit erbringt diese Tabelle das Resultat, dass der Befund "kDV" bei 65 von 68 untersuchten Kiefergelenken übereinstimmt, was einem prozentualen Wert von 95,59 entspricht. Bezüglich des Befunds "DVR" ergaben die klinische Untersuchung und die Videos zu 91,18 % (62 von 68 Kiefergelenken) die gleiche Diagnose. Für die dritte Kategorie "DVoR" stimmten die Diagnosen bei 66 von 68 überein, somit zu 97,06 %.

Bei der erneuten Beurteilung der *Realtime*-MRT-Videos durch Untersucher 6 ergab sich, dass bei sieben Personen die klinische Untersuchung zu einer abweichenden Diagnose im Vergleich zu den *Realtime*-MRT-Videos führte, denn das Ergebnis aus den *Realtime*-Aufnahmen brachte auch bei der Nachbeurteilung das gleiche Resultat. So ergab sich, dass bei 6 der 7 Abweichungen von allen drei Untersuchern in der Bildgebung kein Sprung des Kondylus bzw. keine Diskusverlagerung zu erkennen war, der klinische Untersucher hingegen bei allen ein Knackgeräusch festgestellt hatte. Bei einem weiteren Probanden konnte von allen drei Untersuchern die Kondylusbewegung als "diskontinuierlich" im Bild bewertet werden, wohingegen der klinische Befund keine Abnormität darstellte.

Zum weiteren Vergleich der beiden Methoden ließen sich die Werte der Sensitivität und Spezifität heranziehen. Dabei galt die weltweit anerkannte und praktizierte Methode der RDC/TMD als etablierte Methode, mit der die neue Methode der *Realtime-MRT* verglichen wurde.

3.4.1 Berechnung Diskusverlagerung mit Reposition

Tabelle 30: Berechnung Diskusverlagerung mit Reposition anhand der Vierfeldertafel.

Diskusverlage	rung mit	RDC/TMD			
Reposition		Pat.	Pat. Gesund		
		Krank (1)	(0)		
MRT	Test pos.(1)	0	3		
	Test neg. (0)	3	62		

Die Berechnung der Sensitivität fand mit folgender Formal statt:

$$0/(0+3)=0$$

Die Sensitivität konnte aus mathematischen Gründen nicht berechnet werden, das Ergebnis gilt als "nicht definiert". Da zwar drei Studienteilnehmer*innen an einer Diskusverlagerung mit Reposition laut der RDC/TMD litten, diese aber kein Mal in der *Realtime-MRT* erkannt wurden, besteht somit keinerlei Abhängigkeit der Testverfahren zueinander.

Die Berechnung der Spezifität fand mit folgender Formel statt:

$$62/(62+3) = 0.95$$

Bei 95 % der Teilnehmer*innen ohne Diskusverlagerung, also mit normaler Diskusposition, war das Untersuchungsergebnis auch negativ.

3.4.2 Berechnung Diskusverlagerung ohne Reposition

Tabelle 31: Berechnung Diskusverlagerung ohne Reposition anhand der Vierfeldertafel.

Diskusverlage	rung ohne	RDC/TMD			
Reposition		Pat.	Pat. Gesund		
		Krank (1)	(0)		
MRT	Test pos.(1)	0	2		
	Test neg. (0)	0	66		

Die Berechnung der Sensitivität fand mit folgender Formal statt:

$$0/(0+0) = 0$$

Auch hier konnte die Sensitivität aus mathematischen Gründen nicht berechnet werden und das Ergebnis gilt als "nicht definiert", da keiner der Teilnehmer*innen laut RDC/TMD an einer Diskusverlagerung mit Reposition erkrankt war.

Die Berechnung der Spezifität fand mit folgender Formel statt:

$$66/(66+2) = 0.97$$

Bei 97 % der Studienteilnehmer*innen ohne Diskusverlagerung, also mit normaler Diskusposition, ist das Untersuchungsergebnis auch negativ.

4 Diskussion

4.1 Validität der *Realtime-MRT* gegenüber der klassischen MRT-Aufnahme

Seit vielen Jahrzehnten besteht bereits die Erkenntnis über das Vorhandensein des multifaktoriell bedingten Krankheitsbildes der kraniomandibulären Dysfunktionen (Manfredini et al. 2011). Schon lange suchte man nach einer Möglichkeit, die komplexen Abläufe im Kiefergelenk während des Mundöffnens und -schließens als dynamische Bewegung anhand einer Bildgebung darstellen zu können. Es bestand der Wunsch nach weiterer Abklärung einiger Diagnosen, hierfür standen jedoch nur statische Bilder anhand der klassischen Röntgenaufnahme (z. B. Panoramaschichtaufnahme) oder später auch anhand von MRT und CT zur Verfügung. Schon früh erkannte man, dass die Strahlenbelastung so geringfügig wie möglich gehalten werden sollte — somit galt seither die MRT gegenüber der CT meist als überlegen und als Goldstandard auf Grund ihrer Non-Invasivität (Behr et al. 1996; Ahmad et al. 2009; Nogami et al. 2013). Dies gilt sowohl für die Diagnose der Diskusverlagerung als auch des Gelenkergusses, da durch die unterschiedlichen Signalstärken des Gewebes (Knochen, Knorpel, Diskus, Muskeln, Bänder und Gelenkflüssigkeit) alle Strukturen, die maßgeblich an der Schmerzentstehung einer CMD beteiligt sind, klar voneinander abgegrenzt werden können (Shi et al. 2014). Das CT überzeugt hingegen bei der Darstellung von knöchernen Pathologien, wie beispielsweise der Osteoarthritis (Ahmad et al. 2009) und Kondylusveränderungen (Matsubara et al. 2018), wobei letztere häufig aber nicht die Schmerzursache der CMD darstellen.

Die klassische MRT-Aufnahme galt bereits in der Studie von Stehling et al. (2007) auf Grund des schnellen technischen Fortschritts der Kiefergelenksaufnahmen als optimale Option der Bildgebung. Durch die MRT ist es vor allem möglich, die Lagebeziehung zwischen Kondylus und Diskus, Gelenkergüsse und morphologische Veränderungen (bspw. der Diskusform oder der *Eminentia*) darzustellen (Yang et al. 2017; Matsubara et al. 2018; Talmaceanu et al. 2018). Jedoch konnte anhand der einzelnen statischen Aufnahmen häufig nicht das eigentliche Problem der Diskusverlagerung bzw. das Klick-/Knackgeräusch dargestellt werden, da der Sprung des Diskus auf Grund der kurzen Sequenz nicht aufgezeichnet werden konnte (Tymofiyeva et al. 2007; Manfredini und Guarda-Nardini 2008).

Daraufhin entwickelte sich die sogenannte CINE-MRT, mit der eine pseudo-dynamische MRT geschaffen wurde. Anhand aneinander gereihter Bildsequenzen und einer Simulierung der verschiedenen Mundöffnungsgrade durch verschiedene Aufbissbehelfe sollte eine pseudo-Bewegung erkennbar sein (Burnett et al. 1987). Doch auch diese Methode führte nicht zu dem gewollten diagnostischen Mehrwert, da einzelne statische Positionen in verschiedenen Mundöffnungsgraden nicht der physiologischen Mundöffnungsbewegung, v. a. auf Grund mangelnder muskulärer Beteiligung, entsprachen. Zudem addierten sich die sehr lange Aufnahmezeit, der hohe Aufwand und die teils auch schmerzhafte Behandlung sowie die Fehleranfälligkeit. In der Studie von Behr et al. (1996) stellte sich deutlich heraus, dass bei 18 von 21 untersuchten Probanden und Probandinnen das statische MRT-Bild mit geschlossenem und mit geöffnetem Mund mehr Informationen zu einer möglichen Diagnose einer CMD beitrug als das pseudodynamische MRT-Bild. Sowohl die Auflösung als auch der Kontrast waren in der klassischen MRT-Aufnahme besser, so dass auch Gelenkergüsse und Diskusverlagerungen sicherer diagnostiziert werden konnten. Somit war das CINE-Verfahren noch immer keine zufriedenstellende Möglichkeit der dynamischen Bildgebung. Die Entwicklung der Realtime-MRT war ein langjähriger Prozess, bis Fehlerquellen wie Artefakte, Signalverlust oder limitierte Auflösungstechniken anhand der FLASH-Technik modifiziert werden konnten (Abolmaali et al. 2004; Shimazaki et al. 2007). Im Jahr 2010 galt es noch, das Problem der langen Aufnahmezeit und die damit verbundene Belastung durch eine langsame Mundöffnungsbewegung sowie die Beschränkung auf eine einschichtige Aufnahme zu lösen. Dies wurde mittels der hier verwendeten modifizierten FLASH Technik gelöst und die Aufnahmezeit konnte deutlich reduziert werden (Zhang et al. 2010). Seitdem die Realtime-MRT in den medizinischen Alltag Einzug hielt, wurde folglich das Verständnis und die Sichtbarkeit von dynamischen Prozessen im menschlichen Körper revolutioniert. Nicht nur die Darstellung eines schlagenden Herzens und arteriellen Durchflusses oder des komplexen Schluckvorgangs (Olthoff et al. 2014), sondern auch die Rotationsund Gleitbewegung des einzigartigen Doppelgelenks des Kiefers ist nun möglich geworden (Zhang et al. 2010). Auch der Moment des Diskussprungs, welches das Knackgeräusch verursacht, kann nun dargestellt werden. Die Realtime-Technik stellt zudem eine, für medizintechnische Produkte, verhältnismäßig kostengünstige Methode dar, um dynamische Aufnahmen zu erhalten. Denn bereits vorhandene Magnetresonanztomographen müssen lediglich

um die Kopfspulen und ggf. einen Bypass-Computer erweitert werden. Durch die, im Ver-

gleich zur klassischen MRT, verkürzte Aufnahmezeit kann das Gerät sogar stärker frequentiert werden und Kosten amortisieren sich somit schneller. Ferner ist eine raschere Befundung durch den Radiologen direkt im Anschluss an die Aufnahmen durchführbar.

Wie bereits in Studien (Ahmad et al. 2009; Karlo et al. 2012) zuvor, wurden auch in dieser Studie die Bewertungen der Kiefergelenke durch die drei Untersucher anhand der *Realtime*-MRT-Videos verglichen. Dies geschah anhand des Kappa-Wertes nach Fleiss. Dabei stellte sich das exzellente Gesamtresultat von 0,96 für die Beurteilung der Bewegung des Diskus heraus. Die Beurteilung der "*anterioren* Diskusverlagerung mit Reposition" ergab einen k-Wert von 0.96 und "ohne Reposition" eine Übereinstimmung der Untersucher von 0.98.

Für die Beurteilung der "gesamten Kondylusbewegung" ergab sich eine Übereinstimmung von 0.74. Dabei waren sich die Untersucher beim "limitierten Bewegungsumfang des Kondylus" sehr einig (k = 0.92), beim "diskontinuierlichen Bewegungsumfang" ergab sich ein geringerer kappa-Wert von 0.73 für die Gutachten.

Somit stellt die in dieser Studie genutzte *Realtime*-MRT-Technik eine reliable Methode dar, um Kiefergelenkserkrankungen zu diagnostizieren. Trotz der beachtlichen bis perfekten Übereinstimmung der Untersucher muss jedoch bedacht werden, dass von 34 zufällig ausgewählten Studienteilnehmer*innen lediglich eine Probandin an einer Erkrankung des Kiefergelenks in Form einer "Diskusverlagerung ohne Reposition" litt. Somit kann die hier zufällig gewählte Kohorte die Vorzüge der *Realtime*-MRT in der Findung einer CMD-Diagnose kaum unterstreichen. Die Resultate basieren zudem auf einer subjektiven Meinung der Untersucher, die auf unterschiedlicher Berufserfahrung und der Tagesform beruht. Dies bedeutet, dass einige Untersucher*innen kritischer bewerteten als andere. Auch die Qualität des Monitors, auf dem die Bilder beurteilt wurden, spielte eine Rolle für die Notenvergabe. Sicherlich steigt auch der eigene Anspruch an die Technik — eine Bildqualität, die vor beispielsweise zehn Jahren als hervorragend empfunden wurde, wird heutzutage auf Grund des technischen Fortschritts subjektiv nicht mehr ausreichen.

Ferner sind die Ergebnisse der Aufnahmen abhängig von der Compliance der Probanden und Probandinnen während der Mundöffnungs- und schließbewegung anhand der Powerpoint-präsentation. Es muss weiterhin beachtet werden, dass die Person während der Kieferbewegungen lag und nicht aufrecht stand. Dabei rutschte der Kondylus in eine retralere Position als zum Zeitpunkt der klinischen Untersuchung im aufrechten Sitz des Behandlungsstuhls.

Zudem wurde die Achse des Kondylusköpfchens bei dieser Studie nur anhand eines axialen statischen Ausgangsbildes festgelegt, auf deren Grundlage anschließend die senkrecht stehende *sagittale* Schicht als zentrale Schicht festgelegt wurde. Auch hier können bereits Fehlerquellen bei falscher Wahl der Kondylarachse und später der angenommenen zentralen Schicht getroffen worden sein und somit zur reduzierten Bildqualität führen.

Auch in der kürzlich erschienenen Studie von Ravanelli et al. (2020) fand ein ähnlicher Versuchsaufbau wie in dieser Forschungsgruppe statt. Es wurden 99 Kiefergelenke anhand statischer und dynamischer HASTE (half fourier single shot turbo spin echo) MRT-Sequenzen in Bezug auf die Diagnose "internal disc derangement" untersucht und verglichen, jedoch wurde keine klinische Diagnose gestellt. Zwei Radiologen bewerteten hier ebenfalls anhand einer Skala die Sichtbarkeit des Kondylus und Diskus während der Mundöffnungsbewegung. Die dynamischen Videosequenzen wurden signifikant besser bewertet in der Qualität als die statischen Bilder. Es konnte eine hohe Interrater- und auch Intrarater-Übereinstimmung mittels des Übereinstimmungs-Korrelations-Koeffizienten (CCC) ermittelt werden, für die Beurteilung jeder einzelnen Sequenz sowohl in der Statik als auch in der Dynamik. Die Interrater-Übereinstimmung zwischen den statischen und dynamischen Bildern war dagegen gering. Bei erneuter Begutachtung der Bilder, nun im direkten Vergleich, wurde jedoch zu 84,5 % die Diagnose durch die Realtime-MRT als korrekt und die der statischen MRT als fälschlich angenommen. Somit wurden häufig die Diagnosen "Diskusverlagerung mit Reposition" zu "gesundem Kiefergelenk" korrigiert oder es konnten auch noch Mobilitäten der Gelenke statt Immobilitäten erkannt werden. Folglich zeigt auch diese Versuchsreihe, dass trotz geringer zeitlicher (1 Sekunde) und räumlicher Auflösung als in der statischen Aufnahme, die Qualität der Realtime-MRT als höher bewertet wurde im Vergleich zur statischen MRT. Die Realtime-Aufnahme bot eine bessere Darstellung der posterioren Begrenzung des Gelenks und der Diskus-Kondylus-Bewegung. Weiterhin zeigte sich, dass durch die Realtime-MRT eine falsch positive Diagnose und mögliche falsche Therapie in vielen Fällen vermieden werden kann. Aber auch, dass weitere Studien mit anderen Versuchsaufbauten notwendig sind, um eine klinische Anwendbarkeit zu validieren. Unter anderem wurde auch hier die Abhängigkeit von der Compliance bei der Mundöffnungsbewegung während der Aufnahme oder die Bewertung in nur einer beliebig zentral gewählten Schicht kritisiert.

Es bedarf zukünftig standardisierter Protokolle zur Positionierung der Kiefergelenke MR-Tomographen sowie der verwendeten Kopfspulen, zur Wahl der besten Sequenz und zur

Diagnosefindung. Garetier et al. (2020) haben in ihrer Veröffentlichung die Empfehlung gegeben, die Gelenke möglichst zentral im MR-Tomographen zu positionieren, so dass einerseits eine gute Bewegungsfreiheit (*range of motion*) gewährleistet ist; andererseits aber auch das Gelenk möglichst nah an der Spule zu positionieren, um das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) zu optimieren. Es sollte ein 3 Tesla-Magnetresonanztomograph mit 16-Kanal-Kopfspulen verwendet werden um ein gutes SNR, eine hohe räumliche Auflösung und eine geringe Aufnahmezeit zu erreichen. Weder der Patient oder die Patientin noch die Spulen sollten bewegt werden. Die Spulen dienen sowohl für statische als auch dynamische Aufnahmen und verlängern somit nicht unnötig die Aufnahmezeit. Die Autoren führen drei verschiedene Sequenzen an, die sich seit 2010 bis 2020 für die Darstellung von Gelenkbewegungen bewährt haben: die *balanced steady-state free precession* (SSFP), die *RF-spoiled sequence* und die hier genutzte *ultra-fast gradient echo sequence*.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz einiger Kritikpunkte, die genannt wurden, die *Realtime*-MRT sowohl wirtschaftlich als auch medizinisch eine gute Alternative zur statischen MRT bietet, welche in einigen Aspekten noch weiterentwickelt werden muss — primär in der Reduktion der Artefakte durch Verbesserung des SNR. Für einige Indikationen wie beispielsweise die Darstellung des Knies oder Sprunggelenks ist die hervorragende Bildqualität der statischen MRT laut Frahm et al. (2019) absolut ausreichend, um eine Diagnose stellen zu können — für Patienten und Patientinnen, die z. B. aber ausschließlich in Bewegung eines Gelenks Schmerzen verspüren, jedoch nicht. Auch Hopfgartner et al. (2013) erkannten in ihrer Studie, dass die Diagnose von *kraniomandibulären* Dysfunktionen anhand der dynamischen MRT gut möglich ist. Man sollte sich ihrer Empfehlung anschließen, dass die Bildgebung als Maßnahme bei schwer therapierbaren sowie komplexen Fällen hinzugezogen werden sollte, um eine Fehlbehandlung und unnötige Kosten zu vermeiden.

Abschließend stellt sich die Frage, ob die bisher in Bezug auf das Kiefergelenk immer als "Goldstandard" angenommene statische MRT zukünftig besser durch die *Realtime*-MRT als Referenzwert abgelöst werden sollte. Gerade bei Diskusverlagerungen scheint die dynamische *Realtime*-Aufnahme eine hohe Bildqualität und einen Mehrwert zur richtigen Diagnosefindung zu bieten (Ravanelli et al. 2020; Garetier et al. 2020). Durch diese Innovation kann durchgängig die Beziehung zwischen Diskus und Kondylus während der Mundöffnung/des Mundschlusses unter Beteiligung der dazugehörigen Muskulatur beurteilt werden. Sie funktioniert schneller als die Standard-MRT, ist somit stressfreier für die untersuchten Personen

und liefert deutlich mehr Informationen über die beteiligten Strukturen der Kiefergelenksbewegung (Krohn et al. 2018). Derzeit spricht, trotz der genannten Vorteile, die noch zu geringe Studienlage und das mangelnde Equipment (Kopfspulen und Bypass-Computer) in den Kliniken gegen die umfängliche Etablierung der *Realtime*-MRT.

4.2 Vergleich der beiden *Realtime-*MRT-Methoden (3 Bilder pro Sek. und 15 Bilder pro Sek.)

Abschließend gilt es nun zu beurteilen, ob die Weiterentwicklung der *Realtime*-Magnetresonanztomographie bereits den gewünschten Fortschritt in der Befundung von Kiefergelenken erbracht hat. Im Jahr 2012 wurde die Vergleichsstudie durchgeführt. Bis 2014 wurde die Technik modifiziert, die Auflösung konnte von 3 auf 15 Bilder pro Sekunde erhöht und somit die Gesamtdauer der Aufnahme reduziert werden.

In Bezug auf die Beurteilung der anatomischen Begrenzungen der Kiefergelenksstrukturen von Untersucher Nummer 5 ergab sich in 2 der 14 zu bewertenden Kategorien ein gleichbleibend sehr guter Bewertungsdurchschnitt. Betroffen sind die Kategorien der "Kondylus-Kontur in Bewegung" sowie des "Diskuskörpers in Bewegung". Dies bedeutet, dass der Untersucher 5 in diesen Gruppen sehr häufig die Strukturen mit den Bewertungspunkten 1-3(exzellent, gut und durchschnittlich sichtbar) erkennen konnte. In der Beurteilung der dynamischen Strukturen gab es in der Kategorie der "Diskus-Kontur in Bewegung" eine gewichtige Verbesserung. Insgesamt ist die Bildqualität trotz der quantitativ geringfügig verbesserten Bewertungen als sehr gut anzusehen, da in allen 14 Kategorien sowohl bereits in der Vergleichsstudie vom Jahr 2012 als auch in der aktuellen Studie Werte im Mittel über 86,3 % erreicht werden konnten. Die geringe Verschlechterung in einigen Bewertungskategorien dieser Studie (wie beispielsweise die "anteriore" oder "posteriore Begrenzung des Diskus bei geschlossenem Mund") lässt sich darauf zurückführen, dass es einige bereits genannte und folgend weiter ausgeführte subjektive Parameter in der Urteilsfindung gibt. Außerdem liegt die Konformität der Untersucher in dieser Arbeitsgruppe höher als jene in der Arbeitsgruppe von 2012. Betrachtet man die kappa-Werte für die verschiedenen Formen der Diskusverlagerung, so waren sich die drei Zahnärzte aktuell zu einem kappa-Wert von maximal 0,98 einig, vor zwei Jahren jedoch zu maximal 0,84. Dies entspricht einer nahezu perfekten Kongruenz der Resultate untereinander. Laut Zhang et al. (2014) spricht eine hohe

Interrater-Übereinstimmung für eine valide klinische Untersuchungsmethode und für eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Des Weiteren gibt es aktuell größere prozentuale Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen der *Realtime*-MRT-Befunde und der Befunde der RDC/TMD. Beispielhaft sei hier genannt, dass 2014 die Spezifität für "Diskusverlagerungen mit Reposition" bei 95 % zwischen den beiden Untersuchungsmethoden lag, jedoch im Jahr 2012 bei deutlich geringeren 88 %. Daraus lässt sich nun schließen, dass durch die verbesserte Auflösungsrate zum einen eine höhere Homogenität der Untersucherbewertungen untereinander, zum anderen eine höhere Korrelation zwischen klinischem Befund und dem Befund anhand der Bildgebung erreicht werden konnte.

Die Qualität der Aufnahmen ist neben der Bildauflösungsrate auch abhängig von weiteren, bereits oben erläuterten, subjektiven Parametern (bspw. von der Wahl der *sagittalen* Schicht für die *Localizer*-Aufnahme, der Compliance der Patienten und Patientinnen während der Aufnahme oder der Berufserfahrung des Untersuchers).

Am ehesten lässt sich ein Vergleich zwischen den beiden Studien durch die Betrachtung der Bewertungen des Untersuchers 5 ziehen. Denn alleinig dieser Zahnarzt hat die Aufgabe des Untersuchers in beiden Studien übernommen und bringt somit nahezu identische (außer der Anzahl der Berufsjahre), objektive Voraussetzungen mit. Doch auch hier gibt es nur eine Kategorie, in der sich der Bewertungsdurchschnitt verbessert hat.

Um nun die Fragestellung der Studie wieder aufzugreifen, lässt sich feststellen, dass die *Realtime*-MRT vor allem in der Bewertung der Dynamik einen wichtigen Mehrwert bringt und dies bereits mit einer Auflösungsrate von 3 Bildern pro Sekunde. Andere Studien haben gezeigt, dass die gute Sichtbarkeit der anatomischen Strukturen auch in der klassischen MRT gegeben ist (Westesson 1993; Schmitter et al. 2006). In nur sehr wenigen Kliniken steht ein *Realtime*-Magnetresonanztomograph zur Verfügung und die Studienlage reicht derzeit noch nicht aus um die Echtzeitaufnahmen in den klinischen Alltag zu integrieren. Jedoch sollte zu jeder Indikation die passende Bildgebung gewählt werden und in vielen Anwendungsgebieten ist ein Fortschritt der MRT basierten Radiologie notwendig (Frahm et al. 2019). Da vorwiegend die Dynamik in Bezug auf die Diskusdrehgleitbewegung für das Diagnostizieren von CMD, insbesondere der Diskusverlagerung, entscheidend ist, revolutioniert die *Realtime*-Aufnahme die Bildgebung (Zhang et al. 2010). Es wird jedoch notwendig sein, diesen Mehrwert durch weitere Studien und eine erhöhte Teilnehmer*innen-Zahl zu bekräftigen (Frahm et al. 2019). Ein weiteres Problem stellt die Zusammenstellung der Kohorte

dar. Sie war zufällig gewählt und somit gab es nur drei Kiefergelenke, bei denen jeweils klinisch durch die RDC/TMD eine CMD in Form von "anteriorer Diskusverlagerung mit Reposition" und "Arthralgie" diagnostiziert wurde. Bei zwei weiteren Kiefergelenken wurde dabei eine "Gelenksarthrose" festgestellt. Anhand der Realtime-MRT-Diagnostik wurde keine Diskusverlagerung erkannt, jedoch eine "limitierte" und eine "diskontinuierliche Kondylusbewegung" in 6 bzw. 22 von 204 Fällen. Um die Fähigkeit der neuen real-time-Technik, erkrankte Kiefergelenke gut sichtbar darzustellen, zu überprüfen, sollten bei weiteren Studien mehr klinisch auffällige Personen gewählt werden. Infolgedessen kann festgestellt werden, ob auch schwerwiegende Erkrankungen, wie beispielsweise "Diskusverlagerungen ohne Reposition" oder "Kiefergelenksarthrosen", in den Aufnahmen ausreichend beurteilbar sind. Die Beurteilung der Bilder sollte auch stärker objektiviert werden, um einen besseren Vergleich zu vergangenen Studien herstellen zu können. Es bietet sich an, Vergleichsstudien mithilfe der gleichen Untersucher*innen durchzuführen.

Der Zukunftstrend ist vielversprechend. Durch die Gradientenecho-MRT mit extremer radialer Unterabtastung und Verwendung des NLINV Algorithmus ist es möglich, diverse physiologische Prozesse und Köperfunktionen darzustellen. Beispielsweise ist bereits eine Auflösung von 50 Bildern pro Sekunde beim Sprachvorgang mit einer Aufnahmezeit von nur 20 ms pro Bild möglich. Bisherige Untersuchungsmethoden, wie z. B. die EKG-basierte Herzuntersuchung, können zukünftig durch Darstellung der Funktion im *Realtime*-Video abgelöst werden (Frahm et al. 2019).

Auch Litko-Rola et al. (2021) stellten fest, dass CMD-Diagnosen in der MRT zukünftig eher anhand von mehrschichtigen *koronalen* und *sagittalen* Aufnahmen anstelle einer einzelnen zentralen *sagittalen* Schicht getroffen werden sollten, um falsch-negative Ergebnisse zu vermeiden.

In Bezug auf mehrschichtige Kiefergelenksaufnahmen gab es in den letzten Jahren innovative Fortschritte im Bereich der *Realtime*-MRT. Mittlerweile ist es möglich die auch schon vorher bspw. in der Kardiologie bereits genutzte Mehrschicht-Technik am Kiefergelenk anzuwenden (Frahm et al. 2019). Dies bedeutet, dass *Realtime*-Videos gleichzeitig in 2, 3 oder 4 Schichten eines oder beider Kiefergelenke einer Person mit einer Auflösungsrate von 2x10, 3x10 oder 4x10 Bildern pro Sekunde aufgenommen werden können. Somit ergibt sich eine hervorragend geringe Aufnahmezeit von 50 ms, 33,3 ms oder 25,5 ms. Dies stellt eine erneute Verkürzung der Aufnahmezeit im Vergleich zu dieser Studie dar,

bei der die Aufnahmezeit bei 66,7 ms pro Bild (15 Bilder pro Sekunde) lag. In der Studie von Krohn et al. (2019) bewerteten ebenfalls drei Gutachter nach den gleichen hier genutzten Kriterien (1 = exzellente Sichtbarkeit, 5 = keine Sichtbarkeit) die Sichtbarkeit der anatomischen Strukturen der Kiefergelenke in den Realtime-Aufnahmen. Es ergab sich eine bestmögliche Sichtbarkeit mittels des T1-Kontrastes (und opposed-phase water-fat contrast) und einer section thickness von 6 mm. Im Vergleich zu dem hier genutzten T2/T1 Kontrast bietet der T1-Kontrast eine helle Signalstärke des Diskus und einen höheren Kontrast seiner anterioren und posterioren Begrenzung. Die Anatomie eines einzelnen Kiefergelenks konnte in 2 bzw. 3 simultanen Schichten am schärfsten erkannt werden. Die Anatomie beider Kiefergelenke eines Probanden oder einer Probandin parallel in zwei Schichten (jeweils eine Schicht pro Gelenk). Sogar 4 simultane Videos mit 4x10 Bildern pro Sekunde (2 Schichten pro Gelenk) führten zu einer klinisch akzeptablen Bildqualität (Frahm et al. 2019). Für die gesamte Studie ergab sich eine sehr hohe Interrater-Übereinstimmung in der Bewertung der Bildqualität. Jedoch war auch diese Kohorte auf eine geringe Anzahl und ausschließlich gesunde Teilnehmer*innen limitiert. Somit bleibt der Bedarf, größere Gruppen zu untersuchen und für jedes Krankheitsbild der CMD bestmögliche technische Gegebenheiten zu ermitteln. Vorteilhaft an der Mehrschicht-Aufnahme ist die Nutzung der dreischichtigen Aufnahme eines Gelenks als sogenannte Localizer-Aufnahme, anhand derer sich die zweischichtige Aufnahme orientiert hat. Die Wahl der Localizer ist somit objektiver und reproduzierbarer als in dieser Studie. Somit ist eine vielversprechende zeitsparende Technik geschaffen, die eine Möglichkeit bietet, die Kiefergelenksstrukturen während der physiologischen Bewegung mit einer hohen Bildqualität zu analysieren, und damit weitere CMD-Krankheitsbilder zu diagnostizieren und passende Therapien einzuleiten (Krohn et al. 2019).

4.3 Validität der RDC/TMD (Achse I)

1996 suchte man nach reliablen und validen Diagnostikkriterien um die CMD besser klassifizieren und somit auch behandeln zu können. Daraus ergab sich die auf die Ätiologie der Krankheit bezogene Achse I, die sich mit der Anamnese und den Symptomen befasst (Lipton und Dionne 1997), und die die Psyche und schmerzbezogene Handlungsunfähigkeit thematisierende Achse II. In den vergangenen Jahren wurden wiederholend Kritikpunkte an der

RDC/TMD laut, obwohl jedoch dieser Untersuchungsbogen zur Diagnosefindung einer *kraniomandibulären* Dysfunktion der am häufigsten angewendete auf der ganzen Welt ist (Dworkin und LeResche 2016).

Im Jahr 2010 beschäftigten sich daher diverse Forschungsgruppen mit seinen Vor- und Nachteilen und möglichen Modifikationen, vorrangig aber mit der Validierung der gesamten Untersuchungskriterien, die bis dato noch nicht stattgefunden hatte. Die Ergebnisse resultierten aus dem *Validation Project*, welches 6 Studien umfasst (Schiffman et al. 2010):

Die erste Studie umschreibt den Überblick über das gesamte Projekt sowie eine Darstellung der Methodik für die Referenzwerte, die der Beurteilung der Validität und Reliabilität der Achse I dienen, um somit Subtypen der CMD und Erkrankte von Gesunden unterscheiden zu können.

Die zweite Studie präsentiert die Reliabilität der verschiedenen Untersuchungspunkte und der daraus resultierenden acht Diagnosen der Achse I.

Die dritte Studie umfasst die Präsentation der Validität der acht Diagnosen der Achse I gegenüber der Standard-Referenz-Diagnosen.

Studie 4 stellt die Validierung der Achse II Instrumente dar.

Die fünfte Studie ergibt mögliche überarbeitete Diagnose-Algorithmen ableitend anhand der Achse I sowie deren Validität und Reliabilität, basierend auf neuen Untersuchungsmethoden.

Die finale sechste Studie beschreibt die weitere Anleitung zur ständigen Überarbeitung der Achse I in Bezug auf die Nomenklatur und Anzahl der Diagnosen. Ebenso behandelt sie die Erweiterung der Achse II, mit Betonung der ständig notwendigen Weiterentwicklung.

Zunächst wurde innerhalb der Studie 1 eine reliable Methode gesucht, die als weiterer Referenzstandard für die Ermittlung der Validität der Achse I Diagnosen gelten sollte. Die Validität der Achse II konnte in den folgenden Studien anhand bereits validierter Referenzwerte aus anderen Studien ermittelt werden.

Der Referenzwert für Studie 1 wurde mittels Untersuchung einer Personengruppe durch unabhängige Behandler*innen erfasst und anhand von kappa-Werten verglichen. Dieser Wert ergab eine hohe Übereinstimmung und eine angemessen ausgewählte Gruppe an Probanden und Probandinnen, so dass darauf basierend die Reliabilität und Validität der Achse I untersucht werden konnte (Schiffman et al. 2010).

Die Studie 2 ergab u. a., dass die Reliabilität in Bezug auf die Diagnosen "myofazialer Schmerz" (Gruppe I), "Arthralgie" (Gruppe IIIa), "Diskusverlagerung mit Reposition" (Gruppe IIa) und "Diskusverlagerung ohne Reposition mit limitierter Mundöffnung" (Gruppe IIc) gute bis exzellente Werte von 0.55 - 0.75 anhand der kappa Berechnung zwischen den Untersuchern ergab. Für die Diagnosen "Diskusverlagerung ohne Reposition mit limitierter Mundöffnung" (Gruppe IIb) und "Osteoarthritis/-arthrose" (Gruppe IIIb,c) ergaben sich nur schlechte Übereinstimmungen von k = 0.31 - 0.43 bzw. eine geringe Reliabilität (Look et al. 2010b). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Untersucher*innen im klinischen Alltag deutlich seltener mit den diagnostischen Subtypen der "Diskusverlagerung ohne Reposition" und "ohne limitierte Mundöffnung" sowie der degenerativen Erkrankungen der Arthritis/Arthrose konfrontiert werden und ohne fehlende weiterführende Diagnostik, wie z. B. der Bildgebung, nur schwer identifizieren können. Somit kann anhand der RDC/TMD ein Proband oder eine Probandin sinnvoll in eine Diagnosegruppe eingeordnet werden oder aber der Entschluss zur Notwendigkeit der weiterführenden Diagnostik getroffen werden. Die Zuverlässigkeit des Verfahrens wurde somit anhand der Studie 2 bewiesen. In der dritten Studie von Truelove et al. (2010) ging es daraufhin um die Validität bzw. Gültigkeit der RDC/TMD-Diagnosen. Dazu wurden rund 700 Studienteilnehmer*innen durch ausgebildete Dentalhygienikerinnen anhand der RDC/TMD eine Diagnose zugeordnet und diese mit der Diagnose durch CMD-Experten und Expertinnen verglichen, wobei letztere sämtliche klinische Daten sowie bildgebendes Material zur Verfügung hatten. Dabei wurde die Zielsensitivität auf 0.70 oder größer sowie die Zielspezifität auf 0.95 oder größer festgelegt. Diese Werte wurden jedoch in keiner der 8 Diagnose-Gruppen erreicht. Die höchste Sensitivität von 0.79 wurde für Gruppe Ib "Myofazialer Schmerz mit limitierter Mundöffnung" erreicht. Die höchste Spezifität wurde in Gruppe IIb und IIc "Diskusverlagerung ohne Reposition mit" und "ohne limitierte Mundöffnung" von 0.99 erzielt.

Zusammenfassend musste also der Bewertungsalgorithmus der Diagnosen überarbeitet werden, da der Zielwert für die gewünschte Validität allein durch die anamnestische und klinische Untersuchung der Achse I nicht erreicht werden konnte. Somit muss eine Kombination mit der Bildgebung angestrebt werden, um eine sichere Diagnose stellen zu können.

Studie Nummer 4 bleibt hier außer Acht, da sich die erarbeiteten Daten dieser Studie nur auf die Diagnosefindung anhand der anamnestischen und klinischen Untersuchung der Achse I beziehen und Ergebnisse der Achse II hier keine Relevanz haben. Auch die Studien 2, 3 und

5 des Validierungsprojektes ziehen eine getrennte Betrachtung der Achse I und II vor, so wie es beispielhaft auch in der Studie von Steenks und de Wijer (2009) praktiziert wurde. Auch nach Überarbeitung der Bewertungsalgorithmen zeigte Studie 5, dass zwar die Sensitivität und Spezifität in vielen Diagnosen auf bzw. über den anstrebten Zielwert gestiegen ist, jedoch vor allem in Bezug auf die Diskusverlagerungen und degenerative Erkrankungen eine Bildgebung unabdingbar ist, um eine klare Diagnose stellen zu können. Denn hier blieben die Werte der Sensitivität und Spezifität weiterhin unter dem Wunschwert bei 0.35 – 0.53 bzw. 0.8 – 0.95 (Truelove et al. 2010).

Die letzte Studie des Validierungsprojektes setzt sich mit möglichen Verbesserungen in der zukünftigen Weiterentwicklung der Untersuchungskriterien auseinander. Dabei wurde empfohlen, dass zukünftige Änderungen vorrangig klinisch basiert und somit auch besser klinisch anwendbar sind. Demzufolge solle auch die Nomenklatur von *Research Diagnostic Criteria* geändert werden. Auch die Benennung verschiedener Diagnose Gruppen solle an den klinischen Gebrauch angepasst werden. Ferner sollen mehr Diagnosegruppen dem Klassifikationsschema hinzugefügt werden um auch die seltenen Formen der CMD mittels der Untersuchungskriterien diagnostizieren und auch Differentialdiagnosen des orofazialbedingten Schmerzes herausfinden zu können. Als eine mögliche neue Untergruppe IV der Klassifikationen wird beispielsweise die "Kiefergelenks-Hypermobilität" in Form von Luxationen/Subluxationen während der maximalen Mundöffnung oder als Untergruppe V der "Spannungskopfschmerz in Zusammenhang mit dem Temporalismuskel" genannt (Anderson et al. 2010).

Des Weiteren merkten Anderson et al. (2010) in der sechsten Studie an, dass die angestrebte Sensitivität von mindestens 0.70 und die Spezifität von mindestens 0.95 nicht mehr dem aktuellen Stand entspricht. Der geringe Mindestwert von 0.70 bei der Sensitivität war 1992 bei Verfassen der RDC/TMD darauf begründet, dass möglichst wenige falsch-positive Diagnosen gestellt und somit teure, teilweise auch übertherapierende Mittel vermieden werden sollten. Die hohe Spezifität hat zur Folge, dass Grenzfälle eher als gesund anstatt als krank eingestuft werden und damit die übersehenen Symptome langfristig aber zu Konsequenzen führen können. Die beiden Maße sollten stets dem aktuellen Stand und dem gewünschten Nutzen angepasst werden. Somit ist eine Erhöhung der angestrebten Sensitivität wünschenswert, da heutzutage die Therapiemöglichkeiten deutlich günstiger, leichter anwendbar und mit weniger Risiko behaftet sind-dies geschieht dann auf Kosten des Spezifität-Wertes.

Auch der Erstautor der RDC/TMD stellte 2010 fest, dass seine Untersuchungskriterien von 1992 nicht mehr in allen Punkten zeitgemäß und praktikabel seien. Dworkin (2010) schließt sich den Forderungen von Anderson et al. (2010) an und erbat eine Überarbeitung des alten Namens zu "DC/TMD", da *research* (Forschung) nicht mehr passend erschien, da es sich nun um ein evidenzbasiertes, validiertes Diagnostik- und Klassifikationsmittel handelt. Ferner kritisierte auch er, dass die Sensitivitäts- und Spezifitätswerte dem aktuellen Wissenstand, z. B. bezüglich der Therapiemöglichkeiten, angepasst werden müssen. Jedoch sei große Vorsicht geboten bei Senkung der Spezifität, denn dies kann dazu führen, dass Personen therapiert werden, die eigentlich gesund sind. Dworkin sprach sich ebenfalls dafür aus, dass weitere Subtypen der Diagnosen eingefügt werden um ein möglichst breites Spektrum an CMD-Typen erfassen zu können. Es sollen zukünftig alle Neuerungen weiterhin evidenzbasiert und unparteiisch eingebracht werden, damit sich der RDC/TMD stetig weiterentwickeln kann.

Weitere Autoren und Autorinnen teilten Dworkins Meinung und kritisierten vor dem Validierungsprojekt unter anderem die Anwendbarkeit im klinischen Alltag auf Grund des großen Umfangs und der Durchführbarkeit einiger Untersuchungen, wie z. B. Palpation der Kaumuskulatur. Dies sei stark abhängig von der Übung und Berufserfahrung der Untersuchenden und schwierig standardisierbar bzw. vergleichbar. Es sollten außerdem unwichtige Punkte herausgekürzt und andere Diagnosen ergänzt werden. Auch sie äußerten somit den Wunsch nach einer Überarbeitung der Kriterien (Schmitter et al. 2008; Hasanain et al. 2009; Steenks und de Wijer 2009).

Im Jahr 2014 wurden dann erstmalig nach dem *Validation Project* die Untersuchungskriterien unter dem Namen "DC/TMD" von Schiffman et al. veröffentlicht, wie bereits vier Jahr zuvor von Anderson et al. (2010) und Dworkin (2010) gefordert. Die überarbeiteten RDC/TMD-Diagnose-Algorithmen waren ein valides Mittel um die häufigsten schmerzbezogenen CMD-Typen sowie eine Art von intraartikulären Dysfunktionen zu detektieren. Jedoch erarbeiteten Schiffman et al. mit dem DC/TMD ein Instrument, mit dem sowohl jede Form der CMD gesichtet als auch gleichzeitig in eine bestimmte Diagnosegruppe differenziert werden konnte. Es wird nun unterschieden ob es sich bei der CMD um eine "gewöhnliche schmerzbezogene" oder um eine "gewöhnliche intraartikuläre" Form handelt. Diese sind dann wiederum unterteilt in "Myalgie", "*myofazialer* Schmerz mit Referenz", "*Arthralgie*" und "auf CMD zurückgeführte Kopfschmerzen" zugehörig zur erstgenannten Gruppe.

Die "Diskusverlagerung mit Reposition" und "Diskusverlagerung mit Reposition mit intermittierender Kiefergelenkssperre", "Diskusverlagerung ohne Reposition mit" und "ohne limitierte(r) Mundöffnung", "degenerative Gelenkserkrankungen" und "Subluxation" zugehörig zur zweitgenannten Gruppe. Dabei gilt eine Sensitivität von ≥ 0.86 und eine Spezifität von ≤ 0.98 für die erste o. g. Gruppe an CMD, und eine Sensitivität von 0.80 und Spezifität von 0.97 für die intraartikuläre Dysfunktion in Form von "Diskusverlagerung ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung". Somit sind die in Bezug auf die Validität gewünschten Werte von Dworkin und LeResche 1992 endlich erreicht und mit dem DC/TMD ein evidenzbasiertes, valides System für den klinischen Gebrauch geschaffen (Ohrbach und Dworkin 2016). Für die Klassifizierung weiterer intraartikulärer Dysfunktionen fehlt es noch an Validität, somit können keine definitiven Diagnosen gestellt, das Instrument jedoch zu Sichtungszwecken trotzdem genutzt werden. Die Interrater-Übereinstimmung für die klinische Untersuchung zur Berechnung der Sensitivität und Spezifität lag bei exzellenten k ≥ 0.85 (Schiffman et al. 2014).

Auch in aktuellen Studien konnte sowohl in der deutschen (Asendorf et al. 2020) als auch in der finnischen (Leskinen et al. 2017) Version der DC/TMD eine hohe Reliabilität für die schmerzbezogenen Diagnosen der Gruppe 1 bestätigt werden. Ebenso konnte für die Diagnose "Diskusverlagerung ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung" der Gruppe 2 (intraartikuläre Diagnosen) in beiden Studien eine exzellente Interrater-Übereinstimmung festgestellt werden. Die "Diskusverlagerung mit Reposition" wurde in der deutschen Version mit exzellenter und in der finnischen Version mit guter Übereinstimmung erkannt.

Die Validität hingegen muss für einige Kategorien noch weiter bewiesen werden. Laut der offiziellen Homepage der (R)DC/TMD (Schiffman et al. 2014) liegt die Sensitivität (Stand 2020) in der Kategorie "Diskusverlagerung mit Reposition" bei 0.34, bei "Diskusverlagerung mit Reposition mit intermittierender Sperre" bei 0.38, bei "Diskusverlagerung ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung" bei 0.54 und bei "degenerativen Gelenkerkrankungen" bei 0.55. Diese sehr geringen Werte wurden unter anderem auch in der Kritik von Steenks et al. (2018) thematisiert und auch die o. g. hohen Validitätswerte in Frage gestellt. Zwar stellen die DC/TMD eine Verbesserung zu der RDC/TMD dar, jedoch scheint die sofortige Implementierung vor allem in die klinische Anwendung, auf Grund mangelnder Sensitivität einiger Diagnosekategorien, verfrüht. Steenks et al. (2018) merken in ihrer Studie an, dass im Validierungsprojekt, auf dem die DC/TMD beruhen, die Probanden und Probandinnen der Kohorte bewusst ausgewählt waren. Es wurden Personen mit schmerzhaften

CMD-Symptomen und Behandlungsbedarf in den Vergleich zu gesunden Personen ohne Symptomatik und Therapiebedarf gesetzt. Daher ergaben sich die hohen Sensitivitäts- und Spezifitätswerte in einigen Kategorien. Außerdem wurden ausschließlich Menschen mit einem chronischen Krankheitsverlauf (100 – 126 Monate mit Schmerzsymptomatik) einbezogen. Dies ist aber nicht übertragbar auf den klinischen Alltag. Denn dort stellen sich primär Patienten und Patientinnen mit akuten Schmerzen und Therapiebedarf vor, häufig auch mit weiteren Komorbiditäten, die ebenfalls im Validierungsprojekt ausgeklammert wurden. Auch die Reliabilität der DC/TMD basiert auf einer sehr kleinen Kohorte von nur 46 Probanden und Probandinnen und auf hochkalibrierten Untersuchern — somit sind die Daten zu limitiert, um eine sofortige klinische Anwendbarkeit zu bekräftigen.

Resümierend lässt sich nun sagen, dass die RDC/TMD das einzige evidenzbasierte und weltweit praktizierte Untersuchungsprotokoll ist, welches seit Jahrzehnten multipler wissenschaftlicher Untersuchungen unterliegt, sich stetig weiterentwickelt und an den klinischen Gebrauch angepasst wird. In den vergangenen Jahren wurden viele der o. g. Kritikpunkte bereits überarbeitet und in Form des DC/TMD veröffentlicht — doch auch hier bedarf es weiterer Korrektur und Validierung, durch Untersuchung deutlich größerer Kohorten mit CMD-Symptomen und Therapiebedarf, um eine einfache Anwendung im klinischen Alltag sicherzustellen. Als mögliche Modifikationen wurden von Steenks et al. (2018) beispielsweise genannt, dass zunächst vor Untersuchung der Patienten und Patientinnen in der Klinik weitere Schmerzursachen ausgeschlossen werden sollten. Denn die häufigste orofaziale Schmerzursache beruhe auf einem odontogenen und nicht auf einem kraniomandibulären Ursprung. Des Weiteren sollte sich bei Palpation der Muskulatur auf die wesentlichen Muskelgruppen des M. temporalis und des M. masseter konzentriert werden. Dabei wurde in der RDC/TMD ausschließlich die Schmerzintensität auf Druck bewertet, in der DC/TMD bereits der Schmerzentstehungsort und die Schmerzausstrahlung. Jedoch sollte hier ein Zusammenhang zwischen Schmerz und (Dys-)Funktion hergestellt werden, bspw. ob eine Schmerzprovokation durch Bewegungen der Mandibula möglich ist. Durch zu starken Fokus auf die Palpation und dadurch auslösbaren Schmerz anstatt auf einen Zusammenhang zwischen Schmerz und funktionellen Bewegungen wurden in der Vergangenheit zu häufig Fehldiagnosen gestellt. Es wird bislang kritisiert, dass die DC/TMD zu viele Subtypen an Klassifikationen beinhaltet und es nicht sinnvoll erscheint, fünf mögliche Diagnosen pro Proband*in stellen zu können. Dies führt zu keinem Mehrwert in der Erstellung eines Therapieplans.

Auch die Halswirbelsäule bzw. der Nacken-Schulterbereich sollte mit untersucht werden, um mögliche dortige Schmerzursachen ausschließen zu können.

Jedoch beruht diese Studie hier nicht auf klinischen Untersuchungen auf Grundlage der DC/TMD, sondern der RDC/TMD, die einige Schwächen aufweisen. Dazu gehören u. a. die bereits genannte, zu geringe Sensitivität und Spezifität in einigen Diagnosegruppen. Auch in Frage zu stellen ist die Objektivität der untersuchenden Zahnärzte bei der Untersuchung. Da diese manuell durchgeführt wird, muss berücksichtigt werden, dass immer auch die subjektive Empfindung, wann z. B. ein Kiefergelenksgeräusch ausreichend stark und ob dieses reproduzierbar ist, und die individuelle Berufserfahrung, in die Bewertung mit einfließen. Dies gilt ebenso für die Palpation der Muskulatur. Diese Aspekte wurden z.T. bereits in der DC/TMD überarbeitet, manche bedürfen jedoch weiterer Modifikation. In dieser Studie wurden fast ausschließlich gesunde Personen untersucht und somit konnte eine hohe Interrater-Übereinstimmung erreicht werden. Jedoch müsste diese ebenfalls für eine Kohorte erkrankter Personen belegt werden. Dennoch hat sich auch anhand dieser Studie gezeigt, dass die Untersuchungskriterien eine gut durchführbare Anleitung zur Untersuchung und letztendlich auch eine gute Möglichkeit zur Einordnung in ein Klassifikationssystem bieten. Sie sollten in Zweifelsfällen durch eine Bildgebung anhand von MRT und CT ergänzt werden, um die Diagnose zu sichern — vor allem in Bezug auf die Beurteilung intraartikulärer Dysfunktionen (z. B. Diskusverlagerungen und degenerative Erkrankungen) (Schiffman und Ohrbach 2016) oder zum Ausschluss bestimmter Pathologien (Steenks et al. 2018).

4.4 Vergleich der Realtime-MRT mit der RDC/TMD

Folgend gilt es nun noch die Ergebnisse der Diagnosen anhand der *Realtime*-MRT sowie der RDC/TMD vergleichend zu bewerten. Es wird resümiert, welche Vorteile im Befunden einer CMD die *Realtime*-Aufnahmen gegenüber der klinischen Untersuchung bieten bzw. ob eine Kombination der beiden Methoden, einen Mehrwert an Informationen für den Behandler, auch bezüglich der Therapieplanung, bringt.

Die MRT ist in der Lage sowohl Hart- als auch Weichgewebe sowie die knöchernen Umrisse des Kiefergelenks ausreichend darzustellen (Westesson 1993; Schmitter et al. 2006).

Jedoch wurde bisher keine Bildgebung als festes Element in den klinischen Untersuchungsbogen der RDC/TMD aufgenommen, obwohl beispielsweise von Galhardo et al. (2013) be-

schrieben wurde, dass die RDC/TMD häufiger falsch positive Diagnosen von CMD-Erkrankungen im Vergleich zum MRT-Standard erbringen. Auch für die Weiterentwicklung der RDC/TMD, der DC/TMD, wurde festgestellt, dass durch die Unterteilung der Klassifikationen in weitere Subtypen noch häufiger falsch positive Ergebnisse bei Personen ohne Therapiebedarf gestellt wurden (Steenks et al. 2018).

Hier steht zur Diskussion, ob die Diagnosen der MRT mit denen einer klinischen Untersuchung (bspw. anhand der RDC/TMD) im Einklang stehen.

Barclay et al. stellten 1999 durch die Untersuchung von 78 Kiefergelenken fest, dass die Diagnose anhand der RDC/TMD nur in 53,8 % der untersuchten Fälle mit der Diagnose anhand der klassischen MRT-Aufnahme in Bezug auf Diskusverlagerungen übereinstimmte. Betrachtet man die Ergebnisse von Park et al. (2012), so lässt sich feststellen, dass auch hier die Übereinstimmung in der Diagnose, gerade in Bezug auf Diskusverlagerungen, anhand der RDC/TMD und der statischen MRT stark divergieren. Der Cohens Kappa-Wert dieser beiden Methoden lag bei "Diskusverlagerungen mit Reposition" bei -0.22, bei "Verlagerungen ohne Reposition mit limitierter Mundöffnung" bei 0.55 und "ohne Reposition ohne limitierte Mundöffnung" bei 0.49. Somit ist die Gesamtübereinstimmung der beiden Untersuchungsmethoden von 0.34 als kappa-Wert mangelhaft. Auch Eriksen et al. (2020) konnten feststellen, dass klinische CMD-Symptome wie "Schmerz" oder "reduzierte Mundöffnung" nicht unbedingt mit den Diagnosen anhand der MRT-Aufnahme korrelierten. Einige Teilnehmer*innen wiesen degenerative Veränderungen im Kiefergelenk auf, hatten jedoch keine klinischen Symptome. Schon Tallents et al. (1996) und auch aktuell Whyte und Matias (2020) stellten fest, dass bei 30 bzw. 33 % der Probanden und Probandinnen in der MRT eine Diskusverlagerung als Zufallsbefund festgestellt wurde, sie jedoch symptomfrei waren. Die MRT deckt teilweise unerkannte Pathologien auf (Hans et al. 1992; Manfredini und Guarda-Nardini 2008; Kumar et al. 2015), die klinisch jedoch symptomfrei sind und oftmals ausschließlich auf das zunehmende Alter zurückzuführen sind.

Es bedarf somit einer genauen Abwägung, dass nicht nur anhand der MRT ein Therapiebedarf ermittelt und evtl. eine Übertherapie eingeleitet wird.

Andere Studien hingegen zeigen, dass das klinische Symptom "Schmerz" (ermittelt anhand einer Schmerzskala) in Zusammenhang gebracht werden kann mit Diskusverlagerungen und daraus resultierenden Gelenkergüssen sowie Veränderungen der Diskusmorphologie, jeweils auch erkannt im MR-Tomographen (Koca et al. 2020). Somay und Yilmaz (2020) stellten zwar fest, dass die Symptome "Schmerz" oder auch "Muskelverspannungen" nicht

anhand der MRT belegt werden konnten. Jedoch, dass eine klinisch festgestellte "Deviation" als einzig subjektiv nicht beeinflussbare Diagnose mit der Diagnose der Diskusverlagerung in der MRT übereinstimmte. Auch die "normale Mundöffnung" als klinische Diagnose korrelierte mit den MRT-Aufnahmen, somit wurde darin keine Pathologie erkannt.

Aus diesen divergierenden Ergebnissen lässt sich ableiten, dass mit der statischen MRT also dem Anschein nach noch keine ideale Absicherung der klinischen Diagnose gefunden wurde.

In der hiesigen Studie wurde jedoch die innovative *Realtime*-Technik an Stelle der klassischen statischen MRT angewendet. Bewertet man nun die Ergebnisse dieser Versuchsgruppe, so erkennt man bei der Diagnose "Diskusverlagerung mit Reposition" eine sehr hohe Gesamtübereinstimmung zwischen der bewährten RDC/TMD und der neuwertigen *Realtime*-Aufnahme in Höhe von 91,18 %. Dies entspricht einer Spezifität von 0,95. Die Sensitivität konnte hier nicht berechnet werden, da keine anhand der RDC/TMD erstellte Diagnose "Diskusverlagerung mit Reposition" durch die *Realtime*-MRT bestätigt werden konnte. Bei der Diagnose "Diskusverlagerung ohne Reposition" lag die Übereinstimmung noch höher bei 97,06 %, was einer Spezifität von 0,97 entspricht. Die Sensitivität konnte auch hier nicht berechnet werden. Keiner der Probandinnen und Probanden erhielt diese Diagnose, weder anhand der RDC/TMD noch anhand der real-time MRT.

In diversen Studien (Schmitter et al. 2006; Park et al. 2012) wurde belegt, dass der RDC/TMD-Untersuchungsbogen als festgelegter Referenzwert angenommen werden kann, mit dem die neuartige Technik der *Realtime*-Aufnahmen verglichen wird, um die Sensitivität und Spezifität zu berechnen. Dies sind Werte für die Effizienz eines medizinischen Testverfahrens.

Hinzu kommt, dass die klinische Untersuchung anhand der RDC/TMD ein standardisiertes Verfahren ist, welches sehr häufig und weltweit beim Befunden von Probanden und Probandinnen zum Einsatz kommt, auch wenn es noch einige Schwächen, v. a. in Bezug auf die Validität, aufweist und weiterhin überarbeitet wird (Weiterentwicklung zur DC/TMD). Es hat sich als anwendbares Verfahren etabliert um v. a. Personen ohne CMD-Historie richtig zu erkennen und in ein Klassifikationsschema einordnen zu können (Look et al. 2010a).

Da es sich fast ausschließlich um die Befundung gesunder Personen handelt, erscheint es nicht sinnvoll, die *Realtime*-Methodik mit einer weiteren Bildgebung in Vergleich zu setzen,

um die Sensitivität bzw. Spezifität zu berechnen. Denn dann müsste man die 300 Einzelbilder der *Realtime*-Aufnahmen zum Vergleich heranziehen, die in ihrer Auflösung den statischen Bildern der regulären MRT unterliegen. Und so würde auch der eigentliche Mehrwert der innovativen *Realtime*-Magnetresonanztomographie, also die Beurteilung der dynamischen Vorgänge im Kiefergelenk, verloren gehen.

Die Sensitivität und Spezifität, die die neuwertige Methodik der *Realtime*-MRT mit der altbewährten Methodik der RDC/TMD in Verhältnis setzen, geben somit aber auch Aufschluss darüber, dass die hier zufällig gewählte Kohorte nicht aussagekräftig in ihrer Zusammenstellung für die Befundung von erkrankten Personen ist. Hiermit wurde lediglich belegt, dass Probanden und Probandinnen, die nicht an einer CMD leiden, auch als gesund in der klinischen Untersuchung und in den *Realtime*-Aufnahmen erkannt wurden. Dies bedeutet, dass die Anatomie und Physiologie in den Videosequenzen gut erkennbar und richtig beurteilbar ist, wenn man die Befunde mit denen der klinischen Untersuchung vergleicht. In Bezug auf erkrankte Personen ist hier die Anzahl der Befunde deutlich zu gering und die drei Probanden und Probandinnen, die mit einer "Diskusverlagerung mit Reposition" anhand der klinischen Untersuchung befundet wurden, wurden in der Bildgebung als nicht pathologisch diagnostiziert. Auch sind die schwerwiegenderen Krankheitsbilder der "Diskusverlagerung ohne Reposition" nicht berücksichtigt.

In der Nachbefundung durch Untersucher 6 (siehe 3.2) konnte bei erneutem Ansehen der Videos bestätigt werden, dass die Diagnose durch die bildgebende Technik der *Realtime-*MRT bei sieben Probanden und Probandinnen zutraf wohingegen die klinische Diagnose in diesen Fällen ein falsch positives Ergebnis erbrachte. Ein klinisch festgestelltes Kiefergelenksgeräusch konnte in der MRT nicht als Diskusverlagerung bestätigt werden.

Hier wird erneut deutlich, dass sowohl die Befundung anhand der klinischen Untersuchung als auch der Bildgebung subjektiven Parametern unterliegen.

Es liegen derzeit nur wenige Studien vor, in denen das Kiefergelenk mit Hilfe eines *Real-time*-Tomographen untersucht wird. Doch auch die Studie von Krohn et al. (2019), die zwar ebenfalls eine kleine Kohorte mit zehn ausschließlich CMD-gesunden Personen untersucht, belegte die Korrelation der Diagnose der RDC/TMD und der Diagnose der *Realtime*-MRT. In der Studie von 2018 von Krohn et al. konnte bereits auch eine Übereinstimmung für CMD-erkrankte Personen aufgezeigt werden. Eine Person wurde mit Hilfe der RDC/TMD mit "*unilateraler* Diskusverlagerung mit Reposition" und weitere Person mit "*bilateraler*

Diskusverlagerung ohne Reposition" diagnostiziert. Dies konnte in den *Realtime*-MRT-Aufnahmen validiert werden. Des Weiteren brachte die Bildgebung einen deutlichen Informationszuwachs über den Zeitpunkt der Diskusverlagerung und die mögliche Reposition, den damit zusammenhängenden Gelenkerguss und die Anatomie aller umliegenden Strukturen. Auch Buergers et al. (2016) stellten bereits vor einigen Jahren fest, dass die *Realtime*-Aufnahmen eine Lokalisation bzw. Lageveränderung des Diskus, der Bänder und muskulären Strukturen und des Kondylus während aller möglichen Bewegungen (bspw. auch *Protrusion, Laterotrusion,* Knirschen) durch eine präzise und kontrastreiche Abgrenzung möglich machen. Dies bedeutet einerseits, dass ein klinisch unklarer *arthrogener* Schmerz einer bestimmten Kieferbewegung im Video zugeordnet und somit eine mögliche Schmerzursache, z. B. durch die Reposition des Diskus, gefunden werden kann. Auch degenerative Erkrankungen sind anhand der eingeschränkten Kiefermobilität erkennbar. Leidet der Patient klinisch nur an einseitigen Schmerzen, so bietet die Bildgebung die Möglichkeit, die gesunde und erkrankte Seite zu vergleichen.

Andererseits resultiert daraus die Möglichkeit, auch die Therapie individuell an die Symptomatik anpassen und bspw. die Funktionsweise einer Okklusionsschiene im *Realtime-MRT* überprüfen zu können. Die Höhe des Aufbisses und die damit verbundene Distraktion im Gelenk wird im Video sichtbar, während der Patient genaue Angaben machen kann, ob die Symptome durch die individuell gestaltete Schiene aufgehoben werden. Des Weiteren führen die detailgetreuen Aufnahmen zu einer objektiveren, gut reproduzierbaren Bewertung der Bilder und Diagnosefindung durch die Untersucher (Buergers et al. 2016).

Zukünftig muss nun durch weitere Studien bekräftigt werden, dass die *Realtime*-MRT ein geeignetes Mittel ist, um auch CMD-erkrankte Probanden und Probandinnen als solche zu erkennen. Es müssen, wie bereits genannt, deutlich größere Kohorten mit einer CMD-Erkrankung untersucht werden, bevor es eine Aussagekraft über den Mehrwert der *Realtime*-Aufnahme sowohl gegenüber der statischen MRT als auch der klinischen Untersuchung gibt. In jedem Fall wurde wie o. g. durch die hiesige Studie bekräftigt, dass in den *Realtime*-Aufnahmen die *physiologische* Anatomie und Dynamik der Kiefergelenke, die auch als solche durch die RDC/TMD befundet wurden, beurteilt werden können. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Zukunft, beispielsweise auch in Bezug auf Kontrolluntersuchungen nach der häufig verordneten Schienentherapie oder Physiotherapie. Zu Bedenken ist jedoch, dass z. B. muskuläre Symptomatiken und die Beurteilung des Schmerzes nicht anhand der

Bildgebung möglich sind, sondern bspw. nur durch Ertasten von Druckdolenzen oder Befragung des oder der Betroffenen während der klinischen Untersuchung erkannt werden. Nur in der Untersuchung ist eine Verknüpfung der Information von Schmerzempfinden und funktionellen Bewegungen möglich. Folglich kann nicht auf das Screening des Probanden oder der Probandin durch den behandelnden Arzt verzichtet werden und ist in einigen eindeutigen Fällen auch ausreichend für das Stellen einer Diagnose (Üsümez et al. 2004). Auch Vogl et al. empfahlen 2016 die Anwendung der magnetresonanztomographischen Bildgebung nur bei sehr schwerwiegenden Krankheitsbildern sowie chirurgischen Therapieplanungen.

Die CMD ist ein multifaktorielles Geschehen und somit muss für jeden Patienten oder jede Patientin individuell abgewogen werden, ob eine Bildgebung einen Informationszuwachs für die korrekte Diagnose- und Therapiefindung bringen könnte, um zeitlichen und finanziellen Mehraufwand zu rechtfertigen und nicht zu unnötiger Belastung führen. Auch Kober et al. beschrieben bereits im Jahr 2011, dass vorausschauend eine Anwendung der dynamischen Bildgebung eine reliable Hilfestellung für die Diagnosefindung, gerade in Bezug auf Diskusverlagerungen, darstellen kann. Auch in aktuelleren Studien wurde die klinische Diagnose (sowohl CMD-Gesundheit als auch -Erkrankung) durch die *Realtime-MRT* bekräftigt (Krohn et al. 2018; 2019), jedoch stellt sich dann die Frage, ob nicht auch eine klinische Untersuchung mittels der RDC/TMD (oder zukünftig auch DC/TMD) ausreicht. Weitere Untersuchungen werden notwendig sein, um langfristig die Indikation einer Bildgebung und die eventuelle Integration in die (R)DC/TMD zu beschließen.

Zusammenfassung 89

5 Zusammenfassung

Durch Betrachtung der funktionellen Zusammenhänge der anatomischen Aspekte des Kiefergelenks konnte die Komplexität des Zusammenspiels und möglicher Pathologien aller beteiligten Strukturen verdeutlicht werden.

Folglich sind valide Untersuchungsmethoden notwendig um die bestmögliche Diagnostik und Therapie gewährleisten zu können. Daher werden v. a. die RDC/TMD als klinisches sowie die MRT als bildgebendes Untersuchungsinstrument (primär für *arthrogene* Erkrankungen) stetig kritisch beäugt, in verschiedenen Studien bewertet und miteinander verglichen. Sie unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung und Etablierung.

Auch in dieser Studie wurde anhand der RDC/TMD-Bewertungsalgorithmen und anhand der *Realtime*-MRT, durch Bewertung der Sichtbarkeit der anatomischen Komponenten und Physiologie des Gelenks, eine Diagnose bei 34 Probanden und Probandinnen erstellt. Es konnte eine hohe fundierte Spezifität sowie Interrater-Übereinstimmung (kappa) in der Begutachtung der Videosequenzen belegt werden. Auch im Intrarater-Vergleich (kappa) von Untersucher 5 wurde belegt, dass schon durch die geringere Bildrate von 3 Bildern pro Sekunde die Kiefergelenkskomponenten mit guten Ergebnissen in der Statik und Dynamik dargestellt werden können — durch die erhöhte Bildauflösung von 15 Bildern pro Sekunde konnte jedoch eine weitere Modifizierung in der Beurteilung einzelner anatomischen Strukturen in der dynamischen Kieferbewegung bewirkt werden.

Den Blick auf die Zukunft richtend, wird der DC/TMD nach weiteren Korrekturen ein noch valideres Mittel zur Untersuchung von Personen mit *orofazialen* Schmerzen im klinischen Alltag darstellen.

Durch die Häufung von klinischen Fehldiagnosen und der Zunahme an CMD-Erkrankten im zahnärztlichen Alltag wird der Einsatz bildgebender Verfahren gerechtfertigt. Die statische MRT behält dabei bisher ihren Stellenwert auf Grund ihrer hohen Detailgenauigkeit und des Mangels an Equipment in Kliniken für die *Realtime*-Technik, wird jedoch durch letzteres ergänzt. Ausschließlich dieses moderne Verfahren ist im Stande, alle funktionellen Bewegungen durch dynamische Videoaufnahmen mit präziser Detailgenauigkeit darzustellen und hat sich bereits durch verschiedene Forschungsgruppen für die Diagnostik von CMD, gerade in Bezug auf Diskusverlagerungen, bewährt. Ferner führen die kürzeren Aufnahmezeiten sowohl zur verringerten Belastung der Untersuchten als auch zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit. Zunächst dient die *Realtime*-Technik noch als Ergänzung zur, langfristig als Ersatz der klassischen MRT.

Zusammenfassung 90

Der Zukunftstrend deutet in Richtung mehrschichtiger paralleler Aufnahmen beider Kiefergelenke und Überprüfung von Therapiemaßnahmen im *Realtime*-MRT, bspw. in Form von getragenen Okklusionsschienen während der Videoaufnahmen.

Allerdings müssen diese unterstützenden Argumente durch weitere Untersuchungen mit größeren Kohorten CMD-erkrankter Personen belegt werden und begründen somit zukünftige, wissenschaftliche Forschungsgruppen zu diesem Thema.

6 Literaturverzeichnis

Abolmaali N, Schmitt J, Schwarz W, Toll D, Hinterwimmer S, Vogl T (2004): Visualization of the articular disk of the temporomandibular joint in near-*Realtime*- MRI: feasibility study. Eur Radiol 14, 1889-1894

Ahlers MO, Freesmeyer W, Fussnegger M, Götz G, Jakstat HA, Koeck B, Neff A, Ottl P, Reiber T (2005): Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kraniomandibulaeren Systems 2005. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Zur_Therapie_der_funktionellen_Erkrankungen des kraniomandibulaeren Systems 2005.pdf. Abgerufen am: 06.05.2021

Ahlers MO, Jakstat HA: Klinische Funktionsanalyse. 4. Auflage, dentaconcept Verlag, Hamburg 2011

Ahmad M, Hollender L, Anderson Q, Kartha K, Ohrbach R, Truelove EL, John MT, Schiffman EL (2009): Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD): Development of Image Analysis Criteria and Examiner Reliability for Image Analysis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 107, 844-860

Aiken A, Bouloux G, Hudgins P (2012): MR imaging of the temporomandibular joint. Magn Reson Imaging Clin N Am 20, 397–412

Anderhuber F, Pera F, Steicher J (Hrsg.): Waldeyer- Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Bund. 19. Auflage; Walter de Gruyter, Berlin/Boston 2012

Anderson GC, Gonzalez YM, Ohrbach R, Truelove EL, Sommers E, Look JO, Schiffman EL (2010): Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders: Future Directions. J Orof Pain 24, 79–88

Asendorf A, Möllenkamp J, Schierz O, Rauch A, Asendorf T, Rammelsberg P, Eberhard L (2020): Interexaminer reliability of the German version of the DC/TMD. J Oral Rehabil <u>48</u>, 28-34

Aumüller G, Aust G, Cornad A, Engele J, Kirsch J: Duale Reihe Anatomie; 4.Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2017

Barclay P, Hollender LG, Maravilla KR, Truelove EL (1999): Comparison of clinical and magnetic resonance imaging diagnosis in patients with disk displacement in the temporomandibular joint. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod <u>88</u>, 37-43

Bartrow K: Physiotherapie am Kiefergelenk: Untersuchung, Therapie, Fallbeispiele. 1.Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2011

Behr M, Held P, Leibrock A, Fellner C, Handel G (1996): Diagnostic potential of pseudo-dynamic MRI (CINE mode) for evaluation of internal derangement of the TMJ. Eur J Radiol <u>23</u>, 212-215

Bell WE: Temporomandibular Disorders: Classification, Diagnosis, Management. 2.Auflage, Year Book Medical Publishers, USA 1986

Bogucki Z, Kownacka M (2016): Clinical Aspects of the Use of Botulinum Toxin Type A in the Treatment of Dysfunction of the Masticatory System. Adv Clin Exp Med <u>25</u>, 569–573

Brooks SL, Brand JW, Gibbs SJ, Hollender L, Lurie AG, Omnell KA, Westesson PL, White SC (1997): Imaging of the temporomandibular joint: a position paper of the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod <u>83</u>, 609–618

Buergers R, Krohn S, Gersdorff N, Frahm J (2016): Darstellung der Kiefergelenksfunktion mittels Echtzeit-MRT. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 71, 292-296

Bumann A, Lotzmann U: Farbatlanten der Zahnmedizin. In: Rateitschak KH, Wolf H (Hrsg.): Band 12: Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York 1999

Burnett KA, Davis CL, Read J (1987): Dynamic display of the temporomandibular joint meniscus by using "fast-scan" MR imaging. AJR Am J Roentgenol <u>149</u>, 959-962

Cohen JA (1960): coefficient of agreement for nominal scales. Educ Psychol Meas 20, 37–46

Conway WF, Hayes CW, Campbell RL (1988): Dynamic magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint using FLASH sequences. J Oral Maxillofac Surg. 46, 930-938

Durham J, Raphael K, Benoliel, R, Ceusters W, Michelotti A, Ohrbach R (2015): Perspectives on Next Steps in Classification of Orofacial Pain-Part 2: Role of psychosocial factors. J Oral Rehabil 42, 942–955

Dworkin SF, LeResche L (1992). Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. J Craniomandib Disord 6, 301–355

Dworkin SF (2010): Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders: current status and future relevance. J Oral Rehabil 37, 734-743

Dworkin SF, LeResche L (updated 2016): University of Washington Axis I & Axis II Booklet. http://www.rdc-tmdinternational.org, 1-29, Abgerufen am: 06.05.2021

Epstein JB, Caldwell J, Black G (2001): The utility of panoramic imaging of the temporomandibular joint in patients with temporomandibular disorders. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 92, 236-239

Eriksen ES, Hellem S, Skartveit L, Brun JG, Bøe OE, Moen K, Geitung JT (2020): Temporomandibular joint pain and associated magnetic resonance findings: a retrospective study with a control group. Acta Radiol Open 30;9

Fleiss JL (1971) "Measuring nominal scale agreement among many raters." Psychological Bulletin. <u>76</u>, 378–382

Frahm J, Voit D, Uecker M (2019): *Realtime-* Magnetic Resonance Imaging. Invest Radiol <u>54</u>, 757-766

Freesmeyer WB, Fussnegger MR, Ahlers MO (2005): Diagnostic and therapeutic-restorative procedures for masticatory dysfunctions. GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg <u>4</u>: Doc19

Galhardo AP, da Costa Leite C, Gebrim EM, Gomes RL, Mukai MK, Yamaguchi CA, Bernardo WM, Soares JM Jr, Baracat EC, Gil C (2013): The correlation of research diagnostic criteria for temporomandibular disorders and magnetic resonance imaging: a study of diagnostic accuracy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol 115, 277-284

Garetier M, Borotikar B, Makki K, Brochard S, Rousseau F, Ben Salem D (2020): Dynamic MRI for articulating joint evaluation on 1.5T and 3.0T scanners: setup, protocols, and *Realtime*- sequences. Insights into Imaging <u>11</u>:66

Giere W, Ackermann H, Herbold M, Kluss C, Schaaf B, Weiß R, Windeler J: Medizinische Statistik: Klinische Forschung: Von der Idee zum Ergebnis. o.A. Springer-Verlag, Berlin 2013

Hans MG, Lieberman J, Goldberg J, Rozencweig G, Bellon E (1992): A comparison of clinical examination, history, and magnetic resonance imaging for identifying orthodontic patients with temporomandibular joint disorders. Am J Orthod Dentofacial Orthop <u>101</u>, 54-59

Hansson T, Öberg T (1976): Arthrosis and deviation in form in the temporomandibular joint. A macroscopic study on a human autopsy material. Acta Odont Scand 35:167-174

Hansson T, Nordström B (1977): Thickness of the soft tissue layers and articular disk in temporomandibular joints with deviations in form. Acta Odont Scand <u>35</u>:281-288

Hasanain F, Durham J, Moufti A; Stehen IN, Wassell RW (2009): Adapting the diagnostic definitions of the RDC/TMD to routine clinical practice: a feasibility study. J Dent <u>37</u>, 955-962

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. 6.Auflage Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln 2013

Hintze H, Wiese M, Wenzel A (2007): Cone beam CT and conventional tomography for the detection of morphological temporomandibular joint changes. Dentomaxillofac Radiol <u>36</u>, 192–197

Hopfgartner AJ, Tymofiyeva O, Ehses P, Rottner K, Boldt J, Richter EJ, Jakob PM (2013): Dynamic MRI of the TMJ under physical load. Dentomaxillofac Radiol 42, 20120436

John MT, Hirsch C, Reiber T, Dworkin S (2006). Translating the research diagnostic criteria for temporomandibular disorders into German: evaluation of content and process. J Orofac Pain 20, 43-52

Jung YW, Park SH, On SW, Song SI (2015): Correlation between clinical symptoms and magnetic resonance imaging findings in patients with temporomandibular joint internal derangement. J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg 41, 125–132

Karlo CA, Patcas R, Kau T, Watzal H, Signorelli L, Müller L, Ullrich O, Luder HU, Kellenberger CJ (2012): MRI of the temporo-mandibular joint: which sequence is best suited to assess the cortical bone of the mandibular condyle? A cadaveric study using micro-CT as the standard of reference. Eur Radiol 22, 1579–1585

Katsoulis K, Bassetti R, Windecker-Gétaz I, Mericske-Stern R, Katsoulis J (2011): Temporomandibular disorders/myoarthropathy of the masticatory system. Costs of dental treatment and reimbursement by Swiss federal insurance agencies according to the Health Care Benefits Ordinance (KLV). Schweiz Monatsschr Zahnmed 122, 510–518

Klosowski J, Frahm J (2017): Image denoising for Realtime- MRI. Magn Reson Med 77, 1340-1352

Koca CG, Gümrükçü Z, Bilgir E (2020): Does clinical findings correlate with magnetic resonance imaging (MRI) findings in patients with temporomandibular joint (TMJ) pain? A cross sectional study. Med Oral Patol Oral Cir Bucal <u>25</u>, e495-e501

Krestan C, Lomoschitz F, Puigs S, Robinson S (2001): Internal Derangement des Temporomandibulargelenks. Radiologe <u>41</u>, 741–747

Krohn S, Frahm J, Merboldt KD, Wassmann T, Joseph AA, Bürgers R (2018): Diagnosis of disk displacement using *Realtime-* MRI: Clinical report of two patients. J Prosthet Dent <u>119</u>, 206-209

Krohn S, Joseph AA, Voit D, Michaelis T, Merboldt K-D, Buergers R, Frahm J (2019): Multi-slice *Realtime*- MRI of temporomandibular joint dynamics. Dentomaxillofac Radiol 48: 20180162

Kumar R, Pallagatti S, Sheikh S, Mittal A, Gupta D, Gupta S (2015): Correlation Between Clinical Findings of Temporomandibular Disorders and MRI Characteristics of Disc Displacement. Open Dent J 31, 273-281

Leskinen J, Suvinen T, Teerijoki-Oksa T, Kemppainen P, Näpänkangas R, Alstergren PLe Bell Y, Forssell H, Myllykangas R, Tolvanen M et al. (2017): Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD): interexaminer reliability of the Finnish version of Axis I clinical diagnoses. J Oral Rehabil <u>44</u>, 493-499

Liehm T: Praxis der Kranioskralen Osteopathie. 3. Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2013

Lipton JA, Dionne RA (1997): National Institutes of Health Technology Assessment Conference on Management of Temporomandibular Disorders April 29-May 1, 1996 Bethesda, Maryland. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod <u>83</u>, 49-183

Litko-Rola M, Szkutnik J, Rózylo-Kalinowska I (2021): The importance of multisection sagittal and coronal magnetic resonance imaging evaluation in the assessment of temporomandibular joint disc position. Clinical Oral Investigations 25, 159-168

Look JO, Schiffman EL, Truelove EL, Ahmad M (2010)(a): Reliability and validity of Axis I of the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) with proposed revisions. J Oral Rehabil <u>37</u>, 744-59

Look JO, John MT, Tai F, Huggins KH, Lenton PA, Truelove EL, Ohrbach R, Anderson GC, Shiffman EL (2010)(b): The Research Diagnostic Criteria For Temporomandibular Disorders. II: reliability of Axis I diagnoses and selected clinical measures. J Orofac Pain 24, 25-34

Manfredini D, Guarda-Nardini L (2008). Agreement between research diagnostic criteria for temporomandibular disorders and magnetic resonance diagnoses of temporomandibular disc displacement in a patient population. Int J Oral Maxillofac Surg <u>37</u>, 612-616

Manfredini D, Guarda-Nardini L, Winocur E, Piccotti F, Ahlberg J, Lobbezoo F (2011): Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: A systematic review of axis I epidemiologic findings. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod <u>112</u>, 453–462

Matsubara R, Yanagi Y, Oki K, Hisatomi M, Santos KC, Bamgbose BO, Fujita M, Okada S, Minagi S, Asaumi J (2018): Assessment of MRI findings and clinical symptoms in patients with temporomandibular joint disorders. Dentomaxillofac Radiol <u>47</u>, 20170412

Mawani F, Lam EW, Heo G, McKee I, Raboud DW, Major PW (2005): Condylar shape analysis using panoramic radiography units and conventional tomography. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod <u>99</u>, 341–348

McNeill C: Temporomandibular Disorders. 2. Auflage; Quintessence Publishing Co, Illinois 1993

McNeill C (1997): History and evolution of TMD concepts. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 83, 51-60

Nötzel F, Schultz C, Hartung M: Fernröntgenseitenbild-Analyse: mit 90 Tabellen. o.A. Deutscher Ärzteverlag, Köln 2007

Nogami S, Takahashi T, Ariyoshi W, Yoshiga D, Morimoto Y, Yamauchi K (2013): Increased levels of interleukin-6 in synovial lavage fluid from patients with mandibular condyle fractures: Correlation with magnetic resonance evidence of joint effusion. J Oral Maxillofac Surg <u>71</u>, 1050–1058

Ohrbach R, Dworkin SF (2016): The Evolution of TMD Diagnosis: Past, Present, Future. J Dent Res 95, 1093 –1101

Olthoff A, Zhang S, Schweizer R, Frahm J (2014). On the Physiology of Normal Swallowing as Revealed by Magnetic Resonance Imaging in Real Time. Gastroenterol Res Pract, 493174

Park JW, Song HH, Roh HS, Kim YK, Lee JY (2012): Correlation between clinical diagnosis based on RDC/TMD and MRI findings of TMJ internal derangement. Int J Oral Maxillofac Surg <u>41</u>, 103-108

Prodinger-Glöckl D: CMD in der Osteopathie Interdisziplinäre Zusammenarbeit mit der Kieferorthopädie. 1.Auflage Karl F. Haug Verlag, Stuttgart 2013

Ravanelli M, Bottoni L, Buffa I, Tononcelli E, Borghesi A, Maroldi R, Farina D (2020): Real-time assessment of temporomandibular joint using HASTE sequences: feasibility and comparison with standard static sequences. Dentomaxillofac Radiol <u>49</u>, 20200232

Reichart PA, Hausamen JE, Becker J, Neukam FW, Schliephake H, Schmelzeisen R: Curriculum Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten. 2.Band, 1.Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin 2002

Rother UJ: Moderne bildegebende Diagnostik in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. 2. Auflage, Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, München 2006

Schaetz S, Uecker M (2012): A multi-GPU programming library for *Realtime*- applications. In: Xiang Y., Stojmenovic I., Apduhan B.O., Wang G., Nakano K., Zomaya A. (Hrsg.): Algorithms and Architectures for Parallel Processing (Lect Notes Comp Sci. 7439). Springer, Berlin, Heidelberg. S.114-128

Schiffman E, Truelove EL, Ohrbach R, Anderson GC, John MT, List T, Look JO (2010): Assessment of the Validity of the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders: Overview and Methodology. J Orofac Pain <u>24</u>, 7–24

Schiffman E, Ohrbach R, Truelove E, Look J, Anderson G, Goulet JP, List T, Svensson P, Gonzalez Y, Lobbezoo F et al. (2014): Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: Recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network* and Orofacial Pain Special Interest Group. J Oral Facial Pain Headache 28, 6–27

Schiffman E, Ohrbach R (2016): Executive summary of the Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders for clinical and research applications. J Am Dent Assoc 147, 438-445

Schmitter M, Gabbert O, Ohlmann B, Hassel A, Wolff D, Rammelsberg P, Kress B (2006): Assessment of the reliability and validity of panoramic imaging for assessment of mandibular condyle morphology using both MRI and clinical examination as the gold standard. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 102, 220–224

Schmitter M, Kress B, Leckel M, Henschel V, Ohlmann B, Rammelsberg P (2008): Validity of temporomandibular disorder examination procedures for assessment of temporomandibular joint status. Am J Orthod Dentofacial Orthop <u>133</u>, 796-803

Schwenzer N, Ehrenfeld M: Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. 4. Auflage; Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart 2011

Sellin LC, Thesleff S (1981): Pre- and post-synaptic actions of botulinum toxin at the rat neuromuscular junction. J Physiol 317, 487–495

Shi J, Xia J, Wei Y et al. (2014): Three-dimensional virtual reality simulation of periarticular tumors using Dextroscope reconstruction and simulated surgery: A preliminary 10-case study. Med Sci Monit. 20, 1043–1050

Shimazaki Y, Saito K, Matsukawa S, Onizawa R, Kotake F, Nishio R, Abe K (2007): Image quality using dynamic MR imaging of the temporomandibular joint with true-FISP sequence. Magn Reson Med Sci <u>6</u>, 15-20

Somay E, Yilmaz B (2020): Comparison of clinical and magnetic resonance imagining data of patients with temporomandibular disorders. Niger J Clin Pract 23, 376-380

Steenks MH, de Wijer A: Kiefergelenksfehlfunktionen aus physiotherapeutischer und zahnmedizinischer Sicht. o.A. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin 1991

Steenks MH, de Wijer A (2009): Validity of the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders Axis I in clinical and research settings. J Orofac Pain 23, 9-16; discussion 17-27

Steenks MH, Türp JC, de Wijer A (2018): Reliability and Validity of the Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders Axis I in Clinical and Research Settings: A Critical Appraisal. J Oral Facial Pain Headache 32, 7-18

Stehling C, Vieth V, Bachmann R, et al. (2007): High-resolution magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint: Image quality at 1.5 and 3.0 Tesla in volunteers. Invest Radiol <u>42</u>, 428–434

Stelzenmüller W, Wiesner J (Hg.): Therapie der Kiefergelenksschmerzen. 2. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2010

Tallents RH, Katzberg RW, Murphy W, Proskin H (1996): Magnetic resonance imaging findings in asymptomatic volunteers and symptomatic patients with temporomandibular disorders. J Prosthet Dent 75, 529-533

Talmaceanu D, Lenghel LM, Bolog N, Hedesiu M, Buduru S, Rotar H, Baciut M, Baciut G (2018): Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: an update. Clujul Med <u>91</u>, 280-287

Travell JG, Simons GD: Myofascial Pain and Dysfunction The Trigger Point Manual. o.A. Williams & Wilkins, Baltimore 1983

Truelove E, Pan W, Look JO, Mancl LA, Ohrbach RK, Velly AM, Huggins KH, Lenton P, Schiffman EL (2010): The Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders. III: validity of Axis I diagnoses. J Orofac Pain <u>24</u>, 35-47

Türp JC, Vach W, Harbich K, Alt KW, Strub JR (1996): Determining mandibular condyle and ramus height with the help of an Orthopantomogram-a valid method? J Oral Rehabil <u>23</u>, 395–400

Tymofiyeva O, Proff P, Richter EJ, Jakob P, Fanghänel J, Gedrange T, Rottner K (2007): Correlation of MRT imaging with *Realtime*- axiography of TMJ clicks. Ann. Anat <u>189</u>, 356-361

Uecker M, Zhang S, Voit D, Karaus A, Merboldt KD, Frahm J (2010): *Realtime-* MRI at a resolution of 20ms. NMR Biomed <u>23</u>, 986-994

Üsümez S, Öz F, Güray E (2004): Comparison of clinical and magnetic resonance imaging diagnoses in patients with TMD history. J Oral Rehabil. 31, 52–56

Vogl TJ, Lauer HC, Lehnert T, Naguib NN, Ottl P, Filmann N, Soekamto H, Nour-Eldin NE (2016): The value of MRI in patients with temporomandibular joint dysfunction: Correlation of MRI and clinical findings. Eur J Radiol <u>85</u>, 714-719

Westesson PL (1993): Reliability and validity of imaging diagnosis of temporomandibular joint disorder. Adv Dent Res <u>7</u>, 137–151

Whyte A, Matias MATJ (2020): Imaging of orofacial pain. J Oral Pathol Med 49, 490-498

Wieckiewicz M, Boening K, Wiland P, Shiau Y, Paradowska-Stolarz A (2015): Reported concepts for the treatment modalities and pain management of temporomandibular disorders. J Headache Pain 16, 106

Yang Z, Wang M, Ma Y, Lai Q, Tong D, Zhang F, Dong L (2017): Magnetic Resonance Imaging (MRI) Evaluation for Anterior Disc Displacement of the Temporomandibular Joint. Med Sci Monit 23, 712-718

Zhang C, Wu JY, Deng DL, He BY, Tao Y, Niu YM, Deng MH (2016): Efficacy of splint therapy for the management of temporomandibular disorders: a meta-analysis. Oncotarget 7, 84043-84053

Zhang S, Block KT, Frahm J (2010): Magnetic resonance imaging in real time: advances using radial FLASH. J Magn Reson Imaging <u>31</u>, 101-109

Zhang S, Joseph A, Voit D, Schaetz S, Merboldt KD, Unterberg-Buchwald C, Hennemuth A, Lotz J, Frahm J (2014): *Realtime*- magnetic resonance imaging of cardiac function and flow—recent progress. Quant Imaging Med Surg <u>4</u>, 313–329

Danksagung 97

Danksagung

Ich möchte mich recht herzlich bei Herrn apl. Prof. Dr. Gersdorff für die Überlassung dieses Dissertationsthemas sowie die hervorragende Unterstützung bedanken.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn apl. Prof. Dr. Rödiger für die Übernahme des Dissertationsthemas und die weitere freundliche Betreuung.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Wehle und Herrn Dr. Wassmann für die Auswertung der Videoaufnahmen und die Durchführung der klinischen Untersuchungen.

Ferner bedanke ich mich bei Herrn Prof. Frahm, Herrn Dr. Merboldt sowie Herrn Joseph für die freundliche Zusammenarbeit am Max-Planck-Institut.