

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie der
Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

(Direktor: Univ.- Prof. Dr. Dr. med. dent. Georg Meyer)

Thema: Der Zusammenhang zwischen anteriorem Kreuzbiss, tiefem Biss und der
Kiefergelenksmorphologie anhand von Magnetresonanztomogrammen

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2011

vorgelegt von:
Verena Wohlberg
geb. am: 26.08.1980
in: Hamburg

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

1. Gutachter: Prof. Dr. O. Bernhardt

2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. H. Wehrbein

(3. Gutachter:)

Ort, Raum: Greifswald, Hörsaal der neuen Zahnklinik

Tag der Disputation: 21.03.2012

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	4 - 5
MATERIAL UND METHODE	5 - 9
ERGEBNISSE	9 - 10
DISKUSSION	11 - 14
ZUSAMMENFASSUNG	15
LITERATUR	16 - 20
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	21
LEBENS LAUF.	22 - 23
DANKSAGUNG.	24
PUBLIKATION	

Einleitung

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein weiterer Beitrag zum Zusammenhang zwischen Malokklusionen und der Kiefergelenkmorphologie geleistet werden, da zahlreiche medizinische und zahnmedizinische Fachbereiche die Regelkreise dieser Kopfregion beeinflussen.

In der Literatur herrscht keine einheitlich Meinung über das Bestehen eines Zusammenhangs zwischen Okklusion bzw. Malokklusion und Kiefergelenkmorphologie (Ari-Demirkaya et al., 2004; Darendeliler et al., 2004; Koak et al., 2000). Teilweise wird keine oder nur eine geringe Korrelation angegeben (Matsumoto und Bolognese, 1994). Vorhergehenden Studien stützen sich zudem vornehmlich auf den Zusammenhang zwischen Kiefergelenkmorphologie und verschiedenartigen okklusalen Anomalien wie Zahnverlust, Abrasionen und abweichende Funktionsmuster (Granados, 1979; Wish-Baratz et al., 1996; Gianelly et al., 1970; Hinton, 1981; Seward, 1976). Andere Untersuchungen wiederum konzentrieren sich auf Malokklusionen und damit assoziierte Abweichungen der Gesichtsanatomie und craniomandibuläre Dysfunktionen (CMD) (Egermark et al., 2003; Gesch et al., 2004; Seligman und Pullinger, 2000).

Malokklusionen gelten als Abweichungen von der idealen Zahn- und Kieferstellung, der sogenannten Eugnathie. Solche Fehlstellungen sind vielgestaltig und können in allen drei Raumebenen auftreten (Angle, 1899).

Frühe Untersuchungen zur Festlegung einer Norm der morphologischen Kiefergelenksverhältnisse brachten große Varianzen hervor (Madsen, 1966; Ricketts, 1950). Die Erkenntnisse der vergangenen Jahrzehnte gehen dahin, dass Auffälligkeiten in der Kiefergelenkmorphologie in vielen Fällen weniger als pathologische Veränderungen, sondern eher als Abweichungen von der Norm bzw. als entwicklungs- oder umweltbedingte Prozesse angesehen werden (O'Ryan und Epker, 1984). Postnatal kann von einer Wachstumsbeeinflussung der Kiefergelenkskomponenten bis in die Adoleszentenphase ausgegangen werden, welche das Tuberkulum artikulare wie auch den postglenoidalen Gelenkforstsatz betrifft (Katsavrias, 2002; Katsavrias und Dibbets, 2002). Umbauprozesse im Erwachsenenalter werden möglicherweise durch die dentale Funktion beeinflusst (Hinton, 1981).

Die zugrundeliegende Hypothese der aktuellen Untersuchung ist, dass Malokklusionen des Frontzahnbereichs im Sinne einer anterioren Führung der

Unterkieferbewegungen Einfluss nehmen auf die morphologische Variabilität des Kiefergelenks, welches als posteriore Führung betrachtet werden kann. Untersucht wurden dabei die Zusammenhänge in der Vertikalebene. Praktisch können sich dadurch Hinweise für die Gestaltung von Zahnersatz in der Frontzahnregion ergeben, des Weiteren lassen sich Ansätze zur kieferorthopädischen Therapie ableiten.

Material und Methode

In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen den klinisch erhobenen kieferorthopädischen Anomalien frontaler Kopf- und Kreuzbiss sowie tiefem Biss mit der Kiefergelenksmorphologie anhand von Magnetresonanztomogrammen (MRT) untersucht (Wohlberg et al., 2011). Bei der Studienpopulation handelte es sich um Probanden aus der bevölkerungsrepräsentativen Studie „Leben und Gesundheit in Vorpommern“ (Study of Health in Pomerania - SHIP).

Zahnstellungs- und Okklusionsverhältnisse wurden im zahnmedizinischen Teil der Basisstudie SHIP 0 klinisch erhoben. Die Kiefergelenke wurden anhand der im Rahmen des Assoziierten Projektes (ASSPRO) angefertigten magnetresonanztomographischen Aufnahmen metrisch erfasst. Ausgewählt wurden Variablen der Kiefergelenksmorphologie, welche die vertikale Dimension des Kiefergelenks beschreiben.

Als bevölkerungsrepräsentative Studie wurden in der SHIP-Studie im Untersuchungszeitraum von Oktober 1997 bis Mai 2001 die erwachsenen Bürger im Alter von 20 bis 79 Jahren der drei größten Städte Greifswald, Stralsund und Anklam und weiterer 29 Gemeinden der Region Vorpommern berücksichtigt. Anhand von Einwohnermeldedaten wurden aus jeder ausgewählten Region proportional zur Größe und zur Zusammensetzung der jeweiligen Population Probanden nach Alter und Geschlecht randomisiert bestimmt. Eingeladen wurden 6267 Probanden in den jeweiligen Altersgruppen, welche fünfjahresweise abgestuft waren (insgesamt 12 Fünfjahresgruppen). Nähere Angaben zum Studiendesign und zum Auswahlverfahren der Studienteilnehmer wurden von John, Greiner et al. und Hensel et al. erstellt (John, Greiner et al., 2001; Hensel et al., 1993).

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich wurden im Rahmen der kieferorthopädischen Befundung u. a. anteriorer Kopf- und Kreuzbiss sowie tiefer Biss bei geschlossenen

Zahnreihen in maximaler Interkuspidation erhoben. Ein anteriorer Kopfbiss bezeichnete den Schneidekanten-zu-Schneidekantenkontakt im Frontzahnbereich. Bei vestibulärem Übergreifen eines oder mehrerer Unterkieferfrontzähne über die obere Zahnreihe lag ein anteriorer Kreuzbiss vor. Am Kreuzbiss der lateralen Inzisivi des Oberkiefers konnten auch die okkludierenden Canini des Unterkiefers beteiligt sein.

Als tiefer Biss ohne Gingivakontakt wurde der vertikale Überbiss der oberen Inzisivi bezeichnet, wenn er bis an die Grenze oder bis in den Bereich des gingivanahen Kronendrittels der unteren Inzisivi reichte. Beide Schneidezahnreihen waren dabei noch dental gegeneinander abgestützt. Mit dem Auftreten von Gingivakontakt, d. h. wenn die dentale Abstützung der inzisalen Bereiche teilweise oder vollständig gegeneinander fehlte, wurde ein tiefer Biss mit Gingivakontakt verzeichnet, auch wenn einzelne Inzisivi dental gegeneinander abgestützt waren. Die Inzisalkanten der unteren Inzisivi tangierten dabei ganz oder teilweise die palatinale Schleimhaut im Bereich der oberen Inzisivi und/oder die oberen Inzisivi tangierten ganz oder teilweise die vestibuläre Gingiva im Bereich der unteren Inzisivi.

Aufgrund der Teilnehmerzahl wurden anteriorer Kopf- und Kreuzbiss zu einer Gruppe zusammengefasst. Gemeinsam erfüllten sie das Kriterium eines insuffizienten sagittalen Überbisses vergleichbar mit anderen Studien (Cohlmiä et al., 1996).

Tabelle 1. Kieferorthopädische Befundung, SHIP-0

Symptom	Basisstudie SHIP-0
Sagittale Stufe	
	0 = bis 4 mm 1 = > 4 mm < 6 mm 2 = größer 6 mm
Umgekehrte Frontzahnstufe	vorhanden/nicht vorhanden
Offener Biss	
frontal/rechts/links	0 = nicht vorhanden 1 = bis 3 mm 2 = größer 3 mm
Tiefer Biss	
ohne Gingivakontakt	1 = Überbiss bis unteres Kronendrittel ohne Gingivakontakt
mit Gingivakontakt	2 = Überbiss bis unteres Kronendrittel mit Gingivakontakt
Traumatisierender Gingivakontakt	nicht erhoben
Bukkale Nonokklusion	
rechts/links	vorhanden/nicht vorhanden

Kopfbiss frontal/rechts/links	vorhanden/nicht vorhanden
Kreuzbiss frontal/rechts/links	vorhanden/nicht vorhanden
Kontaktpunktabweichung frontal/rechts/links OK/UK	nicht erhoben
Engstand/Platzmangel frontal	1 = $\leq 1/2$ seitl. Schneidezahnbreite 2 = $> 1/2 \leq 1$ seitl. Schneidezahnbreite 3 = > 1 seitl. Schneidezahnbreite
Engstand/Platzmangel seitlich rechts/links OK/UK	vorhanden/nicht vorhanden
Eckzahnaußenstand 13,23,33,43	vorhanden/nicht vorhanden
Okklusionsbefund 6er rechts und links 3er rechts und links	0 = neutral 1 = bis 1/2 PB distal 2 = größer 1/2 PB bis 1 PB distal 3 = größer 1 PB distal 4 = mesial

Unter Beibehaltung der Abstufung in 5-Jahresgruppen wurde jeder zweite Studienteilnehmer im Alter von 20 bis 49 Jahren zu weiteren Untersuchungen eingeladen. Von 1056 Probanden stimmten 586 diesen weiteren Untersuchungen zu. 307 Probanden (140 Männer und 167 Frauen) erfüllten das Einschlusskriterium „mindestens 20 natürliche Zähne in situ“ und wurden im Bereich der Kiefergelenke magnetresonanztomographisch untersucht (Bernhardt et al., 2007; Kobs et al., 2005). Um weitestgehend naturgetreue Okklusionsverhältnisse zu gewährleisten, wurden 154 Probanden (94 Frauen und 60 Männer) für die aktuelle Untersuchung anhand der folgenden Kriterien zugelassen: Pro Kieferhälfte mussten mindestens ein Prämolare und ein Molare in ihrer Integrität vorhanden sein. Ausgeschlossen wurden Zähne, welche entweder zerstört, überkront oder mit großflächigen Füllungen versehen waren, deren Ausmaß mehr als zwei Drittel der Kaufläche betrug bzw. die Distanz zwischen oralen und vestibulären Höckern überstieg.

Nach Ausschluss fehlender Werte bei sechs Probanden verblieben schließlich 148 Teilnehmer (90 Frauen und 58 Männer) für die Durchführung der aktuellen Untersuchung.

Die Magnetresonanztomogramme wurden mit einem Kernspintomographen der Firma Siemens, Typ Magnetom Impact Expert (Magnetfeldstärke 1,0 Tesla) angefertigt.

Als Empfänger wurde bilateral eine duale Oberflächenspule (TMJ Coil) mit 7cm Durchmesser eingesetzt. Die Probanden wurden in standardisiertem Verfahren auf dem Rücken liegend in dem Kernspintomographen eingestellt, so dass die Frankfurter Horizontale parallel zur Gantry und im rechten Winkel zur Längsachse des Magneten ausgerichtet war bei Fixation mittels Kopfhaltung (Isberg und Westesson, 1998).

Die Aufnahmen wurden mit üblichen Spin-Echo-Sequenz-Parametern vorgenommen, welche im Folgenden aufgeführt sind:

1. axial (Scout – Bild) - T1 gewichtete Aufnahmen; TR (Repetition Time) = 140ms, TE (Echo time) = 15ms;
2. sagittal – T1 gewichtete Aufnahmen; neun 3mm dicke Schichten; TR = 448ms, TE = 15ms;
3. koronal - T1 gewichtete Aufnahmen; TR = 450ms; TE = 15ms;

Drei (lateral, zentral, medial) 3mm breite orthogonale sagittale Aufnahmen des Kiefergelenks wurden in maximaler Interkuspitation aufgezeichnet und anschließend bei maximaler Mundöffnung, welche mit einem individuell gefertigten Silikonblock sichergestellt wurde.

Zur Bestimmung der vertikalen knöchernen Kiefergelenkmorphologie wurden vier lineare Variablen sowie eine Verhältnisvariable aus der Methode von Pullinger und Seligman gewählt (Pullinger und Seligman, 2001), wie in Abbildung 1 dargestellt.

Als Referenzlinien dienten eine Tangente durch den tiefsten Punkt der Gelenkpfanne parallel zur Frankfurter Horizontalen sowie die Fossa-Breiten-Tangente, welche den jeweils höchsten Punkt des Gelenkfortsatzes und des Tuberkulum artikulare berührte.

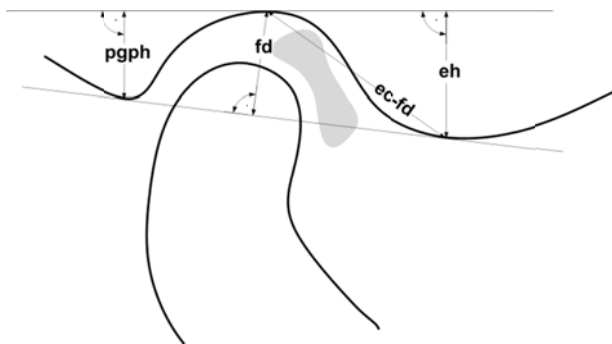
- Eminence height (eh) = Tuberkulumhöhe: Abstand vom höchsten Punkt des Tuberkulum artikulare im rechten Winkel projiziert auf die Tangente durch den tiefsten Punkt der Gelenkpfanne.
- Postglenoid process height (pgph) = Gelenkfortsatzhöhe: Abstand vom höchsten Punkt des Gelenkfortsatzes im rechten Winkel projiziert auf die Tangente durch den tiefsten Punkt der Gelenkpfanne.
- Fossa depth (fd) = Fossatiefe: Abstand zwischen dem tiefsten Punkt der Gelenkpfanne im rechten Winkel projiziert auf die Fossa-Breiten-Tangente.

- Eminence crest - fossa depth (ec - fd): Abstand vom höchsten Punkt des Tuberkulum artikulare zum tiefsten Punkt der Gelenkpfanne.
- Eminence height/ postglenoid process height (eh/pgph): Das Verhältnis dieser beiden Variablen bezeichnet die relative Größe des Tuberkulums.

Die Messungen wurden von zwei ausgebildeten und kalibrierten Untersuchern vorgenommen. Die Kalibrierung wurde in drei Durchgängen anhand von 20 Magnetresonanztomogrammen (rechtes und linkes Kiefergelenk von 10 Probanden) vorgenommen. Abschließend variierte die Korrelation von 90,9% ($p < 0,0005$) bei der Tuberkulumhöhe bis 96,7% ($p < 0,0005$) bei der Gelenkfortsatzhöhe.

Die statistische Analyse wurde als lineare Regression durchgeführt. Adjustiert wurde dabei nach Geschlecht, Alter, Schulbildung, Haushaltseinkommen, vorangegangener kieferorthopädischer Behandlung, Mesialokklusion sowie anteriorem und lateralem Kreuz- und Kopfbiss. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ angenommen.

Abbildung 1. Bestimmung der Kiefergelenksmorphologie, schematisch dargestellt



eh (eminence height) = Tuberkulumhöhe, **pgph** (postglenoid process height) = Gelenkfortsatzhöhe, **fd** (fossa depth) = Fossatiefe, **ec-fd** (distance between eminence crest and highest point of fossa) = Abstand vom höchsten Punkt des Tuberkulum artikulare zum tiefsten Punkt der Gelenkpfanne

Ergebnisse

Festgestellt werden konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen frontalem Kopf-/ Kreuzbiss und einer verringerten Tuberkulumhöhe (eh) sowie zwischen tiefem Biss ohne Gingivakontakt und einem reduzierten Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph).

Im Detail konnte bei frontalem Kopf-/ Kreuzbiss eine statistische Signifikanz bei der Verringerung der Tuberkulumhöhe (eh) auf beiden Gelenkseiten nachgewiesen werden (statistisches Endmodell [adjustiert nach lateralem Kreuz- oder Kopfbiss, kieferorthopädischer Behandlung, Geschlecht, Alter, Schulbildung, Haushaltseinkommen]: links: $p < 0,001$; rechts: $p = 0,007$), die Gelenkfortsatzhöhe (pgph) war lediglich in den rechten Kiefergelenken signifikant erhöht ($p = 0,018$).

Weitere Kiefergelenkvariablen, die untersucht wurden, jedoch keine statistische Signifikanz zu frontalem Kopf-/ Kreuzbiss aufwiesen, waren die Fossatiefe (fd) und der Abstand vom höchsten Punkt des Tuberkulum artikulare zum tiefsten Punkt der Gelenkpfanne (ec - fd).

Bei den tiefen Bissen ohne Gingivakontakt war die Gelenkfortsatzhöhe (pgph) signifikant in den linken Kiefergelenken reduziert (statistisches Endmodell [adjustiert nach kieferorthopädischer Behandlung, Geschlecht, Alter, Schulbildung, Haushaltseinkommen]: $p = 0,018$ auf dem Level "ohne Gingivakontakt" im Vergleich zu "kein Gingivakontakt"; $p = 0,048$ bei tiefem Biss auf drei Leveln), in den rechten Kiefergelenken bestand eine Tendenz dazu ($p = 0,059$ bzw. $p = 0,098$).

Das Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph) wiederum war sowohl im linken ($p < 0,001$ auf dem Level "ohne Gingivakontakt"; $p < 0,001$ bei "tiefer Biss") als auch im rechten ($p = 0,002$ bzw. $p = 0,008$) Kiefergelenk erhöht.

Bei den tiefen Bissen mit Gingivakontakt konnte für das Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph) weder eine statistische Signifikanz noch ein vergleichbarer Zusammenhang wie bei den tiefen Bissen ohne Gingivakontakt festgestellt werden.

Weitere Kiefergelenkvariablen, die untersucht wurden, jedoch keine statistische Signifikanz zum tiefen Biss aufwiesen, waren die Tuberkulumhöhe (eh), die Fossatiefe (fd) und der Abstand vom höchsten Punkt des Tuberkulum artikulare zum tiefsten Punkt der Gelenkpfanne (ec - fd).

Die tabellarische Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Untersuchung findet sich in (Wohlberg et al., 2011).

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zum Zusammenhang zwischen verschiedenen Malokklusionen und der Morphologie des Kiefergelenks dient der Ausweitung des Verständnisses der morphologischen Anpassungsfähigkeit des Kiefergelenkes. Dies ist von besonderem Interesse, da das Kiefergelenk in seiner Komplexität einen noch großen Forschungsbedarf bietet. Seine Wechselwirkungen im stomatognathen System sowie im gesamten Organismus werden als sehr vielfältig erachtet, ebenso die in Zusammenhang stehenden Erkrankungen. Bisherige Untersuchungen lieferten keine hinreichende Klärung der das Kiefergelenk beeinflussenden Faktoren, wie die hier in Zusammenhang gestellten Malokklusionen der Vertikalebene.

Die Besonderheit der aktuellen Untersuchung liegt darin, dass sie anhand einer populationsbasierten Studie durchgeführt wurde, die einen Überblick über den Gesundheitszustand der Gesamtbevölkerung der Studienregion bietet und zudem soziodemographische und sozioökonomische Faktoren berücksichtigt. Die Mehrheit der Studien befasst sich dagegen mit einer aus Patienten bestehenden Studienpopulation. Dementsprechend groß war die Zahl der vorliegenden Magnetresonanztomogramme, die im Allgemeinen nur bei einer gesicherten Erkrankung oder bei Verdacht auf eine Erkrankung angefertigt werden.

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ist dabei aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung, der multiplanaren Darstellung und der guten Detailwiedergabe von Weichteilstrukturen anderen bildgebenden Verfahren überlegen (Bumann und Lotzmann, 2000). Als nachteilig einzustufen ist die hohe Kostenintensität bei der Anfertigung von Magnetresonanztomogrammen, was die bedarfsgerechte Anwendung einschränkt.

Bisher diente das MRT hauptsächlich zur Darstellung von Strukturveränderungen des Kiefergelenks und zur Bestimmung der Diskusposition. Vor allem bei Diskusverlagerungen hat sich das MRT zur Methode der Wahl entwickelt (Liedberg et al., 1996). Ebenso ist es zur Abbildung der Hartgewebe geeignet, steht dem Computertomogramm (CT) jedoch noch in unterschiedlichem Maße nach (Westesson und Paesani, 1993; Petersson, 2010).

Bei der Beurteilung pathologischer Veränderungen des Kiefergelenks wäre es von entscheidendem Vorteil diese von allgemeinen Umbauprozessen differenzieren zu können, welche zeitlebens an jedem Gelenk des menschlichen Körpers und somit

auch am Kiefergelenk im Rahmen des Wachstums- bzw. Alterungsprozesses auftreten (Hinton, 19981).

Zu beachten ist, dass Auffälligkeiten in der Kiefergelenkmorphologie auch als Adaptionen betrachtet werden können, welche auf einen speziellen Reiz hin erfolgen und häufig unterschätzt werden (Turp et al., 2008). Denkbar ist auch ein umgekehrter Sachverhalt, bei dem vorliegende Kiefergelenkmorphologien ursächlich für Veränderung an anderer Stelle im Organismus wie z. B. der Okklusion sind.

Bei der Betrachtung solcher Zusammenhänge haben verschiedene Studien ergeben, dass bei Patienten mit Malokklusionen die Anatomie wie auch die Funktion der Kiefergelenke variiert (O’Ryan und Epker, 1984; Tanne et al., 1995; Ueki et al., 2005), was wiederum Auswirkungen auf die skelettale Morphologie des dentofazialen Komplexes haben kann.

Die seit Langem bestehende Annahme, dass Form und Funktion eng miteinander verbunden sind, konnte auch auf verschiedene Malokklusionen im Zusammenhang mit der Kiefergelenkmorphologie übertragen werden (Ueki et al., 2008), wie auch in der aktuellen Studie bestätigt. Der signifikante Zusammenhang zwischen frontalem Kopf-/ Kreuzbiss und einer verringerten Tuberkulumhöhe (eh) sowie zwischen tiefem Biss ohne Gingivakontakt und einem reduzierten Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph) ergab als Folgerung die Abflachung der Gelenkbahnneigung bei frontalem Kopf-/ Kreuzbiss und deren Anstieg bei tiefem Biss ohne Schleimhautkontakt.

Dabei war es das Tuberkulum artikulare, welches im Vergleich zum postglenoidalen Gelenkfortsatz die mit Abstand größere Aufmerksamkeit in bisherigen Untersuchungen fand. Die genaue Funktion des postglenoidalen Gelenkfortsatzes ist bisher nicht vollständig geklärt, jedoch wird ihm eine Beeinflussung der Physiologie des Kiefergelenks zugesprochen (Dessem und Druzinsky, 1992; Katsavrias und Dibbets, 2002). Das Tuberkulum artikulare wird in der Literatur vorrangig in Bezug auf die Gelenkbahnneigung betrachtet, eine hohe Korrelation zwischen Tuberkulumhöhe und -neigung wurde festgestellt (Katsavrias, 2006).

Übereinstimmend mit der aktuellen Studie wiesen bei Angel und Boering Individuen mit einem Kopfbiss bzw. knappem vertikalem Überbiss ein abgeflachtes Tuberkulum auf (Angel, 1948; Boering, 1979). Auch die deutlichere Ausprägung des Tuberkulum artikulare beim tiefen Biss und die Abflachung der Gelenkbahnneigung bei Vorhandensein einer physiologische Frontzahnstufe, wie es Boering und Riesner

feststellten (Boering, 1979; Riesner, 1938), sind mit den Ergebnissen der aktuellen Untersuchung vergleichbar. Ebenso beobachteten Motoyoshi et al. eine tendenzielle Abnahme der Gelenkbahnneigung bei reduziertem vertikalen Überbiss (Motoyoshi et al., 1993).

Die Autopsiestudie von Solberg et al. (Solberg et al., 1986) ergab, dass ein großer vertikaler Überbiss üblicherweise bei jungen Erwachsenen mit anteriorer Ausdehnung der artikulären Oberfläche, abgeflachten Kondylen und offener Fossastruktur bzw. weniger steilem Tuberkulum artikulare vorkam ($p < 0,05$). Die zuletzt genannte Erkenntnis verhält sich gegensätzlich zu denjenigen dieser Untersuchung.

In der Studie von Cohlmiä et al. wurden Patienten (im Alter von 9 Jahren und vier Monaten bis zu 42 Jahren und 6 Monaten) mit verschiedenartigen Malokklusionen vor kieferorthopädischer Behandlung mittels Tomographie und Schädelseitenaufnahmen untersucht. Ähnlich wie in der vorliegenden Untersuchung war in der Gruppe mit insuffizientem sagittalen Überbiss ($\text{Overjet} < 1\text{mm}$) eine geringere Fossatiefe zu verzeichnen (Cohlmiä et al., 1996). Dieses Ergebnis kann mit der aktuellen Untersuchung verglichen werden, da die Vermessung der Fossatiefe der Vermessung der Tuberkulumhöhe der aktuellen Untersuchung stark ähnelte und sich lediglich darin unterschied, dass die Fossa vom höchsten Punkt des Tuberkulums zu einer Tangente zum oberen Bildrand gemessen wurde.

Während bisher genannte Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen vertikalem Überbiss und Tuberkulumhöhe bzw. -inklination bestätigten, gab es Autoren wie Lindblom und Ingervall, die keinen direkten Zusammenhang feststellen konnten (Lindblom, 1960; Ingervall, 1972).

Zu einer zusätzlichen Verstärkung der Ergebnisse der aktuellen Untersuchung kommt es, wenn man deren Gegensätzlichkeit bei der Steilheit der Gelenkbahnneigung in der Gruppe mit anteriorem Kreuz-/ Kopfbiss und tiefem Biss betrachtet. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die untersuchten Malokklusionen als Gegenspieler in der Vertikalebene bezeichnet werden können.

Als Einschränkung der Studie kann die reduzierte Probandenzahl genannt werden. Dazu führten strenge Auswahlkriterien. Aufgestellt wurden diese, um möglichst naturgetreue Okklusionsverhältnisse und eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu gewährleisten, in denen vornehmlich jüngere Probanden mit zum Großteil naturbelassenen Kauflächen untersucht wurden.

Eine mögliche Erklärung für die geringeren statistischen Zusammenhänge bei den tiefen Bissen mit Gingivakontakt ist in der aus nur neun Teilnehmern bestehenden Gruppe zu sehen. Dem gegenüber stehen die tiefen Bisse ohne Gingivakontakt mit 20 Teilnehmern.

Unterschiede bei den Ergebnissen im Rechtslinksvergleich können durch häufig an der Schädelbasis auftretende Asymmetrien (Pullinger et al., 1985; Vig und Hewitt, 1975) und das Bevorzugen einer Kauseite (Larheim, 1981) erklärt werden. Cohlmiä et al. hatten in diesem Zusammenhang angemerkt, dass Asymmetrien, wie sie in der anterior-posterioren Position der rechten und linken Kondylen vorkommen, möglicherweise auch auf andere Kiefergelenkskomponenten zu übertragen sind (Cohlmiä et al., 1996). Darüber hinaus sind das rechte und linke Kiefergelenk nicht als unabhängig voneinander, sondern eher als eine Einheit anzusehen, welche im Zusammenspiel mit Zähnen und Kaumuskulatur funktioniert (Tanaka et al., 2004).

Von Bedeutung können die Ergebnisse dieser Studie sein, wenn es um die prothetische Rehabilitation der Frontzähne bzw. deren kieferorthopädische Ausrichtung geht. Das Rekonstruieren der anterioren Führung muss in Abstimmung zur Kiefergelenksmorphologie erfolgen, um eine harmonische Funktion des gesamten stomatognathen Systems zu gewährleisten.

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Zusammenhang zwischen anteriorem Kopfbiss, anteriorem Kreuzbiss, tiefem Biss und der Kiefergelenksmorphologie in der Vertikalebene mit Hilfe der Magnetresonanztomographie (MRT) zu überprüfen.

Eine Gruppe von 148 Teilnehmern (90 Frauen, 58 Männer) der bevölkerungsrepräsentativen Studie „Leben und Gesundheit in Vorpommern“ (Study of Health in Pomerania - SHIP) wurde für diese Untersuchung zugelassen.

Jeder Teilnehmer wurde dabei einer klinischen kieferorthopädischen Untersuchung nach zuvor festgelegtem Verfahren unterzogen. Die Magnetresonanztomogramme wurden mit Hilfe von vier linearen Messungen und einer Verhältnisvariable untersucht. Als statistische Methode wurde die lineare Regression angewandt, um den Einfluss von anteriorem Kopfbiss, anteriorem Kreuzbiss und tiefem Biss auf die Kiefergelenksmorphologie zu bestimmen. Die Analysen waren dabei nach Geschlecht, Alter, Schulbildung und vorangegangener kieferorthopädischer Behandlung adjustiert.

Bei frontalem Kopf-/ Kreuzbiss war die Verringerung der Tuberkulumhöhe (eh) auf beiden Gelenkseiten statistisch signifikant ($p < 0,01$), die Gelenkfortsatzhöhe (pgph) war lediglich in den rechten Kiefergelenken signifikant erhöht ($p = 0,018$).

Bei den tiefen Bissen ohne Gingivakontakt war die Gelenkfortsatzhöhe (pgph) signifikant in den linken Kiefergelenken reduziert ($p = 0,018$), in den rechten Kiefergelenken bestand eine Tendenz dazu ($p = 0,059$). Das Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph) wiederum war sowohl im linken ($p < 0,001$) als auch im rechten ($p = 0,002$) Kiefergelenk signifikant erhöht.

Als Schlussfolgerung konnte ein Zusammenhang zwischen frontalem Kopf-/ Kreuzbiss und einer verringerten Tuberkulumhöhe (eh) sowie zwischen tiefem Biss ohne Gingivakontakt und einem reduzierten Verhältnis von Tuberkulum- zu Gelenkfortsatzhöhe (eh/pgph) festgestellt werden. Die Gelenkbahnneigung der frontalen Kopf-/ Kreuzbisse kann dementsprechend als abgeflacht und bei tiefem Biss ohne Gingivakontakt als steiler interpretiert werden.

Literatur

- Angel, J.L., 1948. Factors in temporomandibular joint form. *Am J Anat.* 83, 223-246.
- Angle, E. H., 1899. Classification of Malocclusion. *Dental Cosmos* 41, 248-264.
- Ari-Demirkaya, A., Biren, S., Ozkan, H., Kucukkeles, N., 2004. Comparison of deep bite and open bite cases: normative data for condylar positions, paths and radiographic appearances. *J Oral Rehabil.* 31, 213-224.
- Bernhardt, O., Biffar, R., Kocher, T., Meyer, G., 2007. Prevalence and clinical signs of degenerative temporomandibular joint changes validated by magnetic resonance imaging in a non-patient group. *Ann Anat.* 189, 342-346.
- Boering, G., 1979. Anatomical and physiological considerations regarding the temporomandibular joint. *Int Dent J.* 29, 245-251.
- Bumann A., Lotzmann U., 2000. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. In: Rateitschak, K.H., Wolf, H.F. (Hrsg), *Farbatlant der Zahnmedizin Bd. 12*, Thieme-Verlag, Stuttgart.
- Cohlma, J.T., Ghosh, J., Sinha, P.K., Nanda, R.S., Currier, G.F., 1996. Tomographic assessment of temporomandibular joints in patients with malocclusion. *Angle Orthod.* 66, 27-35.
- Darendeliler, N., Dincer, M., Soylu, R., 2004. The biomechanical relationship between incisor and condylar guidances in deep bite and normal cases. *J Oral Rehabil.* 31, 430-437.
- Dessem, D., Druzinsky, R.E., 1992. Jaw-muscle activity in ferrets, *Mustela putorius furo*. *J Morphol.* 213, 275-286.
- Egermark, I., Magnusson, T., Carlsson, G.E., 2003. A 20-year follow-up of signs and symptoms of temporomandibular disorders and malocclusions in subjects with and without orthodontic treatment in childhood. *Angle Orthod.* 73, 109-115.
- Gesch, D., Bernhardt, O., Alte, D., Kocher, T., John, U., Hensel, E., 2004. Malocclusions and clinical signs or subjective symptoms of temporomandibular disorders (TMD) in adults. Results of the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP). *J Orofac Orthop.* 65, 88-103.

- Gianelly, A.A., Ruben, M.P., Risinger, R., 1970. Effect of experimentally altered occlusal vertical dimension on temporomandibular articulation. *J Prosthet Dent.* 24, 629-635.
- Granados, J.I., 1979. The influence of the loss of teeth and attrition on the articular eminence. *J Prosthet Dent.* 42, 78-85.
- Hensel, E., Gesch, D., Biffar, R., Bernhardt, O., Kocher, T., Splieth, C., Born, G., John, U., 2003. Study of Health in Pomerania (SHIP): a health survey in an East German region. Objectives and design of the oral health section. *Quintessence Int.* 34, 370-378.
- Hinton, R.J., 1981. Changes in articular eminence morphology with dental function. *Am J Phys Anthropol.* 54, 439-455.
- Ingervall, B., 1972. Range of sagittal movement of the mandibular condyles and inclination of the condyle path in children and adults. *Acta Odontol Scand.* 30, 67-87.
- Isberg, A., Westesson, P.L., 1998. Steepness of articular eminence and movement of the condyle and disk in asymptomatic temporomandibular joints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 86,152-157
- John, U., Greiner, B., Hensel, E., Ludemann, J., Piek, M., Sauer, S., 2001. Study of Health In Pomerania (SHIP): a health examination survey in an east German region: objectives and design. *Soz Praventivmed.* 46, 186-194.
- Katsavrias, E.G., 2002. Changes in articular eminence inclination during the craniofacial growth period. *Angle Orthod.* 72(3), 258-64.
- Katsavrias, E.G., 2006. Morphology of the temporomandibular joint in subjects with Class II Division 2 malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 129, 470-478.
- Katsavrias, E.G., Dibbets, J.M., 2002. The postglenoid tubercle: prevalence and growth. *Ann Anat.* 184, 185-188.
- Koak, J.Y., Kim, K.N., Heo, S.J., 2000. A study on the mandibular movement of anterior openbite patients. *J Oral Rehabil.* 27(9), 817-22.

- Kobs, G., Bernhardt, O., Kocher, T., Meyer, G., 2005. Critical assessment of temporomandibular joint clicking in diagnosing anterior disc displacement. *Stomatologija*. 7, 28-30.
- Larheim, T.A., 1981. Temporomandibular joint space in children without joint disease. *Acta Radiol Diagn (Stockh)*. 22, 85-88.
- Liedberg, J., Panmekiate, S., Petersson, A., Rohlin, M., 1996. Evidence-based evaluation of three imaging methods for the temporomandibular disc. *Dentomaxillofac Radiol*. 25(5), 234-41.
- Lindblom, G., 1960. On the anatomy and function of the temporomandibular joint. *Acta Odontol Scand*. 17.
- Madsen, B., 1966. Normal variations in anatomy, condylar movements, and arthrosis frequency of the temporomandibular joints. *Acta Radiol Diagn (Stockh)*. 4, 273-88.
- Matsumoto M.A., Bolognese A.M., 1994. Radiographic morphology of the temporomandibular joint related to occlusal characteristics. *Braz Dent J*. 5(2), 115-20.
- Motoyoshi, M., Inoue, K., Kiuchi, K., Ohya, M., Nakajima, A., Aramoto, T., 1993. Relationships of condylar path angle with malocclusion and temporomandibular joint disturbances. *J Nihon Univ Sch Dent*. 35, 43-48.
- O'Ryan, F., Epker, B.N., 1984. Temporomandibular joint function and morphology: observations on the spectra of normalcy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 58, 272-279.
- Petersson, A., 2010. What you can and cannot see in TMJ imaging - an overview related to the RDC/TMD diagnostic system. *J Oral Rehabil*. 37(10), 771-8.
- Pullinger, A.G., Hollender, L., Solberg, W.K., Petersson, A., 1985. A tomographic study of mandibular condyle position in an asymptomatic population. *J Prosthet Dent*. 53, 706-713.
- Pullinger, A.G., Seligman, D.A., 2001. Multifactorial analysis of differences in temporomandibular joint hard tissue anatomic relationships between disk

- displacement with and without reduction in women. *J Prosthet Dent.* 86, 407-419.
- Ricketts, R.M., 1950. Variations of the temporomandibular joint as revealed by cephalometric laminagraphy. *Am J Orthod.* 36, 877-898.
- Riesner, S., 1938. Temporomandibular reactions to occlusal anomalies. *J Am Dent Assoc.* 25, 1938-1953.
- Seligman, D.A., Pullinger, A.G., 2000. Analysis of occlusal variables, dental attrition, and age for distinguishing healthy controls from female patients with intracapsular temporomandibular disorders. *J Prosthet Dent.* 83, 76-82.
- Seward, F.S., 1976. Tooth attrition and the temporomandibular joint. *Angle Orthod.* 46, 162-170.
- Solberg, W.K, Bibb, C.A., Nordstrom, B.B., Hansson, T.L., 1986, Malocclusion associated with temporomandibular joint changes in young adults at autopsy. *Am J Orthod.* 89, 326-330.
- Tanaka, T., Morimoto, Y., Tanaka, Y., Kobayashi, S., Okumura, Y., Kito, S., 2004. Radiographic examination of the mandibular (glenoid) fossa in ancient and modern man. *Oral Dis.* 10, 369-377.
- Tanne, K., Tanaka, E., Sakuda, M., 1995. Stress distributions in the TMJ during clenching in patients with vertical discrepancies of the craniofacial complex. *J Orofac Pain.* 9, 153-160.
- Turp, J.C., Greene, C.S., Strub, J.R., 2008. Dental occlusion: a critical reflection on past, present and future concepts. *J Oral Rehabil.* 35, 446-453.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Marukawa, K., Takatsuka, S., Yamamoto, E., 2005. The relationship between temporomandibular joint disc morphology and stress angulation in skeletal Class III patients. *Eur J Orthod.* 27, 501-506.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Takatsuka, S., Yamamoto, E., Laskin, D.M., 2008. Comparison of the stress direction on the TMJ in patients with class I, II, and III skeletal relationships. *Orthod Craniofac Res.* 11, 43-50.

- Vig, P.S., Hewitt, A.B., 1975. Asymmetry of the human facial skeleton. *Angle Orthod.* 45, 125-129.
- Westesson, P.L., Paesani, D., 1993. MR imaging of the TMJ. Decreased signal from the retrodiskal tissue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 76(5), 631-5.
- Wish-Baratz, S., Hershkovitz, I., Arensburg, B., Latimer, B., Jellema, L.M., 1996. Size and location of the human temporomandibular joint. *Am J Phys Anthropol.* 101, 387-400.
- Wohlberg, V., Schwahn, C., Gesch, D., Meyer, G., Kocher, T., Bernhardt, O. The association between anterior crossbite, deep bite and temporomandibular joint morphology validated by magnetic resonance imaging in an adult non-patient group, *Ann Anant*, 2011 Epub ahead of print.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Datum

Unterschrift

Lebenslauf

NAME

Verena Wohlberg

ADRESSE

Dobruiner Str. 1

27383 Scheeßel

PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum: 26.08.1980

Geburtsort: Hamburg

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: ledig

AUSBILDUNG

1986 - 1990 Grundschule Scheeßel

1990 - 1999 Gymnasium Eichenschule Scheeßel, Abitur

1999 - 2003 Universität Hamburg (Beginn Zahnmedizinstudium, Physikum)

2003 – 2005 Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald (Klinischer Abschnitt),
Staatsexamen am 28.10.2005

22.11.2005 Approbation als Zahnärztin

WEITERBILDUNG

11/2005 - 01/2007 Allgemeinzahnärztliches Jahr in der väterlichen Zahnarztpraxis,
Dr. Hajo Wohlberg, Scheeßel

01/2007 - 10/2007 Weiterbildungsassistentin in der kieferorthopädischen
Gemeinschaftspraxis,
Dr. Andreas Schumann, Dr. Bergild Mohr, Essen

11/2007 -10/2008 Weiterbildungsassistentin in der Poliklinik für Kieferorthopädie,
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
Professor Dr. Dr. Heinrich Wehrbein

11/2008 -10/2010	Weiterbildungsassistentin in der kieferorthopädischen Praxis, Dr. Rolf D. Schuh, Bremen
10/2010	Erwerb der Gebietsbezeichnung Fachzahnärztin für Kieferorthopädie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Professor Dr. Dr. Heinrich Wehrbein
10/2010-12/2010	Entlastungsassistentin in der kieferorthopädischen Praxis, Dr. Rolf D. Schuh, Bremen
Seit 01/2011	Niederlassung als Fachzahnärztin für Kieferorthopädie, in Gemeinschaftspraxis mit Dr. Hajo Wohlberg, Scheeßel

Datum

Unterschrift

Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Olaf Bernhardt, danke ich herzlich für die Überlassung des Themas dieser Dissertation bzw. die freundliche Weiterführung der Betreuung sowie für seine geduldige wie auch wertvolle Unterstützung und seinen fachlichen Rat.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. Christian Schwahn für die Unterstützung durch fachliche Kompetenz, seine Unermüdlichkeit und nette Betreuung bei der Erarbeitung der Statistik.

Ich danke meinen Eltern und dem Rest meiner Familie sehr für ihren jahrelangen Rückhalt, dass sie meinen beruflichen Werdegang möglich gemacht haben und mich immer wieder motiviert haben.

Ein ganz besonderer Dank richtet sich an meinen großen Bruder und Kollegen Matthias, der mir stets eine große Hilfe beim Verfassen englischer Texte war. Auch seine konstruktive Kritik hat sich positiv auf den Fortgang der Arbeit ausgewirkt.

Ich danke meinen Freunden, Kollegen und Mitarbeitern, die viel Verständnis für die knappe gemeinsame Zeit in den vergangenen Jahren hatten und mich auch in angespannter und gestresster Laune ertrugen.

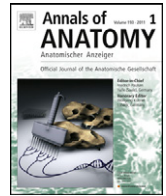
Meinem lieben Julian danke ich dafür, dass er immer für mich da ist und für seine Unterstützung in allen Lebenslagen, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.



Contents lists available at ScienceDirect

Annals of Anatomy

journal homepage: www.elsevier.de/aaanat



The association between anterior crossbite, deep bite and temporomandibular joint morphology validated by magnetic resonance imaging in an adult non-patient group

V. Wohlberg^a, C. Schwahn^b, D. Gesch^c, G. Meyer^a, T. Kocher^d, O. Bernhardt^{a,*}

^a Department of Restorative Dentistry, Periodontology and Endodontology, Center of Oral Health, University of Greifswald, W. Rathenastr. 42a, D-17475 Greifswald, Germany

^b Statistical Department, Center of Oral Health, University of Greifswald, W. Rathenastr. 42a, D-17475 Greifswald, Germany

^c Department of Orthodontics, Faculty of Dental Medicine, Witten/Herdecke University, Alfred-Herrhausen-Str. 50, D-58448 Witten, Germany

^d Unit of Periodontology, Department of Restorative Dentistry, Periodontology and Endodontology, Center of Oral Health, University of Greifswald, W. Rathenastr. 42a, D-17475 Greifswald, Germany

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 February 2011

Received in revised form 15 April 2011

Accepted 21 April 2011

Keywords:

Magnetic resonance imaging

Malocclusions

Temporomandibular joint

SUMMARY

The aim of this study was to determine whether associations exist between anterior edge-to-edge bite, anterior crossbite, deep bite and morphology of the temporomandibular joint (TMJ) in the vertical dimension, evaluated by magnetic resonance imaging (MRI) in adults.

A total of 148 subjects (90 females, 58 males) were selected from the cross-sectional epidemiological population-based study "Study of Health in Pomerania" (SHIP) for this evaluation. In each person a clinical orthodontical examination was performed. Four linear measurements and one ratio from MRI scans of the TMJs were evaluated. To estimate the effects of anterior edge-to-edge bite, anterior crossbite and deep bite on TMJ variables, linear regression was applied. (Analyses were adjusted for sex, age, school education, and orthodontic treatment.)

Anterior edge-to-edge-bite/crossbite had shorter mean eminence heights (eh) on both joint sides ($p < 0.01$). In deep bite without gingival contact the postglenoid process height (pgph) decreased significantly in left joints ($p = 0.018$) and there was a tendency to a decrease in right joints ($p = 0.059$). The ratio between eminence height and postglenoid process height (eh/pgph) was increased on both left ($p < 0.001$) and right ($p = 0.002$) joints.

In conclusion, anterior edge-to-edge-bite/crossbite is connected to a reduced eminence height and deep bite without gingival contact with an increased ratio between eminence height and postglenoid process height. Therefore the condylar path in the anterior edge-to-edge bite and crossbite cases can be interpreted to be reduced and in the deep bite cases without gingival contact to be steepened.

© 2011 Elsevier GmbH. All rights reserved.

1. Introduction

Temporomandibular joint (TMJ) morphology under various occlusal conditions such as tooth loss (Granados, 1979; Wish-Baratz et al., 1996), occlusal discrepancies or disharmonies (Gianelly et al., 1970), excessive oral function or dental abrasion (Hinton, 1981; Seward, 1976) has been investigated frequently. There are also a number of reports examining associations between malocclusion or facial morphology and temporomandibular disorders (TMD) (Egermark et al., 2003; Gesch et al., 2004; Seligman and Pullinger, 2000). There are only a few studies (Ari-Demirkaya et al., 2004) exploring a possible association between malocclusions and TMJ morphology, however.

Earlier researchers have been engaged in defining anatomical and functional standards for the mandibular joint area. Ricketts and Madsen interpreted cephalometric data of tomographies and transcranial eccentric skull radiographs in Schüller's projection (Madsen, 1966). A great range of variation was found in practically every TMJ component (Ricketts, 1950).

In recent decades, changes in the morphology of the TMJ have been more commonly seen as an adaptation in terms of a variation from normality instead of a pathologic process (O'Ryan and Epker, 1984). Nowadays it is generally accepted that morphological and functional variation of the masticatory system is a physiological principle rather than a sign of dysfunction or disease.

Components of the TMJ such as articular eminence and postglenoid tubercle develop mostly postnatally. Their growth continues until adolescence (Katsavrias, 2002; Katsavrias and Dibbets, 2002). Throughout adulthood, nonpathological articular remodel-

* Corresponding author. Tel.: +49 3834 867123; fax: +49 3834 867171.
E-mail address: obernhar@uni-greifswald.de (O. Bernhardt).

ing of joint contours may take place, which might be mediated by dental function (Hinton, 1981). Relatively little is known however whether dental and occlusal factors contribute to joint form variations. In a study on lateral cephalometric radiographs, Darendeliler et al. (2004) found a biomechanical relationship between condylar and anterior guidance in young adults (aged 16–23 years) with deep bite. Koak et al. (2000) suggested a relationship between condylar inclination and anterior open bite based on their study of patients aged between 18 and 34 years.

The aim of this study has been to determine whether associations exist between malocclusions of the front teeth affecting the anterior guidance and the morphological variability of the TMJ in an adult non-patient group.

2. Materials and methods

2.1. Sample structure

This study is part of a larger epidemiologic Study of Health in Pomerania (SHIP-0) that was carried out from October 1997 to May 2001 in Western Pomerania, northeast Germany. A total of 6267 men and women aged between 20 and 79 years, were stratified according to age and gender and invited to participate in the study. They were drawn at random from official resident data files in numbers proportional to the population of each place. The response rate of the study was 68.8%. All participants gave informed written consent. The study was approved by the local ethics committee.

Data collection and items comprised four parts: oral health examination (incl. orthodontical examination), medical examination, health-related interview, and a health- and risk-factor-related questionnaire (Hensel et al., 2003). For further details of the design of the entire study as well as of its dental section, and for intra- and inter-examiner agreement, see John et al. (2001) and Hensel et al. (2003).

Stratified to 5-year age groups, every second participant from 20 to 49 years was invited for further examinations. Out of these 1056 subjects, 586 agreed to participate in further clinical examinations. Of these, 307 subjects (140 males, 167 females) underwent a magnetic resonance imaging (MRI) examination of the TMJ (Bernhardt et al., 2007; Kobs et al., 2005).

In order to verify natural occlusal relationships, 154 subjects (94 females, 60 males, mean 39.1 years, standard deviation 6.9) were selected for the present analysis according to the following criteria: only sets of teeth were admitted with the existence and integrity of a minimum of one premolar and one molar on each of the subjects' sides. Completely decayed teeth were excluded as well as teeth with fillings that extended over more than two thirds of the occlusal surface or exceeded the distance between the buccal and lingual cusp peaks and complete crowns. After exclusion of six subjects with missing values, 90 females and 58 males remained for the final analyses.

2.2. Malocclusion variables

In the clinical orthodontical examination anterior edge-to-edge bite, anterior crossbite and deep bite were recorded in the closed mouth position when the teeth were in maximum intercuspatation.

The definition criteria were as follows:

Anterior edge-to-edge bite was registered when opposing anterior teeth met along their incisal edges. Anterior crossbite described an occlusal relationship in which one or more of the mandibular incisors were located facial to the opposing maxillary teeth.

Deep bite without gingival contact was characterised as the vertical overlap of the incisal edges of the maxillary incisors up to or

into the cervical third of the mandibular incisors. Maxillary and mandibular incisors were dentally supported whereas in deep bite with gingival contact dental support was totally or partially missing so that one or more teeth of the mandibular incisors were in contact with the palatal gingiva of the maxillary incisors and/or the maxillary incisors touched the buccal gingiva of the mandibular incisors.

Due to the number of subjects anterior edge-to-edge-bite and anterior crossbite were combined as tooth relationships having "edge-to-edge" or greater discrepancies which were called anterior edge-to-edge-bite/crossbite group. Their overjet can be described as insufficient similar to other studies (Cohlmiä et al., 1996).

2.3. MRI assessment

MRI was performed with a 1.0T scanner (Magnetom Impact Expert, Siemens, Germany) using a bilateral TMJ surface coil. Each of the subjects was placed in the gantry of the magnet in a standard supine position so that the head was placed with the Frankfurt plane parallel to the opening and perpendicular to the long axis of the magnet. The position of the head was then maintained by a head positioner (Isberg and Westesson, 1998).

The images were performed with the following Spin-Echo-Sequent parameters:

- axial (Scout image) – T1-weighted images, TR (Repetition Time) = 140 ms, TE (Echo Time) = 15 ms;
- sagittal – T1-weighted images. Nine images with 3 mm thick slices; TR = 448 ms, TE = 15 ms;
- coronal – T1-weighted images, TR = 450 ms, TE = 15 ms.

Three (lateral, central and medial), 3 mm orthogonal sagittal images of the TMJ were obtained with the jaw in the maximal intercuspal position (MIP) and then at maximal jaw opening. The open mouth position was achieved with an individually prepared silicon block.

2.4. TMJ variables

To describe joint morphology, MRI scans were evaluated with four linear measurements and one ratio selected from the method by Pullinger and Seligman (2001). These were variables describing vertical dimensions of the osseous TMJ, i.e. the sizes of mandibular fossa, postglenoid process and eminence.

The MRI-scans were processed with Java program ImageJ (Collins, 2007). Sagittal MRI central sections of the TMJ were selected for measurement in the closed position whereas the central section was determined as the section where the greatest portion of the mandibular ramus could be recognized.

A parallel line to the Frankfurt plane and a tangent drawn between the most inferior points of the eminence and postglenoid tubercle were used as reference lines (see Fig. 1).

The measurements were defined as follows (see Fig. 1):

- Eminence height (eh) was the distance between eminence crest and a line drawn as horizontal tangent to the highest point of the fossa.
- Postglenoid process height (pgph) was the distance between the deepest point of the postglenoid process and a line drawn as horizontal tangent to the highest point of the fossa.
- Fossa depth (fd) was the distance between highest point of the fossa and a point at which a connecting line met fossa width tangent at right angle.

Table 1
 Baseline characteristics in exposure groups.

	Anterior edge-to-edge bite/crossbite		Deep bite		
	No	Yes	No	Without gingival contact	With gingival contact
N	132	16	119	20	9
Females	80 (60.6)	10 (62.5)	75 (63.0)	10 (50.0)	5 (55.6)
Age (years)	31.8 ± 7.0	31.3 ± 5.3	31.6 ± 6.8	31.9 ± 6.5	33.8 ± 8.2
Years of education					
<10 years	5 (3.8)	0 (0.0)	4 (3.4)	0 (0.0)	1 (11.1)
10 years	91 (68.9)	15 (93.8)	82 (68.9)	18 (90.0)	6 (66.7)
>10 years	36 (27.3)	1 (6.2)	33 (27.7)	2 (10.0)	2 (22.2)
Household income (DM)	1138.5 ± 620.2	1267.7 ± 759.7	1162.9 ± 646.7	1175.3 ± 628.8	964.6 ± 169.7
Orthodontic treatment	42 (31.8)	10 (62.5)*	43 (36.1)	8 (40.0)	1 (11.1)
Mesial occlusion	7 (5.3)	3 (18.8)	10 (8.4)	0 (0.0)	0 (0.0)

Values are mean ± standard deviation or number (column percentage).

* $p < 0.05$.

- The distance between eminence crest and the highest point of the fossa was recorded (ec–fd).
- The eminence height/postglenoid process height (eh/pgph) ratio (determined through transformations) indicated the relative eminence size (larger number = larger relative eminence height).

All measurements were performed by two trained and calibrated examiners. Three sessions of calibration were performed using 20 MRI images, right and left joints of 10 subjects. Finally the correlation varied from 90.9% ($p < 0.0005$) at eminence height to 96.7% ($p < 0.0005$) at postglenoid-process height.

2.5. Statistical procedures

Data on quantitative characteristics are expressed as mean and standard deviation. Data on qualitative characteristics are expressed as percent values or absolute numbers as indicated. Linear regression analyses were performed to estimate the relationship between TMJ variables and orthodontic exposures. We used the criterion of the change in the coefficient of interest to adjust for possibly confounding effects. Potential confounders (sex, age, school education, household income, orthodontic treatment, mesial occlusion, anterior or lateral crossbite or edge-to-edge bite) were selected. A substantial change was considered present if inclusion in the model led to $\geq 10\%$ change in the coefficient of the exposure. A value of $p < 0.05$ was considered statistically significant. Analyses were conducted with SPSS software for Windows, version 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA).

3. Results

The baseline characteristics across exposure groups are given in Table 1. For the anterior edge-to-edge-bite/crossbite group mean values and standard deviations are shown in Table 2. Coefficients and standard errors adjusted for possibly relevant confounders

using linear regression analyses are presented in Table 3. Significant associations were as follows. Anterior edge-to-edge-bite/crossbite had shorter mean eminence heights (eh) on both joint sides (final model [adjusted for lateral crossbite or edge-to-edge bite, orthodontic treatment, sex, age, school education, and household income]: left: $p < 0.001$; right: $p = 0.007$), the postglenoid process height (pgph) was higher in right joints ($p = 0.018$) solely. Further joint variables were analyzed but showed no statistical significance to anterior edge-to-edge-bite/crossbite. These were the fossa depth (fd) and the distance between eminence crest and highest point of fossa (ec–fd).

For the deep bite without and with gingival contact mean values and standard deviations are shown in Table 4, coefficients, standard errors and significant values in Table 5. At deep bite without gingival contact the postglenoid process height (pgph) decreased significantly in left joints (final model [adjusted for orthodontic treatment, sex, age, school education, and household income]: $p = 0.018$ for the level “without gingival contact” compared with “no gingival contact”; $p = 0.048$ for the factor deep bite on three levels) and there was a tendency for a decreased postglenoid process height (pgph) in right joints ($p = 0.059$ and $p = 0.098$, respectively). The ratio between eminence height and postglenoid process height (eh/pgph) was increased on both left ($p < 0.001$ for the level “without gingival contact”; $p < 0.001$ for the factor “deep bite”) and right ($p = 0.002$ and $p = 0.008$, respectively) joints. Neither statistical associations nor effects similar to those for the level “without gingival contact” were found for the ratio between eminence height and postglenoid process height in deep bites with gingival contact.

Other analyzed joint variables that were suspected to be associated with deep bite were the eminence height (eh), the fossa depth (fd) and the distance between eminence crest and highest point of fossa (ec–fd). No statistical associations were found between these TMJ morphology variables and deep bite.

Table 2
 Mean and standard deviation of TMJ variables across groups with respect to edge-to-edge bite or crossbite, measurements in cm.

	Left		Right	
	Anterior edge-to-edge bite/crossbite		Anterior edge-to-edge bite/crossbite	
	No (n = 132)	Yes (n = 16)	No (n = 132)	Yes (n = 16)
eh	0.66 ± 0.15	0.49 ± 0.22	0.67 ± 0.16	0.54 ± 0.25
pgph	0.67 ± 0.15	0.54 ± 0.25	0.63 ± 0.21	0.77 ± 0.26
fd	0.63 ± 0.14	0.61 ± 0.14	0.66 ± 0.13	0.68 ± 0.17
ec–fd	1.14 ± 0.17	1.08 ± 0.22	1.17 ± 0.18	1.13 ± 0.23
eh/pgph	1.40 ± 1.32	0.79 ± 0.45	1.25 ± 1.16	0.73 ± 0.45

Abbreviations: eh, eminence height; pgph, postglenoid process height; fd, fossa depth; ec–fd, distance between eminence crest and highest point of fossa; eh/pgph, eminence height/postglenoid process height ratio.

Table 3
 Relationships between TMJ variables and edge-to-edge bite or crossbite; linear regression with TMJ as dependent variable; coefficient and standard error (SE) of exposure (edge-to-edge bite or crossbite) are given.

Model	Coeff. (SE)	
	Left	Right
<i>eh</i>		
	Anterior	Anterior
1	-0.17 (0.04) [‡]	-0.12 (0.05) [‡]
2	-0.17 (0.04) [‡]	-0.13 (0.05) [*]
3	-0.17 (0.04) [‡]	-0.13 (0.05) [*]
4	-0.19 (0.04) [‡]	-0.14 (0.05) [‡]
5	-0.18 (0.04) [‡]	-0.14 (0.05) [‡]
6	-0.19 (0.05) [‡]	-0.14 (0.05) [‡]
	<i>n</i> = 148	<i>n</i> = 147
<i>pgph</i>		
1	0.10 (0.06)	0.14 (0.06) [*]
2	0.11 (0.06)	0.12 (0.06) [*]
3	0.11 (0.06)	0.12 (0.06) 0.058
4	0.10 (0.07)	0.12 (0.06) 0.057
5	0.10 (0.07)	0.12 (0.06) [*]
6	0.10 (0.07)	0.15 (0.06) [*]
	<i>n</i> = 148	<i>n</i> = 148
<i>eh/pgph</i>		
1	-0.61 (0.33)	-0.52 (0.29)
2	-0.69 (0.35)	-0.43 (0.31)
3	-0.66 (0.35)	-0.41 (0.31)
4	-0.62 (0.36)	-0.42 (0.32)
5	-0.63 (0.36)	-0.43 (0.32)
6	-0.72 (0.37)	-0.48 (0.32)
	<i>n</i> = 148	<i>n</i> = 147

Abbreviations: eh, eminence height; pgph, postglenoid process height; eh/pgph, eminence height/postglenoid process height ratio.

- Model 1 anterior: unadjusted.
- Model 2 anterior: adjusted for anterior crossbite and/or anterior edge-to-edge bite.
- Model 3 anterior: adjusted for mesial occlusion.
- Model 4 anterior: adjusted for orthodontic treatment.
- Model 5 anterior: adjusted for sex and age.
- Model 6 anterior: adjusted for school education and household income.
- Model 1 lateral: unadjusted.
- Model 2 lateral: adjusted for lateral crossbite and/or anterior edge-to-edge bite.
- Model 3 lateral: adjusted for mesial occlusion.
- Model 4 lateral: adjusted for orthodontic treatment.
- Model 5 lateral: adjusted for sex and age.
- Model 6 lateral: adjusted for school education and household income.

* *p* < 0.05.
 † *p* < 0.01.
 ‡ *p* < 0.001.

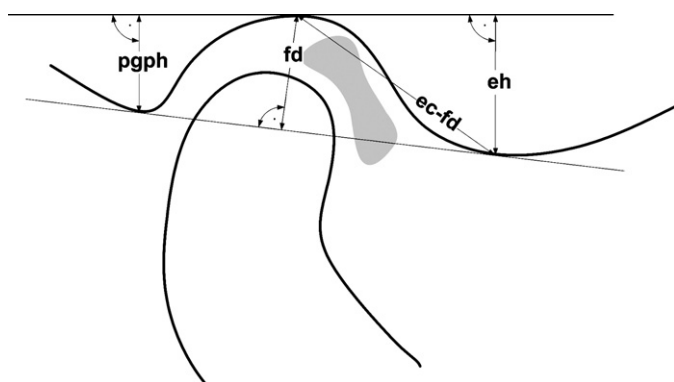


Fig. 1. Temporomandibular joint measurements; eh, eminence height; pgph, postglenoid process height; fd, fossa depth; ec-fd, distance between eminence crest and highest point of fossa.

4. Discussion

Exploring the influence of different types of malocclusion on the morphology of the TMJ anatomy was the purpose of this study. It shall help to improve the understanding of the susceptibility of the TMJ to adaptations. The adaptive potentials of many components of the masticatory system and especially the TMJ regarding occlusal variability seem to be underestimated (Turp et al., 2008).

Looking at the results of a study though, one should always be aware of inverse causalities of TMJ morphology leading to changes in the occlusal relationships. Occlusal imperfections can rather be the consequence than the cause of temporomandibular joint anatomy variations.

Further investigations have shown that the morphology of the TMJ undergoes lifelong remodeling (Hinton, 1981). The functional stimuli responsible for such changes are still unclear and may vary largely. It is a long-held belief that form and function are closely linked. This means that the morphology of TMJ depends, to an extent, on the loads acting on it. Temporomandibular joint loading in subjects with specific malocclusion differs from those having other dentofacial morphologies (O’Ryan and Epker, 1984; Tanne et al., 1995) as well as mechanical stress falling on the TMJ during oral function (Ueki et al., 2005). The statement that TMJ components are differently shaped in people with various malocclusions (Ueki et al., 2008) can be supported by the results of this study.

As relationships were found between anterior edge-to-edge-bite/crossbite and a reduced eminence height on the one hand and between deep bite without gingival contact with an increased ratio between eminence height and postglenoid process height on the other hand, the condylar path of the anterior edge-to-edge and crossbite cases can be interpreted as reduced and that of the deep bite without gingival contact as steepened.

Of the TMJ structures investigated in this study and found to be statistically related to anterior edge-to-edge bite/crossbite and deep bite, the articular eminence gained much more attention in previous analyses than the postglenoid process. Although the functional significance of the postglenoid process is not yet clear, authors supposed that it affects TMJ physiology (Dessem and Druzinsky, 1992; Katsavrias and Dibbets, 2002).

The vast majority of studies investigate the articular eminence angle or its curvature which is commonly called the condylar path (Ricketts, 1950) in dental terminology. Moreover, the articular eminence height was found to be highly correlated with its inclination. This relationship is almost linear. In general it can be said that the curvature and the height of the articular eminence may vary greatly (Katsavrias, 2006).

According to Angel (1948) and Boering (1979), a relatively flattened eminence can be found in individuals with an edge-to-edge bite or with a small overbite. Both are in accordance with the findings of this report. Also the proposal that more pronounced articular eminences should be detected in deep bite (Boering, 1979; Riesner, 1938) whereas normal overbite-overjet would show shallower eminence slopes can be interpreted as consistent with the present study. Motoyoshi et al. (1993) observed a tendency for the condylar path angle to decrease as the amount of overbite became smaller. In the autopsy study by Solberg et al. (1986) deep overbite was more common in young adults with anterior extension of the temporal articular surfaces, flat condyles, and open mandibular fossae/less steep articular eminences (*p* < 0.05). The latter is contrary to the findings of the recent investigation. In the study by Cohlmiä et al. patients with various malocclusions (age range from 9 years 4 months to 42 years 6 months) were assessed before orthodontic treatment by tomography and lateral radiography. The insufficient overjet group (overjet < 1 mm) demonstrated smaller vertical height of the articular fossa (Cohlmiä et al., 1996). This result is in accordance with the present study because its measure-

Table 4
 Mean and standard deviation of TMJ variables across groups with respect to deep bite, measurements in cm.

	Left			Right		
	No deep bite	Deep bite without gingival contact	Deep bite with gingival contact	No deep bite	Deep bite without gingival contact	Deep bite with gingival contact
	(n = 119)	(n = 20)	(n = 9)	(n = 119)	(n = 20)	(n = 9)
eh	0.63 ± 0.17	0.69 ± 0.16	0.68 ± 0.16	0.65 ± 0.18	0.66 ± 0.14	0.69 ± 0.19
pgph	0.62 ± 0.23	0.51 ± 0.22	0.52 ± 0.12	0.66 ± 0.23	0.58 ± 0.19	0.55 ± 0.19
fd	0.63 ± 0.13	0.60 ± 0.18	0.60 ± 0.06	0.67 ± 0.14	0.63 ± 0.14	0.60 ± 0.12
ec–fd	1.15 ± 0.17	1.08 ± 0.20	1.11 ± 0.17	1.17 ± 0.18	1.14 ± 0.17	1.18 ± 0.23
eh/pgph	1.17 ± 0.55	2.34 ± 3.12	1.42 ± 0.54	1.08 ± 0.49	1.84 ± 2.81	1.39 ± 0.60

Abbreviations: eh, eminence height; pgph, postglenoid process height; fd, fossa depth; ec–fd, distance between eminence crest and highest point of fossa; eh/pgph, eminence height/postglenoid process height ratio.

Table 5
 Relationships between TMJ variables and deep bite; linear regression with TMJ as dependent variable; coefficient and standard error (SE) of exposure (deep bite) are given.

Model	Coeff. (SE)			
	Left		Right	
	Without gingival contact (n = 20)	With gingival contact (n = 9)	Without gingival contact (n = 20)	With gingival contact (n = 9)
<i>eh</i>				
1	0.06 (0.04)	0.05 (0.06)	0.01 (0.04)	0.05 (0.06)
2	0.06 (0.04)	0.06 (0.06)	0.01 (0.04)	0.06 (0.06)
3	0.06 (0.04)	0.07 (0.06)	0.01 (0.04)	0.07 (0.06)
4	0.07 (0.04)	0.07 (0.06)	0.02 (0.04)	0.05 (0.06)
<i>pgph</i>				
1	–0.11 (0.06)*	–0.10 (0.08)	–0.08 (0.05)	–0.11 (0.08)
2	–0.11 (0.06)*	–0.09 (0.08)	–0.08 (0.05)	–0.11 (0.08)
3	–0.12 (0.06)*	–0.10 (0.08)	–0.10 (0.05)	–0.11 (0.08)
4	–0.13 (0.06)*	–0.07 (0.08)	–0.10 (0.05)	–0.09 (0.07)
<i>eh/pgph</i>				
1	1.17 (0.30)‡	0.25 (0.42)	0.75 (0.27)†	0.31 (0.38)
2	1.17 (0.30)‡	0.19 (0.42)	0.75 (0.27)†	0.29 (0.38)
3	1.20 (0.30)‡	0.21 (0.43)	0.82 (0.27)†	0.34 (0.38)
4	1.22 (0.31)‡	0.13 (0.43)	0.85 (0.27)†	0.25 (0.38)

Abbreviations: eh, eminence height; pgph, postglenoid process height; eh/pgph, eminence height/postglenoid process height ratio.

Model 1 left/right: unadjusted.
 Model 2 left/right: adjusted for orthodontic treatment.
 Model 3 left/right: adjusted for sex and age.
 Model 4 left/right: adjusted for school education and household income.

* $p < 0.05$.
 † $p < 0.01$.
 ‡ $p < 0.001$.

ment is comparable to the measurement of the eminence height. They only differ in as much as the fossa was measured from a point at the most inferior aspect of the crest of the articular eminence to a tangent drawn to the most superior border of the radiographic film. While a number of reports demonstrated a relation between overbite and the height of the articular eminence or its inclination, respectively, some authors like Lindblom (1960) and Ingervall (1972), did not observe any direct association.

In this report the contrasting results for the steepness of the condylar path in the anterior edge-to-edge bite/crossbite and deep bite support one another. This is because these malocclusions can be regarded as counterparts in the vertical dimension.

Specific to the actual study was the formation of its subjects representing the regional adult population rather than a pool of patients.

A limitation was the reduction of the number of subjects. Strict exclusion criteria were established in order to warrant natural occlusal relationships to be comparable to other studies which generally included younger subjects whose occlusal surfaces were predominantly untouched. An explanation for less statistical associations in the results of “deep bite with gingival contact” is that

it was a small group which consisted of merely 9 subjects when compared to “deep bite without gingival contact” which consisted of 20 subjects.

Differences in the results of the right and left TMJ may be related to normally occurring cranial base asymmetries (Pullinger et al., 1985; Vig and Hewitt, 1975) and side preferences during mastication (Larheim, 1981). As Cohlmiä et al. (1996) found asymmetry in the anterior–posterior position of the right and left condyle they stated that this might be transferable to other joint components. The right and left TMJ must be seen as one unit instead of acting independently. They work in conjunction with the teeth and masticatory muscles (Tanaka et al., 2004).

Our findings are meaningful for prosthetic rehabilitation of anterior teeth. Reconstructing the anterior guidance must be in concordance with the TMJ morphology to allow harmonious functioning of the stomatognathic system.

Acknowledgements

This study is part of the Community Medicine Research net (CMR) of the University of Greifswald, Germany, which has been

funded by the Federal Ministry of Education and Research (grant no. Z29603), the Ministry of Cultural Affairs as well as the Social Ministry of the Federal State of Mecklenburg, West Pomerania.

References

- Angel, J.L., 1948. Factors in temporomandibular joint form. *Am. J. Anat.* 83, 223–246.
- Ari-Demirkaya, A., Biren, S., Ozkan, H., Kucukkeles, N., 2004. Comparison of deep bite and open bite cases: normative data for condylar positions, paths and radiographic appearances. *J. Oral. Rehabil.* 31, 213–224.
- Bernhardt, O., Biffar, R., Kocher, T., Meyer, G., 2007. Prevalence and clinical signs of degenerative temporomandibular joint changes validated by magnetic resonance imaging in a non-patient group. *Ann. Anat.* 189, 342–346.
- Boering, G., 1979. Anatomical and physiological considerations regarding the temporomandibular joint. *Int. Dent. J.* 29, 245–251.
- Cohlma, J.T., Ghosh, J., Sinha, P.K., Nanda, R.S., Currier, G.F., 1996. Tomographic assessment of temporomandibular joints in patients with malocclusion. *Angle Orthod.* 66, 27–35.
- Collins, T.J., 2007. ImageJ for microscopy. *Biotechniques* 43, 25–30.
- Darendeliler, N., Dincer, M., Soyulu, R., 2004. The biomechanical relationship between incisor and condylar guidances in deep bite and normal cases. *J. Oral Rehabil.* 31, 430–437.
- Desse, D., Druzinsky, R.E., 1992. Jaw-muscle activity in ferrets, *Mustela putorius furo*. *J. Morphol.* 213, 275–286.
- Egermark, I., Magnusson, T., Carlsson, G.E., 2003. A 20-year follow-up of signs and symptoms of temporomandibular disorders and malocclusions in subjects with and without orthodontic treatment in childhood. *Angle Orthod.* 73, 109–115.
- Gesch, D., Bernhardt, O., Alte, D., Kocher, T., John, U., Hensel, E., 2004. Malocclusions and clinical signs or subjective symptoms of temporomandibular disorders (TMD) in adults. Results of the population-based Study of Health in Pomerania (SHIP). *J. Orofac. Orthop.* 65, 88–103.
- Gianelly, A.A., Ruben, M.P., Risinger, R., 1970. Effect of experimentally altered occlusal vertical dimension on temporomandibular articulation. *J. Prosthet. Dent.* 24, 629–635.
- Granados, J.L., 1979. The influence of the loss of teeth and attrition on the articular eminence. *J. Prosthet. Dent.* 42, 78–85.
- Hensel, E., Gesch, D., Biffar, R., Bernhardt, O., Kocher, T., Splieth, C., Born, G., John, U., 2003. Study of Health in Pomerania (SHIP): a health survey in an East German region. Objectives and design of the oral health section. *Quintessence Int.* 34, 370–378.
- Hinton, R.J., 1981. Changes in articular eminence morphology with dental function. *Am. J. Phys. Anthropol.* 54, 439–455.
- Ingvall, B., 1972. Range of sagittal movement of the mandibular condyles and inclination of the condyle path in children and adults. *Acta Odontol. Scand.* 30, 67–87.
- Isberg, A., Westesson, P.L., 1998. Steepness of articular eminence and movement of the condyle and disk in asymptomatic temporomandibular joints. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 86, 152–157.
- John, U., Greiner, B., Hensel, E., Ludemann, J., Piek, M., Sauer, S., 2001. Study of Health in Pomerania (SHIP): a health examination survey in an East German region: objectives and design. *Soz. Präventivmed.* 46, 186–194.
- Katsavrias, E.G., 2002. Changes in articular eminence inclination during the craniofacial growth period. *Angle Orthod.* 72 (3), 258–264.
- Katsavrias, E.G., 2006. Morphology of the temporomandibular joint in subjects with class II division 2 malocclusions. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 129, 470–478.
- Katsavrias, E.G., Dibbets, J.M., 2002. The postglenoid tubercle: prevalence and growth. *Ann. Anat.* 184, 185–188.
- Koak, J.Y., Kim, K.N., Heo, S.J., 2000. A study on the mandibular movement of anterior openbite patients. *J. Oral Rehabil.* 27 (9), 817–822.
- Kobs, G., Bernhardt, O., Kocher, T., Meyer, G., 2005. Critical assessment of temporomandibular joint clicking in diagnosing anterior disc displacement. *Stomatologija* 7, 28–30.
- Larheim, T.A., 1981. Temporomandibular joint space in children without joint disease. *Acta Radiol. Diagn. (Stockh)* 22, 85–88.
- Lindblom, G., 1960. On the anatomy and function of the temporomandibular joint. *Acta Odontol. Scand.* 17.
- Madsen, B., 1966. Normal variations in anatomy, condylar movements, and arthrosis frequency of the temporomandibular joints. *Acta Radiol. Diagn. (Stockh)* 4, 273–288.
- Motoyoshi, M., Inoue, K., Kiuchi, K., Ohya, M., Nakajima, A., Aramoto, T., 1993. Relationships of condylar path angle with malocclusion and temporomandibular joint disturbances. *J. Nihon Univ. Sch. Dent.* 35, 43–48.
- O’Ryan, F., Epker, B.N., 1984. Temporomandibular joint function and morphology: observations on the spectra of normalcy. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 58, 272–279.
- Pullinger, A.G., Hollender, L., Solberg, W.K., Petersson, A., 1985. A tomographic study of mandibular condyle position in an asymptomatic population. *J. Prosthet. Dent.* 53, 706–713.
- Pullinger, A.G., Seligman, D.A., 2001. Multifactorial analysis of differences in temporomandibular joint hard tissue anatomic relationships between disk displacement with and without reduction in women. *J. Prosthet. Dent.* 86, 407–419.
- Ricketts, R.M., 1950. Variations of the temporomandibular joint as revealed by cephalometric laminagraphy. *Am. J. Orthod.* 36, 877–898.
- Riesner, S., 1938. Temporomandibular reactions to occlusal anomalies. *J. Am. Dent. Assoc.* 25, 1938–1953.
- Seligman, D.A., Pullinger, A.G., 2000. Analysis of occlusal variables, dental attrition, and age for distinguishing healthy controls from female patients with intracapsular temporomandibular disorders. *J. Prosthet. Dent.* 83, 76–82.
- Seward, F.S., 1976. Tooth attrition and the temporomandibular joint. *Angle Orthod.* 46, 162–170.
- Solberg, W.K., Bibb, C.A., Nordstrom, B.B., Hansson, T.L., 1986. Malocclusion associated with temporomandibular joint changes in young adults at autopsy. *Am. J. Orthod.* 89, 326–330.
- Tanaka, T., Morimoto, Y., Tanaka, Y., Kobayashi, S., Okumura, Y., Kito, S., 2004. Radiographic examination of the mandibular (glenoid) fossa in ancient and modern man. *Oral Dis.* 10, 369–377.
- Tanne, K., Tanaka, E., Sakuda, M., 1995. Stress distributions in the TMJ during clenching in patients with vertical discrepancies of the craniofacial complex. *J. Orofac. Pain* 9, 153–160.
- Turp, J.C., Greene, C.S., Strub, J.R., 2008. Dental occlusion: a critical reflection on past, present and future concepts. *J. Oral Rehabil.* 35, 446–453.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Marukawa, K., Takatsuka, S., Yamamoto, E., 2005. The relationship between temporomandibular joint disc morphology and stress angulation in skeletal class III patients. *Eur. J. Orthod.* 27, 501–506.
- Ueki, K., Nakagawa, K., Takatsuka, S., Yamamoto, E., Laskin, D.M., 2008. Comparison of the stress direction on the TMJ in patients with class I, II, and III skeletal relationships. *Orthod. Craniofac. Res.* 11, 43–50.
- Vig, P.S., Hewitt, A.B., 1975. Asymmetry of the human facial skeleton. *Angle Orthod.* 45, 125–129.
- Wish-Baratz, S., Hershkovitz, I., Arensburg, B., Latimer, B., Jellema, L.M., 1996. Size and location of the human temporomandibular joint. *Am. J. Phys. Anthropol.* 101, 387–400.