

4 Material und Methoden

Diese Studie ist eng mit zwei weiteren Studien verknüpft. Um die klinische Situation der Probanden richtig zu beurteilen, wurden Zahnmedizinstudenten herangezogen, die bereits im Rahmen einer noch laufenden klinischen Studie funktionsdiagnostisch untersucht wurden. Somit liegen zu den morphometrischen Daten auch klinische Untersuchungsergebnisse vor. Zum Vergleich der MRT-gestützten morphometrischen Daten der Probanden mit entsprechenden Daten von Patienten konnte auf die Ergebnisse einer bereits abgeschlossenen Dissertation zurückgegriffen werden [Griethe, 2005; Lemke, 2005].

4.1 Probanden

Bei den Probanden handelt es sich um 41 freiwillige Studenten, die im Vorfeld bereits klinisch untersucht wurden und nach Aufklärung eine schriftliche Einverständniserklärung zur Studie unterschrieben haben.

Die Aufnahmen wurden in der Klinik für Strahlenheilkunde (Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. R. Felix) der Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow Klinikum angefertigt.

4.2 Magnetresonanztomographie, Oberflächenspule und Anfertigung der Aufnahmen

Alle Probanden wurden mittels eines 1,5 - Tesla - Gerätes untersucht. Dabei handelt es sich um das SP 63 (Siemens, Erlangen). Zur besseren Lagerung wurde der Kopf in einer Kopfstütze fixiert und die Position mithilfe eines Sichtfensters zur Frankfurter Horizontalen, Bipupillarlinie und der Median-Sagittal-Ebene ausgerichtet.

Es wurden gleichzeitig zwei Kiefergelenksspulen (Doppelspule) mit einem Durchmesser von 12 cm verwendet. Diese wurden so eingestellt, dass sie möglichst nah am Probanden und parallel zu einer gedachten sagittalen Achse des Kiefergelenks sind. Als Zentrum der Spule wurde der Porus acusticus externus ausgewählt.

Anhand der Übersichtsaufnahme in horizontaler Schnittrichtung wurden die parasagittalen und paracoronaren Schnittebenen festgelegt. Dabei wurden die Schnitte sowohl sagittal, als auch coronar anguliert angelegt, d.h. in sagittaler Richtung parallel und in coronarer Richtung senkrecht zur Achse des Condylus ausgerichtet. Die Schichtdicke betrug drei mm.

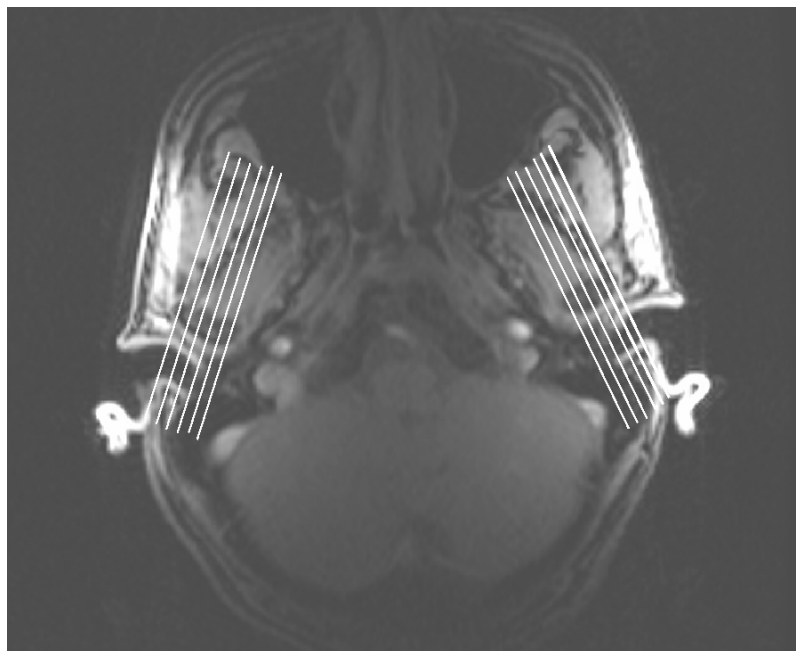


Abb. 4.1 Übersichtsaufnahme des Schädels in horizontaler Schnittrichtung mit Darstellung der parasagittalen Schichten.

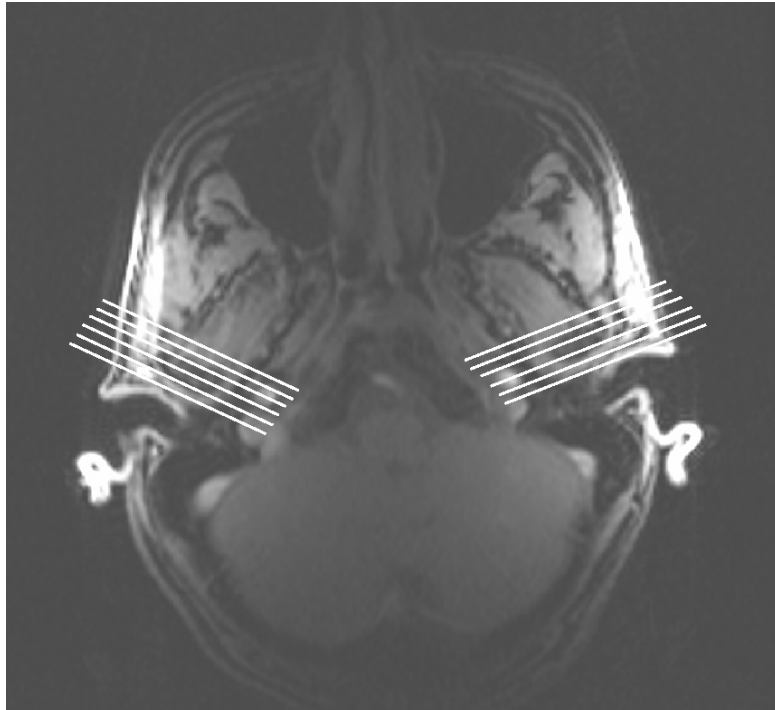


Abb. 4.2 Übersichtsaufnahme des Schädels in horizontaler Schnitfführung mit Darstellung der paracoronalen Schichten.

Diese parasagittalen und paracoronalen Schichtaufnahmen wurden bei Einnahme der Schlussbissposition (IKP) und bei maximaler Kieferöffnung (max. KÖ) durchgeführt. Um Artefakte bei den Aufnahmen bei max. KÖ zu vermeiden, haben die Probanden ihre Position mithilfe einer Aufbisshilfe aus Kunststoff fixiert (s. Abb. 4.3)

Sämtliche Aufnahmen wurden von der Autorin durchgeführt und ausgewertet.



Abb. 4.3 Aufbisshilfe

4.3 Aufbereitung und Auswertung der Aufnahmen

Der vollständige Datensatz wurde auf Speicherplatten gesichert und von dort im ACR/NEMA-Bildformat über das hausinterne Netzwerk in eine PC-basierte Bildverarbeitungsworkstation transferiert. Durch die Bildverarbeitungssoftware Radworks (General Electrics Medical Systems, Milwaukee, USA) fand die morphometrische Auswertung statt.

4.4 Morphologische Auswertung

Die Diskus-Condylus-Relation wurde anhand der vereinfachten Klassifikation nach Drace ausgewertet. Dabei wird die Lage des Discus articularis und sein Funktionszustand in „normal“, „anterior luxiert mit Reposition bei Kieferöffnung“ und „anterior luxiert ohne Reposition bei Kieferöffnung“ eingeteilt [Drace, 1990] (Tab.4.1).

	IKP	Kiefer halb geöffnet	max. KÖ
Grad 1: normale Diskusposition (NDP)			
Grad 2: anteriore Diskusverlagerung mit Reposition bei Kieferöffnung (VMR)			
Grad 3: anteriore Diskusverla- gerung ohne Reposition bei Kieferöffnung (VOR)			

Tab. 4.1 Einteilung der Diskus-Condylus-Relation modifiziert nach Drace [Drace, 1990], Abbildung nach Lemke et al. [Lemke, 2005].

Morphometrische Auswertung

4.5.1 sagittale Schnitfführung

4.5.1.1 Discus articularis

Diskusposition

Die Diskusposition wird einerseits in Relation zum Condylus betrachtet und andererseits in Relation zur Fossa mandibularis.

Diskuslage in Relation zum Condylus:

Bezogen auf die Lage des Condylus kann die Diskuslage im Abstand zur Condylenachse dargestellt werden. Die Festlegung der Condylenachse wurde in Anlehnung an die „condylar long axis“ nach Nebbe et al. durchgeführt [Nebbe, 1998]. Die Achse bildet sich aus der Verbindungslinie folgender Punkte:

Ein Punkt stellt den Mittelpunkt des Kreises dar, der das Collum mandibulae bestmöglich umschreibt, der zweite Punkt ist der Mittelpunkt des Kreises, der das Caput mandibulae bestmöglich beschreibt. Durch beide Punkte verläuft die Condylenachse.

Zusätzlich wird der Diskus der Länge nach durch eine Mittellinie markiert. Der Schnittpunkt dieser Mittellinie mit dem anterioren Diskusband, der Zona intermedia und dem posterioren Diskusband legen nun drei Messpunkte fest, von denen aus der Abstand zur Condylusachse gemessen wird, parallel zur Frankfurter Horizontalen (FH). Die Condylenachse wird zusätzlich genutzt, um die Relation des Condylus zu den unbeweglichen Strukturen näher zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde der Condyluswinkel (cw) erfasst, der sich aus der Neigung der Condylenachse zur FH ergibt.

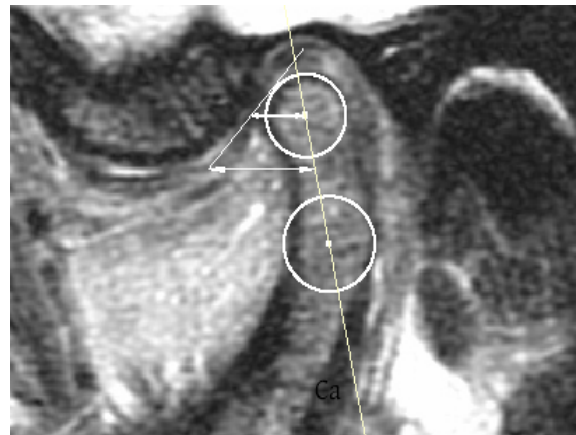
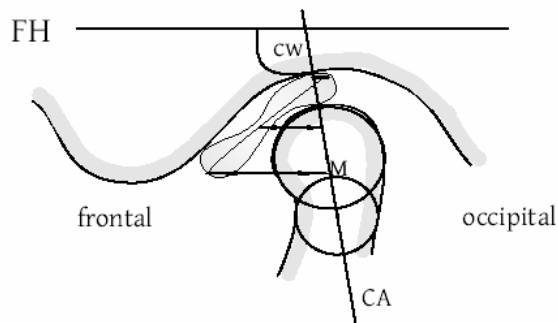


Abb. 4.4 Bestimmung der Abstände zwischen der Condylenachse (CA) und drei Messpunkten des Discus articularis, sowie Darstellung des Condylenwinkels (cw) als Bestimmung der Neigung zwischen der Condylenachse und der Frankfurter Horizontalen (FH).

Diskuslage in Relation zur Fossa mandibularis:

Um die Diskuslage in Bezug auf die Fossa mandibularis zu bestimmen, wurde die sagittale Diskuslage (sdl) festgestellt. Dazu wird eine Senkrechte zur FH durch den tiefsten Punkt der Fossa mandibularis gefällt. Gemessen wird der Abstand dieser Senkrechten zum posterioren Diskusrand und zwar in zwei unterschiedlichen Condyluspositionen, bei IKP und max. KÖ. Die sagittale Condyluslage (scl) wird auf dieselbe Weise bestimmt.

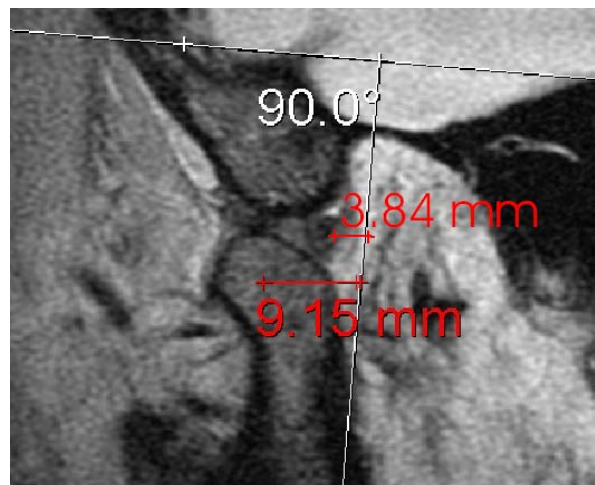
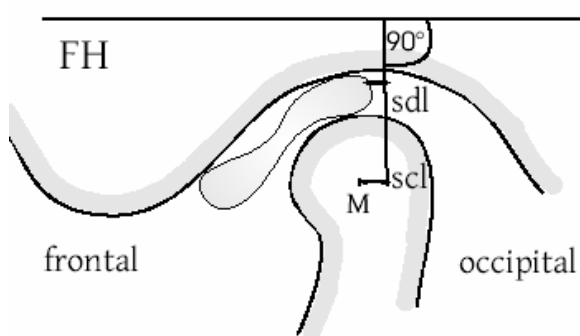


Abb. 4.5 Bestimmung der sagittalen Diskuslage (sdl) und sagittalen Condyluslage (scl) bei IKP (Schema) und max. KÖ (MRT).

Diskusform

Zur Darstellung der Diskusform wurde zunächst die Diskuslänge gemessen. Dazu wurden die Schnittpunkte der Diskusmittellinie mit dem anterioren und dem posterioren Pol des Discus articularis verwendet und der Abstand zwischen diesen Punkten ermittelt. Die Messung der Breite des Diskus wurde senkrecht zur Längenmessung durchgeführt. Dabei wurden die größte Ausdehnung des anterioren und posterioren Pols und die schmalste Stelle im Bereich der intermediären Zone gemessen. Alle Vermessungen zur Diskusform wurden auch bei maximaler Kieferöffnung durchgeführt.

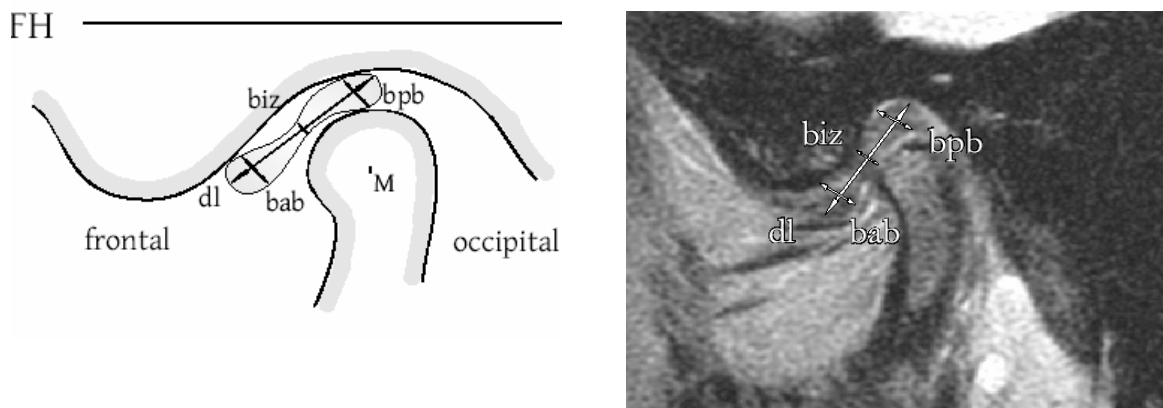


Abb. 4.6 Vermessung des Discus articularis nach Vogl [Vogl, 1993] (dl = Diskuslänge, bab = Breite des anterioren Bandes, biz = Breite der intermediären Zone, bpb = Breite des posterioren Bandes).

4.5.1.2 Condylus articularis

Condylusgröße

Zur Bestimmung der Condylusgröße wurde ein Kreis angelegt, der den Condylus am besten umfasst. Der Durchmesser dieses Kreises definiert die Größe und den Mittelpunkt des Condylus articularis.

Die Condylusgröße wurde zudem auf eine zweite Weise bestimmt. Dazu wurde eine Gerade zwischen dem tiefsten Punkt des Tuberculum articulare und des Processus postglenoidale gezogen. Gemessen wurde die Strecke, die den Condylus schneidet.

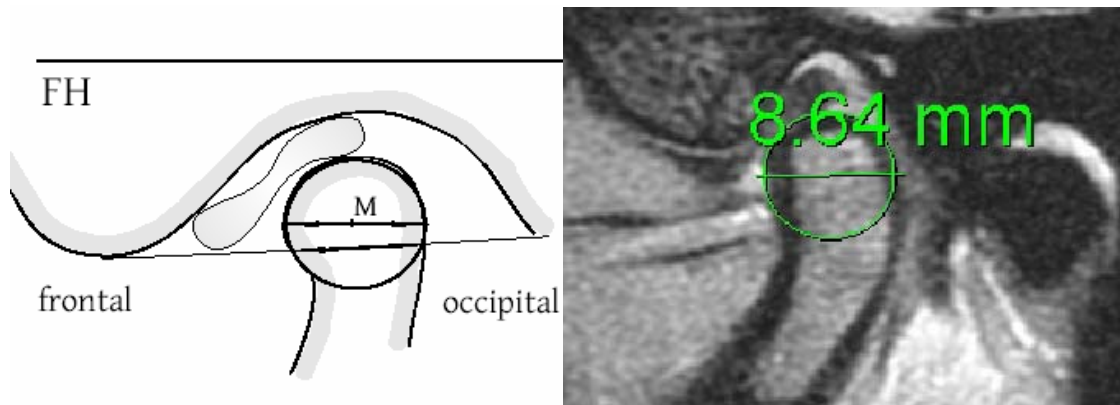


Abb. 4.7 Condylusvermessung

Condyluslage

Die Lage des Condylus wird in verschiedener Weise in Bezug auf die Fossa mandibularis angegeben.

Analog zur Bestimmung der sagittalen Diskuslage erfolgte die der sagittale Condyluslage (scl). Dabei wurde der Abstand zwischen der Senkrechten der FH zum Mittelpunkt des Condylus gemessen. Vergleichswerte bei maximaler Kieferöffnung wurden ebenfalls ermittelt (vgl. Abb. 4.5). Auch die Bestimmung des Condylenwinkels stellt eine Positionsbestimmung des Condylus dar (s. Abb. 4.4).

4.5.1.3 Vermessung unbeweglicher Strukturen (Fossa mandibularis, Tuberculum articulare und Processus postglenoidalis)

Zur genaueren Beurteilung der Form des Tuberculum articulare wurde der Tuberneigungswinkel (tnw) herangezogen. Er wird zwischen einer Parallelen zur FH durch den tiefsten Punkt der Fossa und einer Geraden gemessen, die durch den Scheitel der Fossa mandibularis und den tiefsten Punkt des Tuberculum articulare führt (s. Abb. 4.8).

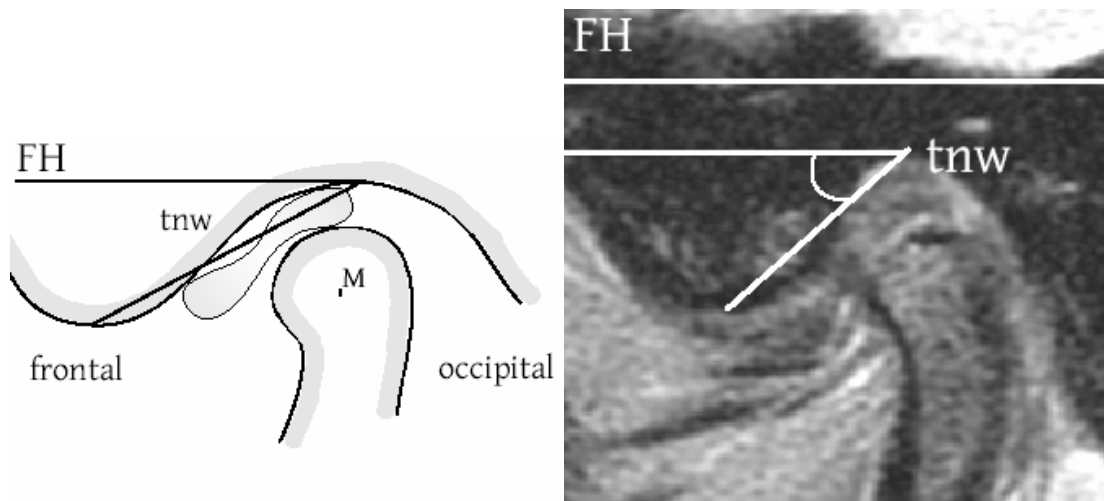


Abb. 4.8 Bestimmung des Tuberneigungswinkels (tnw)

Die Beurteilung der Fossa mandibularis wurde anhand einer Vermessungsmethode nach Pullinger durchgeführt [Pullinger, 2002]. Die Breite der Fossa entspricht der Verbindungslinie (fb) der tiefsten Punkte des Tuberculum articulare und des postglenoidalen Processus. Durch eine Senkrechte zu dieser Linie kann die Tiefe der Fossa bestimmt werden, indem diese Senkrechte durch den Scheitelpunkt der Fossa mandibularis verläuft und der Abstand zwischen diesem Punkt und der Schnittstelle mit fb gemessen wird.

Zudem wurde der Abstand zwischen dem Scheitelpunkt der Fossa mandibulare und dem jeweils tiefsten Punkt des Tuberculum articulare und des postglenoidalen Processus gemessen.

Wird eine Parallele zur FH so gelegt, dass sie den Scheitelpunkt der Fossa mandibularis schneidet, so kann man die Höhe des Tuberculum articulare (th) und des postglenoidalen Processus (pgph) messen, indem man eine Senkrechte zu ihr bildet (s. Abb. 4.9).

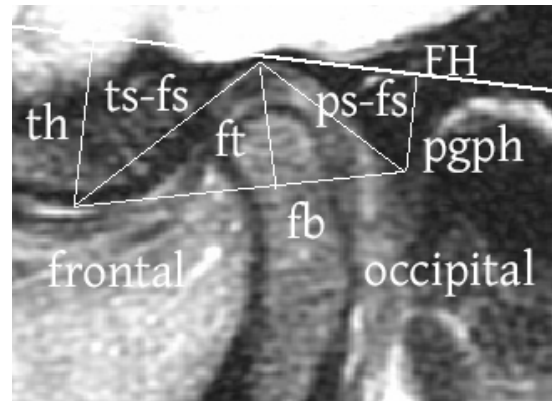
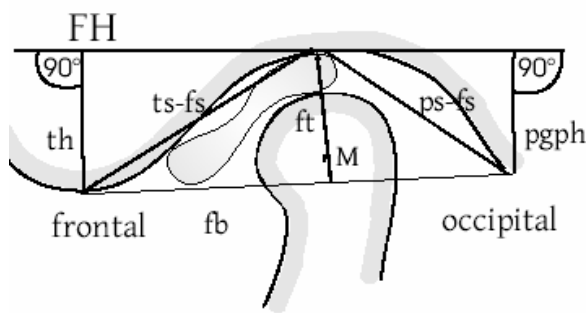


Abb. 4.9 Bestimmung der morphometrischen Parameter der Fossa mandibularis (ft=Tiefe der Fossa mandibularis, fb=Breite der Fossa mandibularis, th=Höhe des Tuberculum articulare, pgph=Höhe des Processus postglenoidalis, ts-fs=Länge des Tuberculum articulare, ps-fs=Länge des Processus postglenoidalis).

Zusätzlich wurde analog zur Bestimmung des Condylusdurchmessers der Durchmesser des Tuberculum articulare bestimmt, indem ein Kreis angelegt wurde, der möglichst maximal die Oberfläche des Tuberculum überlagert. Der Mittelpunkt dieses Kreises stellt die Mitte des Tuberculum articulare dar.

3.5.1.4 Relationen zwischen beweglichen und unbeweglichen Bestandteilen des Kiefergelenks

Vermessung der Gelenkspaltbreite

Die Messung der Gelenkspaltbreite erfolgt, indem man die Breite des Gelenkspaltes an verschiedenen, genau definierten Stellen bestimmt.

Dazu wird der kleinste Abstand zwischen der Condylusoberfläche und dem Os temporale auf der Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des Condylus articularis und dem anterioren bzw. posterioren Os temporale gemessen [Rammelsberg, 2000; Müller, 1992]. Daraus ergibt sich die Breite des anterioren (ags) bzw. posterioren (pgs) Gelenkspaltes. Der superiore Gelenkspalt (sgs) wird entsprechend bis zum Scheitel der Fossa mandibularis gemessen [Müller, 1992]. Analog dazu wurde die Spaltbreite bei max. KÖ vermessen (s. Abb. 4.10 und 4.11).

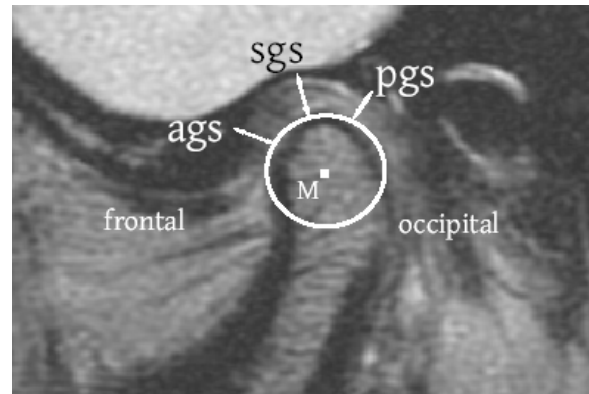
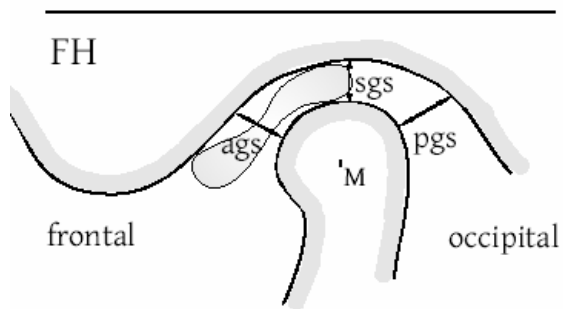


Abb. 4.10 Bestimmung der Lage des Condylus im Verhältnis zur Fossa mandibularis (ags=anteriöer Gelenkspalt, pgs=posteriöer Gelenkspalt, sgs=superiöer Gelenkspalt, M=Condylus-Mittelpunkt).

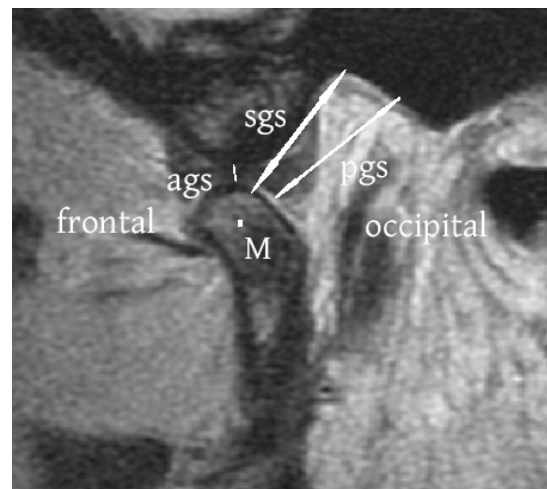
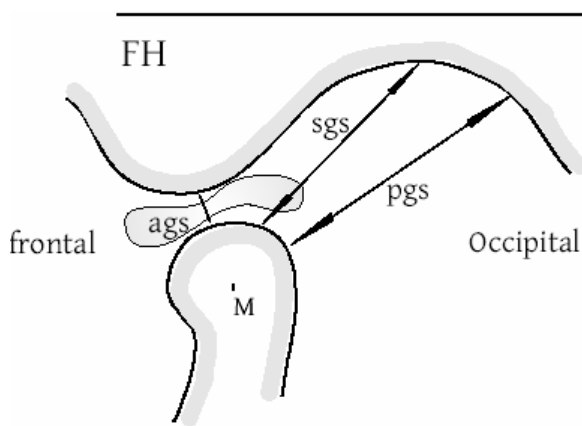


Abb. 4.11 Vermessung der Gelenkspaltbreite bei max. KÖ (ags=anteriöer Gelenkspalt, pgs=posteriöer Gelenkspalt, sgs=superiöer Gelenkspalt).

In Anlehnung an Pullinger et al. wurde der Abstand des Condylus zur Fossa mandibularis entlang einer Senkrechten zur FH an zwei definierten Stellen gemessen (s. Abb. 4.12). Einmal zwischen dem höchsten Punkt des Condylus und der Fossa (csgs) und zum zweiten zwischen dem tiefsten Punkt der Fossa und dem Condylus [Pullinger, 2002].

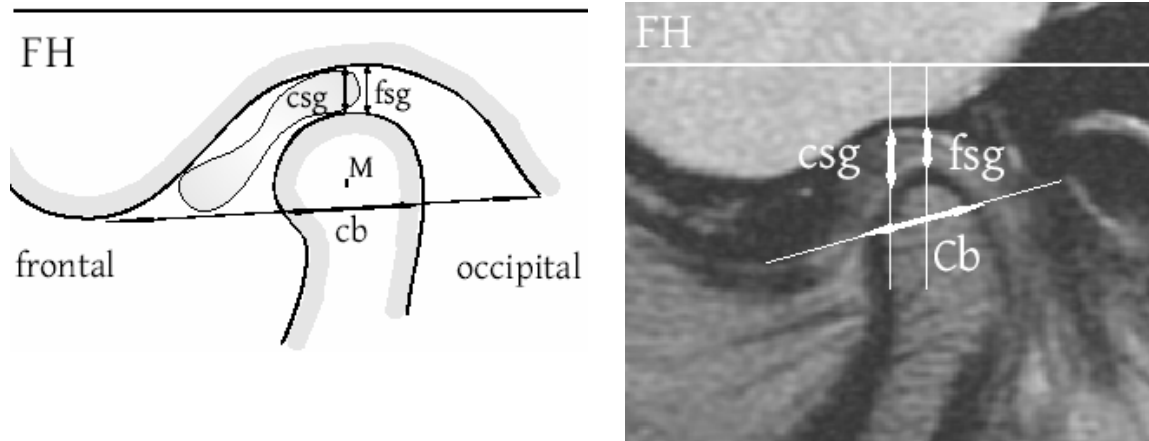


Abb. 4.12 Bestimmung der morphometrischen Parameter des Condylus (cb = Condylusbreite, csg = Gelenkspalt vom Condylusscheitel senkrecht zur FH, fsg = Gelenkspalt vom Fossascheitel senkrecht zur FH).

Eine weitere Positionsbestimmung des Condylus in Bezug zu den nicht beweglichen Bestandteilen des Kiefergelenks wird durch die Ermittlung der Neigung der Condylenachse (CA) zur FH bei IKP und bei max. KÖ ermöglicht (vgl. Abb. 4.4). Diese Methode erlaubt nicht nur die Bestimmung der Position des Caput mandibulae, sondern die des gesamten Processus condylaris und wird in Form des Condylenwinkels (cw) ausgedrückt.

Vermessung des Abstandes zwischen Tuberculum-Mittelpunkt und Condylus-Mittelpunkt

Nach Orsini et al. [Orsini, 1999] kann man den Mittelpunkt des Tuberculum articulare und des Condylus articulare gleichermaßen bestimmen, indem man einen Kreis um die Struktur zeichnet, der das Tuberculum bzw. den Condylus bestmöglich umschreibt (vgl. Abb. 4.13). Gemessen wurde der Abstand beider Mittelpunkte voneinander. Auch diese Messung erfolgte bei IKP und max. KÖ.

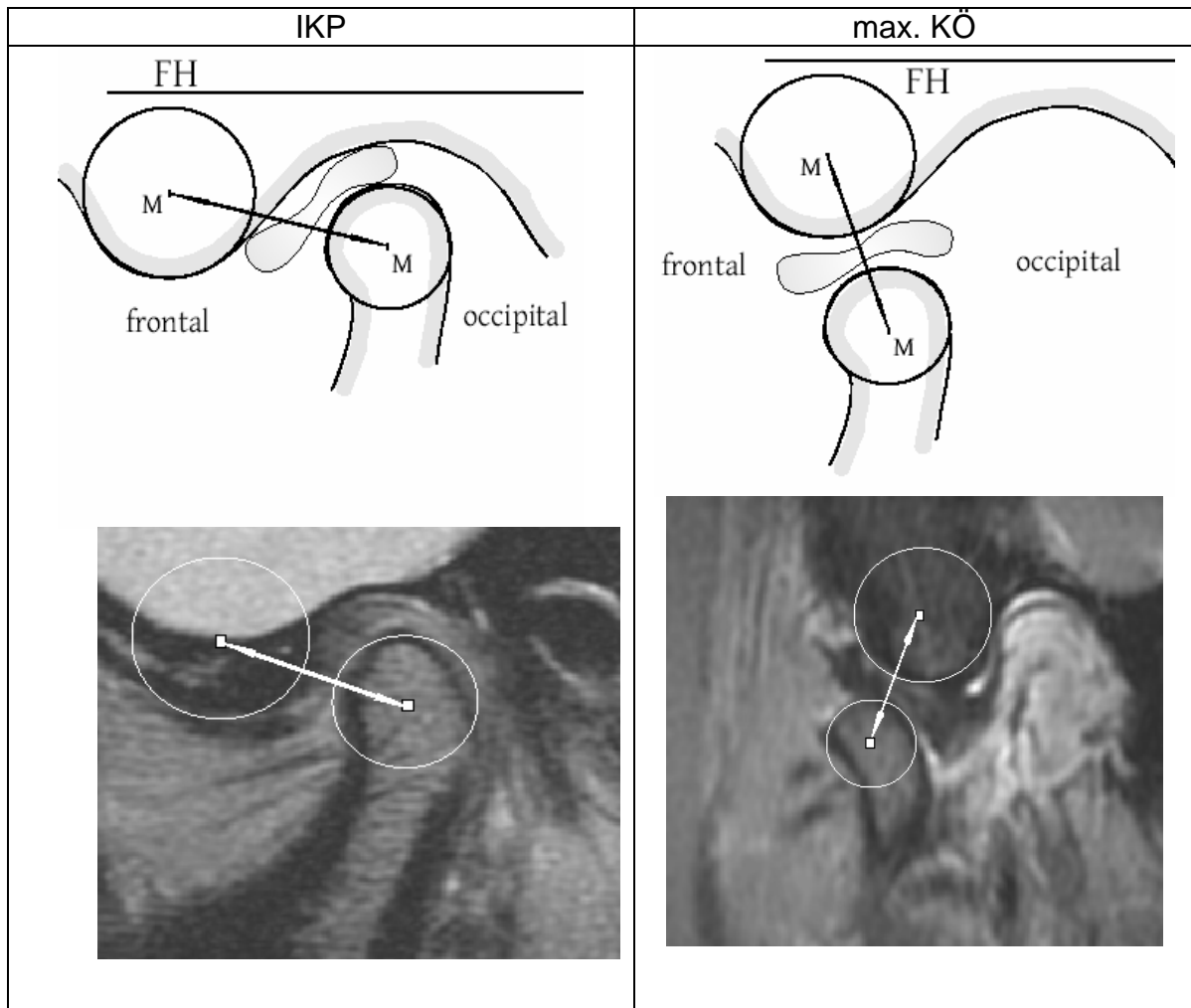


Abb. 4.13 Bestimmung der Distanz zwischen Tuberculum-Mittelpunkt und Condylus-Mittelpunkt nach Orsini et al.

Ermittlung der morphometrischen Parameter des Kiefergelenks mit Einbeziehung des Porus acusticus externus

In Anlehnung an R. Benbelaïd und B. Fleiter kam eine weitere Methode in modifizierter Art zur Anwendung [Benbelaïd, 2006]. Die FH schneidet das Tuberculum articulare. Daraus lässt sich der Mittelpunkt dieser Messstrecke festlegen. Dieser Punkt wird mit dem Mittelpunkt des Condylus articulare verbunden. Auf der entstandenen Verbindungslinie können nun drei Abstände ermittelt werden: Eine Strecke vom Mittelpunkt, die das Tuberculum articulare schneidet, zum anterioren Os temporale (Abhang des Tuberculum), zum Schnittpunkt mit dem Discus articulare und die Gesamtstrecke vom o.g. Punkt

zum Mittelpunkt des Condylus. Auch die Strecken zwischen dem Oberrand des Porus acusticus externus zum Mittelpunkt der Schnittstrecke der FH durch das Tuberculum und zum Mittelpunkt des Condylus articulare wurden erfasst. Abschließend konnte ein Winkel ermittelt werden, der sich aus der Verbindung beider Mittelpunkte und der FH ergibt.

Auch diese Messungen wurden bei IKP und bei max. KÖ durchgeführt.

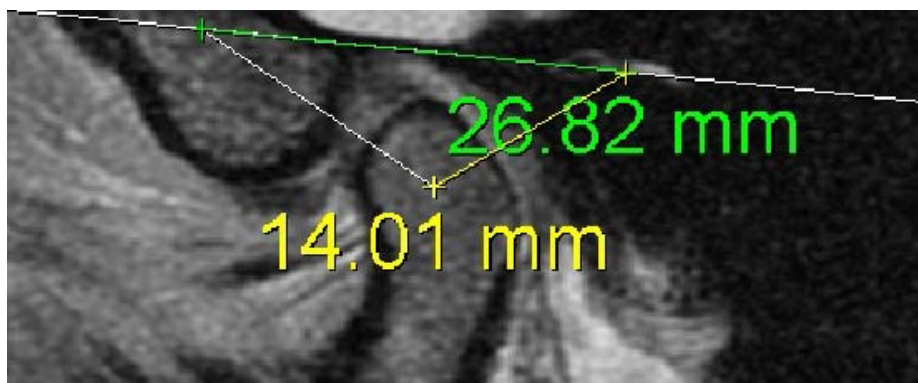
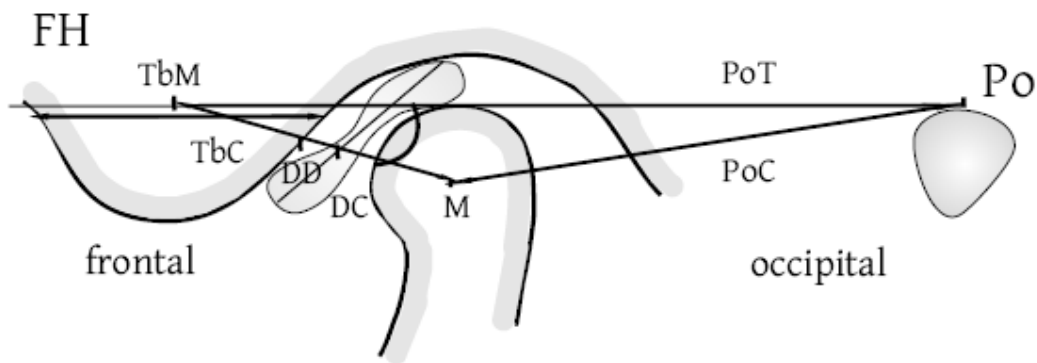


Abb. 4.14 Darstellung der morphometrischen Parameter mit Einbeziehung des Porus acusticus externus (TbM= $\frac{1}{2}$ der Strecke der Schnittstelle der FH auf dem Tuberculum articulare, PoT= Strecke zwischen Tuberculum-Mittelpunkt und Porus acusticus externus, PoC = Strecke zwischen Porus acusticus externus und Condylusmittelpunkt, TbC=Abstand zwischen TbM und dem äußeren Rand des Tuberculum articulare auf der Verbindungslinie zum Condylus-Mittelpunkt, DD=Abstand auf der selben Verbindungslinie von TbM zur Mittellinie des Discus articularis, DC=Abstand von TbM zum Condylus-Mittelpunkt auf derselben Verbindungslinie).

4.5.2 Coronare Schnitfführung

Diskuslage

Bezugnehmend auf Schmitter et al. [Schmitter, 2005] wurde eine Einschätzung der Diskusposition in coronarer Schnitfführung durchgeführt. Dabei konnte der jeweilige Abstand zwischen Condylus- und Diskusrand medial und lateral ermittelt werden. Durch den Vergleich dieser Werte mit den analogen Werten bei maximaler Kieferöffnung kann eine Schlussfolgerung über die medial-laterale-Verschiebung des Discus articularis während der Kieferöffnung getroffen werden.

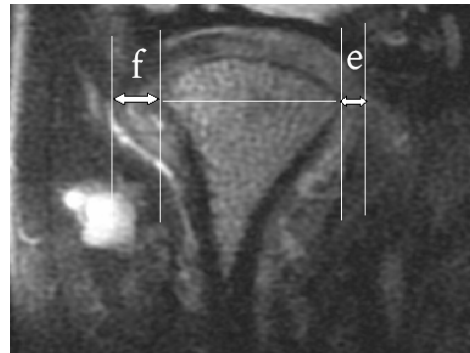
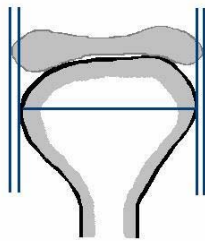


Abb. 4.15 Vermessung der Distanz zwischen dem Condylus und dem Diskus bei IKP in coronarer Schnitfführung (e=Abstand zwischen Condylus- und Diskusrand medial, f=Abstand zwischen Condylus- und Diskusrand lateral).

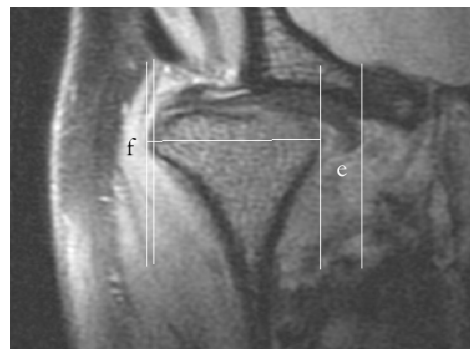
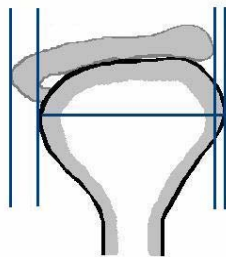


Abb. 4.16 Analoge Vermessung von e und f bei max. KÖ in coronarer Schnitfführung. (e=Abstand zwischen Condylus- und Diskusrand medial, f= Abstand zwischen Condylus- und Diskusrand lateral).

Diskusform

In dieser Darstellung wurden außerdem alle Parameter zur Bestimmung der Diskusform ermittelt. Dazu wurde analog zur sagittalen Schnitfführung die Diskusdicke im medialen, mittleren und lateralen Bereich vermessen.

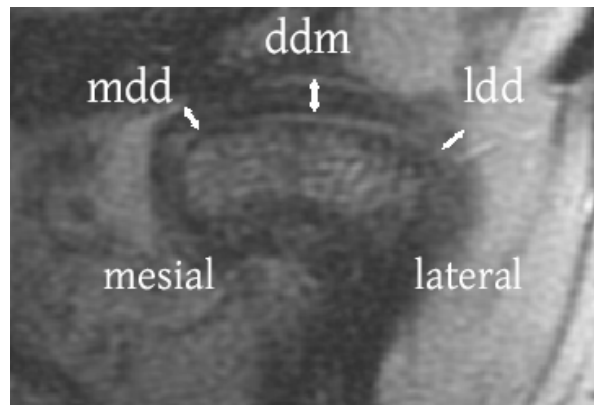


Abb. 4.17 Vermessung der Diskusdicke bei coronarer Schnitfführung medial (mdd: mediale Diskusdicke), mesial (ddm: Diskusdicke mesial) und lateral (ldd: laterale Diskusdicke).

Bei maximaler Kieferöffnung wurden dieselben Werte ermittelt, wie in IKP.

Vergleich mit der klinischen Funktionsanalyse

Alle Probanden wurden von einem unabhängigen Untersucher nach den Research Diagnostic Criteria von Dworkin und LeResche untersucht [Dworkin, 1992]. Keiner der untersuchten Probanden gab Schmerzen im Kiefer- Gesichtsbereich bzw. bei Funktion des Unterkiefers an.

4.7 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit der Software SPSS 12.0 durchgeführt. Dafür wurden zunächst alle Daten in SPSS codiert. Da es sich in der Regel um nicht normal verteilte metrische Daten handelt, wurden Mediane bestimmt und zum statistischen Vergleich von Messgrößen zwischen der selbst untersuchten Probandengruppe und den zur Verfügung stehenden Patientendaten der U-Test nach Mann-Whitney verwendet.

Dabei handelt es sich um einen nichtparametrischen Test für zwei unabhängige Stichproben. Ist der ermittelte p-Wert kleiner als 0,05, wurde er als statistisch signifikant gewertet. Als weiterer nichtparametrischer Test wurde der Wilcoxon-Test verwendet, um abhängige Stichproben miteinander zu vergleichen.

Um die Korrelation verschiedener Messgrößen zwischen den Probanden und Patienten oder auch zwischen einigen Daten einer Gruppe zu ermitteln, wurde die Korrelationsanalyse nach Pearson verwendet. Zur Beurteilung von Klassifikationsschemata und somit zur Erstellung des MRT-Protokolls wurde die ROC-Kurve verwendet.

Die graphische Darstellung erfolgte in Form von Boxplots, Balken- und Korrelationsdiagrammen.