



O. Bernhardt

O. Bernhardt<sup>1</sup>, B. Kordaß<sup>2</sup>, G. Meyer<sup>3</sup>

## The diagnostic value of computerized jaw tracking for arthrogenous temporomandibular disorders (TMDs)

### Der diagnostische Wert von computergestützten Kieferbewegungsaufzeichnungen bei arthrogenen kraniomandibulären Dysfunktionen

#### Zusammenfassung

Der Nutzen von Geräten zur Bewegungsaufzeichnung des Kiefers (Axiographie) zur Diagnose von kraniomandibulären Dysfunktionen (CMD) ist noch immer unklar, da keine allgemein akzeptierten Leitlinien zur Interpretation solcher Registrate existieren. Das Ziel dieser Studie war es, den diagnostischen Nutzen eines computergestützten Systems zur Aufzeichnung von Kieferbewegungen zur Beurteilung von kiefergelenksbezogenen CMD zu bewerten. Insgesamt 307 Probanden (167 Frauen und 140 Männer, mittleres Alter:  $35,9 \pm 7,6$  Jahre) wurden aus der bevölkerungsbezogenen epidemiologischen Querschnittsstudie „Study of Health in Pomerania“ (SHIP) für diese Untersuchung ausgewählt. Die Daten wurden mittels Magnetresonanztomographie (MRT), dreidimensionaler computergestützter Axiographie und klinischer Funktionsanalyse erhoben. Die MRT-Untersuchung ergab bei 464 Gelenken die Diagnose *keine Diskusverlagerung*

#### Abstract

The usefulness of jaw-tracking devices (axiography) in diagnosis of temporomandibular disorders (TMDs) remains unclear, because there are no generally accepted guidelines for the interpretation of such recordings. The objective of this study was to evaluate the diagnostic benefit of a computerized jaw tracking system for the evaluation of TMJ-related TMD. A total of 307 subjects (167 females and 140 males, mean age  $35.9 \pm 7.6$ ) were selected from the cross-sectional epidemiological population-based study “Study of Health in Pomerania” (SHIP) for this evaluation. Data were collected with magnetic resonance imaging (MRI), 3D computerized axiography and clinical functional analysis. MRI examination resulted in the diagnosis *no disc displacement* (NDD) for 464 joints, *partial disc displacement* (PDD) for 107 joints, *complete disc displacement with reduction* (DDWR) for 5 joints and *complete disc displacement without reduction* (DDWOR) for 36 joints. Using MRI as the gold standard,

1. Prof. Dr. med. dent. habil. Olaf Bernhardt, Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie
2. Prof. Dr. med. dent. habil. Bernd Kordaß, Abteilung für CAD/CAM- und CMD-Behandlung
3. Prof. Dr. Dr. med. dent. habil. Georg Meyer, Abteilung für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie

Alle:  
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
Ernst-Moritz-Armdt-Universität Greifswald



electronic jaw tracking could separate disc displacements from sound joints with a sensitivity of 79% for right joints and 74% for left joints. Specificity of the axiography was 85% and 86% for the right and left side respectively. There was no significant correlation between clinical symptoms as pain upon palpation of the TMJ or self-reported pain of the TMJs and axiographic or MRI diagnosis. According disc displacements in the TMJ, electronic jaw tracking could achieve acceptable sensitivity and specificity levels when compared with MRI. For the diagnosis of painful TMD symptoms, however, axiography as well as MRI are of low value. Clinical examination methods should be employed.

**Keywords:** *temporomandibular disorders; temporomandibular joint dysfunction; internal derangement; computerized jaw tracking; magnetic resonance imaging; sensitivity; specificity*

## Introduction

Disc displacements (DDs) of the temporomandibular joint (TMJ) have a relatively high prevalence, however, often they exist with no further limitations for the patients. According to epidemiological studies, the overall prevalence of TMJ DD ranges from 18 to 35%, with a higher prevalence in women. DD with reduction (DDWR) occurs mainly during late childhood, ie, during the early teens<sup>1</sup>.

Many clinicians and researchers believe that DDWR is a more or less stable and painless condition of the TMJ with minimal or no adverse effects for the patient<sup>1,2</sup>. Only in cases of DD with limited opening and/or pain is a differential diagnosis for further treatment of the TMD probably necessary<sup>3</sup>. MRI has become the gold standard for evaluating the soft tissue structures of the TMJ, especially disc position. MRI has the major advantage of not introducing radiation or known biologic hazards to the patient that might produce tissue damage<sup>1,4-8</sup>. Axiography, primarily developed for

(KDV), bei 107 Gelenken eine *partielle Diskusverlagerung* (PDV), eine *vollständige Diskusverlagerung mit Reposition* (VDR) bei 5 Gelenken und eine *vollständige Diskusverlagerung ohne Reposition* (VDOR) bei 36 Gelenken. Unter Verwendung des MRT als Goldstandard konnte die elektronische Bewegungsaufzeichnung des Kiefers mit einer Sensitivität von 79 % für rechte Gelenke und 74 % für linke Gelenke eine Diskusverlagerung von gesunden Gelenken unterscheiden. Die Spezifität der Axiographie lag bei 85 % für die rechte und 86 % für die linke Seite. Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen klinischen Symptomen wie Druckdolenz der Kiefergelenke oder der Patientenangabe von Schmerzen der Kiefergelenke und der Axiographie- oder MRT-Diagnose.

In Bezug auf Diskusverlagerungen im Kiefergelenk konnten die Sensitivität und Spezifität der elektronischen Kieferbewegungsaufzeichnung im Vergleich zum MRT als Goldstandard ein akzeptables Niveau erreichen. Für die Diagnose schmerzhafter CMD-Symptome sind sowohl die Axiographie als auch das MRT von geringem Wert. Hier sollten klinische Untersuchungsmethoden eingesetzt werden.

**Indizes:** *kraniomandibuläre Dysfunktionen, Kiefergelenkerkrankungen, Diskusverlagerung, computergestützte Bewegungsaufzeichnung der Kiefergelenke, Magnetresonanztomographie, Sensitivität, Spezifität*

## Einleitung

Diskusverlagerungen (DV) der Kiefergelenke haben eine relativ hohe Prävalenz, liegen jedoch häufig ohne weitere Einschränkungen für die Patienten vor. Nach epidemiologischen Studien liegt die Gesamtprävalenz von DV der Kiefergelenke im Bereich zwischen 18 und 35 % mit höherer Prävalenz bei Frauen. Die DV mit Reposition tritt hauptsächlich in der späten Kindheit auf, d. h. im frühen Teenageralter<sup>1</sup>. Viele Behandler und Forscher glauben, dass die DV mit Reposition eine mehr oder minder stabile und schmerzlose Erkrankung der Kiefergelenke ist und minimale oder gar keine negativen Auswirkungen für den Patienten mit sich bringt<sup>1,2</sup>. Nur im Fall der DV mit Einschränkung der Mundöffnung bzw. Schmerzen ist wahrscheinlich eine Differenzialdiagnose im Hinblick auf eine Weiterbehandlung der CMD notwendig<sup>3</sup>. Die Magnetresonanztomographie ist mittlerweile der Goldstandard zur Beurteilung der Weichteilstrukturen der Kiefergelenke,



insbesondere der Diskusposition. Sie hat den Hauptvorteil, dass keine Strahlung und keine bekannten biologischen Gefahren für den Patienten von ihr ausgehen, die eine Schädigung der Gewebe verursachen könnten<sup>1,4-8</sup>. Die Axiographie, die in erster Linie zur Programmierung von Artikulatoren entwickelt wurde, ist ebenfalls eine nicht-invasive Methode und generiert dreidimensionale Bilder der Kondylenbahn auf Basis der aufgezeichneten Scharnierachsenbewegungen<sup>9</sup>. Die Literatur weist jedoch nicht darauf hin, dass die Sensitivität und Spezifität der Geräte zur Bewegungsaufzeichnung des Kiefers hoch genug sind, um diese zur Diagnose und Behandlung von CMD einzusetzen<sup>2,10-12</sup>. Das Ziel dieser Studie war es, den diagnostischen Nutzen eines computergestützten Systems zur Aufzeichnung von Kieferbewegungen einzuschätzen, das zur Bewertung von kiefergelenksbezogenen CMD dient.

## Material und Methoden

### Struktur der Stichprobe

Diese Studie ist Teil einer umfangreicheren epidemiologischen Studie, der Study of Health in Pomerania (SHIP-0), die von Oktober 1997 bis Mai 2001 in Vorpommern durchgeführt wurde. 6.267 Männer und Frauen im Alter zwischen 20 und 79 Jahren, stratifiziert nach Alter und Geschlecht, wurden zu der Studie eingeladen. Sie wurden als Zufallsstichprobe aus offiziellen Meldedaten im Verhältnis zur Bevölkerung der jeweiligen Orte gewonnen. Die Rücklaufquote der Studie betrug 68,8 %. Alle Teilnehmer gaben schriftlich ihr Einverständnis nach Aufklärung ab. Die Studie wurde von der örtlichen Ethikkommission genehmigt.

Die Erfassung der Daten und Items umfasste vier Teile: Untersuchung zur Mundgesundheit (einschließlich kieferorthopädischer Untersuchung), medizinische Untersuchung, gesundheitsbezogenes Interview und ein gesundheits- und risikofaktorenbezogener Fragebogen<sup>13</sup>. Weitere Details zum Studiendesign der Gesamtstudie und ihrer zahnheilkundlichen Sektion sowie zur Übereinstimmung zwischen den Prüfarzten und den unterschiedlichen Untersuchungen desselben Prüfarztes siehe Hensel et al. und John et al.<sup>13,14</sup>.

Stratifiziert nach Altersgruppen mit 5 Jahren Umfang wurde jeder zweite Teilnehmer zwischen 20 und 49 Jahren zu weiteren Untersuchungen eingeladen. Von diesen 1.056 Probanden stimmten 586 der Teilnahme an weiteren klinischen Untersuchungen zu. Von diesen wurden 307 Probanden (140 Männer, 167 Frauen) einer MRT-Untersuchung der Kiefergelenke unterzogen<sup>15</sup>.

programming articulators, is also a non-invasive method and generates three-dimensional images of the condylar path on the basis of recorded hinge-axis movements<sup>9</sup>. The literature, however, does not suggest that the sensitivity and specificity of jaw-tracking devices are high enough to be used for diagnosis and management of temporomandibular disorders (TMDs)<sup>2,10-12</sup>. The objective of this study was to evaluate the diagnostic benefit of a computerized jaw tracking system for the evaluation of TMJ-related TMDs.

## Materials and methods

### 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, north east Germany – 6,267 men and women aged between 20 and 79 years, stratified according to age and gender, were invited for the study. They were drawn as a random sample from official resident data files in proportion 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 (including orthodontical examination), medical examination, health-related interview, and a health- and risk-factor-related questionnaire<sup>13</sup>. For further details of the design of the entire study as well as of its dental section, and for intra- and interexaminer agreement, see Hensel et al and John et al<sup>13,14</sup>.

Stratified to 5-year age groups, every second participant from 20 to 49 years was invited for further examinations. Out of these 1,056 subjects, 586 agreed to participate in further clinical examinations. Out of them, 307 subjects (140 males, 167 females) underwent an MRI examination of the TMJ<sup>15</sup>.

### Clinical assessment

The clinical functional analysis of the masticatory system was based on the examination protocol used in the oral health examination of SHIP<sup>13</sup>.

Four trained examiners performed all clinical examinations. Data regarding the following symptoms of functional disorders were collected:

- Tenderness to lateral pressure in the region of the joint: the condyles were palpated with 2 kg/cm<sup>2</sup> to pressure



and with the patient's mouth slightly opened. The patients were asked to classify their sensation as "indolent," "unpleasant sensation" or "pain."

- Muscle diagnosis: the masticatory muscles were palpated extraorally with moderate pressure of 1 kg/cm<sup>2</sup> to compare both sides, and the patient's sensations were documented. The following muscles were included into the examination: masseter muscle, temporal muscle, medial pterygoid muscle, suboccipital muscle, and the sternocleidomastoid muscle. For the lateral pterygoid muscle, a test for isometric contraction was carried out, as this muscle is difficult to palpate.
- Palpable motion restrictions: intermittent blocking/halting of joint movements or a noticeable protrusion of the condyloid process in front of the articular eminence were palpated, with the subjects opening their mouths to the maximum.
- Noises in the TMJ: both TMJ were palpated with the patients opening their mouths to the maximum. All clicking or grating noises occurring initially, intermediately or terminally in the opening or closing motion of the mouth were documented.
- Mandibular mobility, the maximum distance between incisal edges: the distance was measured in mm. The subjects first opened their mouths actively, then the mandible was moved passively by the investigator with pressure on the mandibular anterior teeth. Pain in the articular region occurring during this examination was also documented.

## MRI assessment

MRI was performed with a 1.0 T 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.

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), orthogonal sagittal images of the TMJ (each of 3 mm thickness) were obtained with

## Klinische Befunderhebung

Für die klinische Funktionsanalyse des Kauapparats wurde das in der SHIP verwendete Untersuchungsprotokoll zur Mundgesundheit herangezogen<sup>13</sup>.

Vier geschulte Prüfarzte führten alle klinischen Untersuchungen durch. Zu folgenden Symptomen von funktionellen Störungen wurden Daten gesammelt:

- Druckdolenz gegenüber seitlichem Druck im Bereich des Gelenks: Die Kondylen wurden bei leicht geöffnetem Mund mit einem Druck von 2 kg/cm<sup>2</sup> palpirt. Die Patienten wurden gebeten, ihre Empfindung als „nicht schmerzempfindlich“, „unangenehme Empfindung“ oder „Schmerzen“ einzustufen.
- Muskeldiagnose: Die Kaumuskulatur wurde extraoral mit einem moderaten Druck von 1 kg/cm<sup>2</sup> palpirt, um die beiden Seiten miteinander zu vergleichen, und die Wahrnehmungen der Patienten wurden dokumentiert. Folgende Muskeln wurden in die Untersuchung einbezogen: M. masseter, M. temporalis, M. pterygoideus medialis, M. suboccipitalis und M. sternocleidomastoideus. Beim M. pterygoideus lateralis wurde ein Test auf isometrische Kontraktion durchgeführt, da dieser Muskel schwer zu ertasten ist.
- Palpierbare Bewegungseinschränkungen: Intermittierende Blockaden/Stopps der Gelenkbewegungen oder eine deutliche Protrusion des Gelenkfortsatzes vor dem Gelenkhöcker wurden bei maximaler Mundöffnung der Studienteilnehmer palpirt.
- Gelenkgeräusche: Beide Kiefergelenke wurden bei maximaler Mundöffnung der Patienten palpirt. Alle bei der Öffnungs- oder Schließbewegung des Mundes initial, intermediär bzw. terminal auftretenden Knack- oder Schleifgeräusche wurden dokumentiert.
- Beweglichkeit des Unterkiefers, maximale Distanz zwischen den Schneidekanten: Die Distanz wurde in mm gemessen. Die Studienteilnehmer öffneten zunächst den Mund aktiv, anschließend wurde der Unterkiefer vom Prüfarzt durch Druck auf die Unterkieferfrontzähne passiv bewegt. Während dieser Untersuchung auftretende Schmerzen im Gelenkbereich wurden ebenfalls dokumentiert.

## MRT-Untersuchung

Die MRT-Untersuchung wurde mit einem 1,0 T-Scanner (Magnetom Impact Expert, Siemens) mithilfe einer bilateralen MRT-Oberflächenspule für die Kiefergelenke

durchgeführt. Jeder der Studienteilnehmer wurde in standardisierter Rückenlage in der Gantry des Magneten platziert, sodass der Kopf mit der Frankfurter Horizontalen parallel zur Öffnung und senkrecht zur Längsachse des Magneten positioniert war. Die Kopfposition wurde mithilfe einer Positioniervorrichtung fixiert.

Die Aufnahmen wurden mit den folgenden Spin-Echo-Sequenz-Parametern durchgeführt:

- axial (Scout-Bild) – T1-gewichtete Aufnahmen, TR (Repetitionszeit) = 140 ms, TE (Echozeit) = 15 ms
- sagittal – T1-gewichtete Aufnahmen; neun Bilder mit Schichten von 3 mm; TR = 448 ms, TE = 15 ms;
- koronal – T1-gewichtete Aufnahmen, TR = 450 ms, TE = 15 ms.

Es wurden drei (lateral, zentral und medial) orthogonale sagittale Aufnahmen der Kiefergelenke (von je 3 mm Schichtstärke) angefertigt, zuerst mit dem Kiefer in maximaler Interkuspidationsposition (MIP) und anschließend bei maximaler Mundöffnung. Die Position mit geöffnetem Mund wurde mithilfe eines individuell gefertigten Silikonblocks erzielt.

Die Diskusposition bei MIP wurde als physiologisch angesehen, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt waren:

Die Pars intermedia des Diskus muss im Bereich der kürzesten Entfernung zwischen der anterioren kranialen Kontur des Kondylus und der Protuberantia articularis liegen und die Verbindungslinie zwischen dem Zentrum des Kondylus und dem posterioren Rand des Diskus darf nicht mehr als 10° von der 12-Uhr-Position abweichen<sup>16</sup> (Abb. 1 und 2).

Jede Vorwärtsverlagerung des Diskus stellte eine anteriore Dislokation dar.

Der verlagerte Diskus wurde weiter nach Bumann und Lotzmann<sup>17</sup> kategorisiert als teilweise oder vollständige Dislokation mit teilweiser oder vollständiger Reposition je nach Beziehung zum Kondylus bei offenem Mund. Die Diskusposition bei offenem Mund wurde auf Basis eines Kriteriums bestimmt. Sie wurde als normal angesehen, wenn die mittlere Zone des Diskus zwischen dem Kondylus und dem Gelenkhöcker lag. Wenn jedoch bei offenem Mund der vollständig dislozierte Diskus in einer im Verhältnis zum Kondylus anterioren Position blieb, wurde dies als vollständige Diskusverlagerung ohne Reposition klassifiziert.

Nach der Untersuchung der Diskusposition in der Sagittalebene wurden folgende Diagnosen gestellt:

- keine Diskusverlagerung (KDV)

the jaw in the maximal intercuspal position (MIP) and then at maximal jaw opening. The open mouth position was achieved with an individually prepared silicone block.

The disc position in MIP was considered to be physiological if two requirements were met: The pars intermedia of the disc has to lie in the area of the shortest distance between the anterior cranial outline of the condyle and Protuberantia articularis. The junction line between the center of the condyle and the posterior margin of the disc must not be more than 10 degrees from the 12 o'clock position (Figs 1 and 2)<sup>16</sup>. Any forward dislocation of the disc constituted anterior displacement.

The displaced disc was further categorized according to Bumann and Lotzmann<sup>17</sup> as partially and complete displacement with partial or complete reduction depending on the relationship with the condyle in an open-mouth position. Disc position with the mouth open was determined based on one criterion. It was considered normal if the intermediate zone of the disc was located between the condyle and articular eminence. However, if the complete displaced disc remained in an anterior position relative to the condyle in an open-mouth position, it was classified as complete disc displacement without reduction.

After assessment of the disc position on the sagittal plane the following diagnoses were made:

- No disc displacement (NDD)
- Partial disc displacement (PDD)
- Complete disc displacement with complete reduction (DDWR)
- Complete disc displacement without reduction (DDWOR)

## Axiography

The registration of TMJ tracings was made with the conventional double facebow Cadiax III-System (Gamma Dental, Klosterneuburg, Wien, Austria)<sup>18</sup>. Three-dimensionally adjustable lower bow is used to transmit hinge-axis movement of the mandible to the upper facebow.

In all cases the axiographic findings were recorded and assessed for both joints. The diagnoses were made on the basis of the following findings:

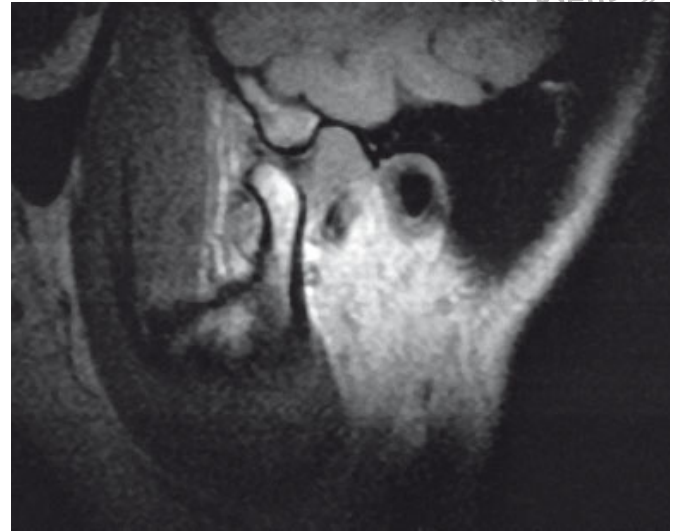
- Sound jaw track (SJT)
- Disc displacement with early reduction (DDER)
- Disc displacement with late reduction (DDLRL)
- Disc displacement without reduction (DDWOR)
- Not classifiable unbalanced jaw track (NCJT)

Due to the interpretation of the jaw-tracking devices, the following suspecting diagnoses were made:



**Fig 1** Physiological disc position, closed jaw.

**Abb. 1** Physiologische Diskusposition, geschlossener Kiefer.



**Fig 2** Physiological disc position, opened jaw.

**Abb. 2** Physiologische Diskusposition, geöffneter Kiefer.

- a. SJT (Fig 3):
  - Harmonically, reproducible, congruent cycles with anterior concavity
  - Free and managed Bennett movements are ever positive and continuous
  - An average protrusive tracking length is out of 8 to 10 mm, opening movement 10 to 12 mm and mediotrusive movement 12 to 14 mm
  - In the first 8 mm protrusive, opening, and mediotrusive cycles are normally coincident. Afterwards the opening line runs usually above the mediotrusive and protrusive tracks.
- b. DDER (Fig 4):
  - Typical "figure eight" creation from excursive and incisive cycles at the beginning area of coordinate system
  - Partial deviation of excursive from the incisive line in the first 2 mm area of x- and z-axis
  - Negative value in the x-axis at the end of intrusion movement
- c. DDLR:
  - Typical "figure eight" creation in the terminal phase of excursive under incisive cycles
- d. DDWR (Fig 5):
  - Of convex or straight line cycles
- e. NCJT:
  - No clear diagnosis due to the interpretation criteria

- partielle Diskusverlagerung (PDV)
- vollständige Diskusverlagerung mit vollständiger Reposition (VDMR)
- vollständige Diskusverlagerung ohne Reposition (VDOR).

### Axiographie

Die Aufzeichnung der Kiefergelenksbahnen erfolgte mit dem konventionellen Doppelgesichtsbogen des Cadiax III-Systems (Gamma Dental, Klosterneuburg, Österreich)<sup>18</sup>. Der dreidimensional justierbare untere Gesichtsbogen wurde eingesetzt, um Scharnierachsenbewegungen des Unterkiefers zum oberen Gesichtsbogen zu übertragen.

In allen Fällen wurden axiographische Befunde aufgezeichnet und für beide Gelenke beurteilt. Die Diagnosen wurden auf Basis folgender Befunde gestellt:

- gesunde Bewegungsbahn (GBW)
- Diskusverlagerung mit früher Reposition (DVFR)
- Diskusverlagerung mit später Reposition (DVSR)
- Diskusverlagerung ohne Reposition (DVOR)
- nicht klassifizierbare asymmetrische Bahn (NKAB).

Aufgrund der Interpretation der Geräte zur Bewegungsaufzeichnung wurden folgende Verdachtsdiagnosen gestellt:

- a. „gesunde Bewegungsbahn“ (GBW [Abb. 3]):
  - harmonische, reproduzierbare, kongruente Spuren mit anteriorer Konkavität

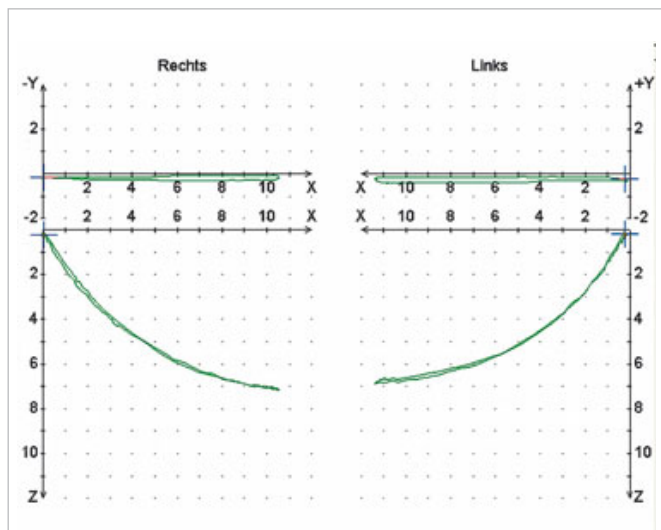


Fig 3 Sound jaw track (SJT).

Abb. 3 Gesunde Bewegungsbahn (GBW).

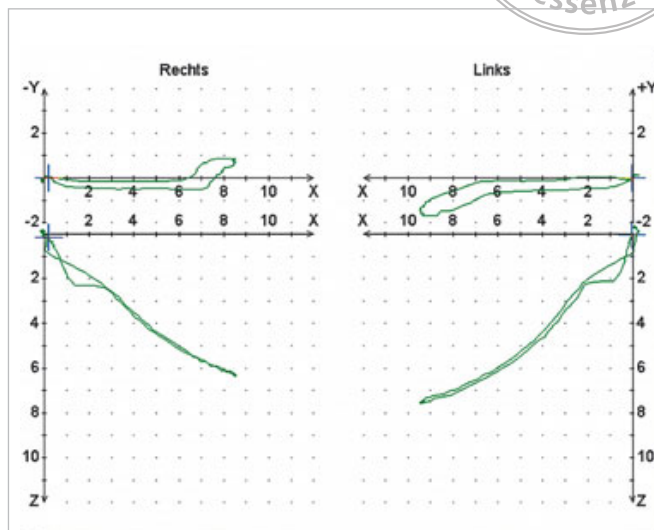


Fig 4 Disc displacement with early reduction (DDER).

Abb. 4 Diskusverlagerung mit früher Reposition (DVFR).

- freie und geführte Laterotrusionsbewegungen sind immer positiv und kontinuierlich
  - eine durchschnittliche protrusive Spurlänge beträgt 8×10 mm, Öffnungsbewegung 10×12 mm und Mediotrusionsbewegung 12×14 mm
  - Auf den ersten 8 mm sind die Protrusions-, Öffnungs- und Mediotrusionszyklen normalerweise kongruent. Danach verläuft die Öffnungslinie normalerweise oberhalb.
- b. „Diskusverlagerung mit früher Reposition“ (DVFR [Abb. 4]):
- typische Achtergestalt aus Exkursions- und Inkursionspuren im Anfangsbereich des Koordinatensystems
  - partielle Abweichung der Exkursions- von der Inkursionslinie auf den ersten 2 mm der x- und z-Achse
  - negativer Wert auf der x-Achse am Ende der Intrusionsbewegung
- c. „Diskusverlagerung mit später Reposition“ (DVSR):
- typische Achtergestalt in der terminalen Phase der Exkursions- und der Inkursionszyklen
- d. „Diskusverlagerung ohne Reposition“ (DVOR [Abb. 5]):
- mit konvexen oder geradlinigen Bewegungspuren
- e. „nicht klassifizierbare asymmetrische Bahn“ (NKAB):
- keine klare Diagnose aufgrund der Interpretationskriterien.

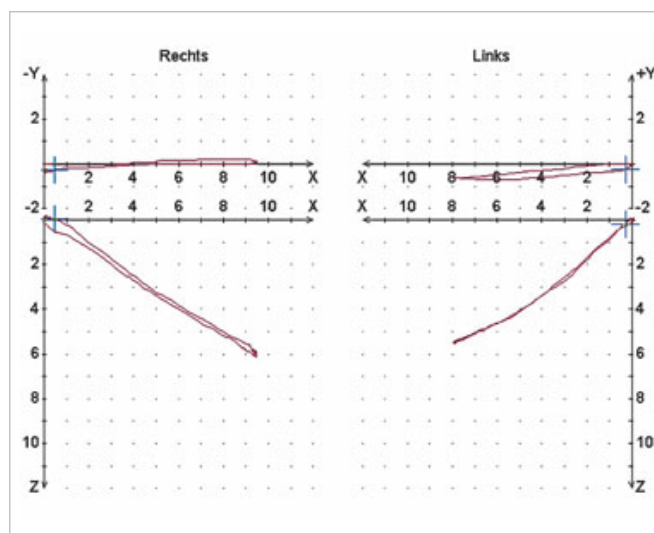


Fig 5 Disc displacement without reduction (DDWOR).

Abb. 5 Diskusverlagerung ohne Reposition (DVOR).

Two experienced dentists independently assessed axiographic and MRI results. The data were coded and analyzed with the help of computers and the software SPSS Version 21.0 (SPSS Inc, IL, USA). Collected data were compared by contingency tables and analysed with chi-square ( $\chi^2$ ) test. Spearman correlation coefficients were calculated for associations between pain upon palpation of the TMJs and axiographic or MRI diagnosis. The probability level of all tests was a  $< .05$ .



## Results

Table 1 displays the baseline characteristic of the sample. Among the subjects, 3.9% reported facial pain during jaw movements. There was a high correlation between the jaw track diagnosis of DD based on jaw tracks and MRI diagnosis of DD (right  $r = 0.59$ , left  $r = 0.58$ ,  $P < 0.001$ ) as well as the occurrence of TMJ reciprocal clicking on both sides (right/left,  $r = 0.25$ ,  $P < 0.001$ ). Axiography and TMJ crepitation correlated only on the right side ( $r = 0.14$ ,  $P < 0.05$ ).

There was no significant correlation observed between axiography and self-reported pain or pain upon palpation of the TMJs or masticatory muscles.

Table 2 and 3 display the agreements of MRI and axiography in percentage rates and Table 4 displays calculations of sensitivity and specificity of the axiographic diagnosis regarding MRI and clinical examination. If axiographic diagnoses are summarised as DD (independently from reduction), electronic jaw tracking could separate disc displacements from sound joints with a sensitivity of 79% for right joints and 74% for left joints. Specificity of the axiography was 85% and 86% for the right and left side respectively. Compared to clinical examination, sensitivity of the axiography was below acceptable levels with 0.58 and 0.50, whereas specificity reached the 75% level.

## Discussion

A high sensitivity (67 to 100%) of MRI for diagnosis of the correct disc position and bone changes of the TMJ was confirmed by autopsy studies<sup>19</sup>. Since it is generally accepted as the gold standard for evaluating DD it was also employed for this study. It is assumed that jaw tracking devices seem to be helpful to observe and document jaw motion in the process of diagnosing treating TMDs<sup>18</sup>. The meaning of jaw tracks for diagnostic purposes is judged of low value<sup>11</sup>. There is a discussion if this technique is any more useful in measuring mandibular function than a traditional millimeter ruler<sup>2</sup>.

The results of our analysis are based on a population sample. They reveal regarding disc displacement acceptable levels of sensitivity and specificity for the axiography as a diagnostic tool<sup>20</sup>.

Disc displacements, however, are found in the TMJ of both symptomatic<sup>21,22</sup> and asymptomatic<sup>23,24</sup> individuals. It has been demonstrated that between 26 and 38% of normal, asymptomatic subjects reveal disc position abnormality on MRIs<sup>4-8</sup>. So the benefit from jaw tracks regarding TMD

Zwei erfahrene Zahnärzte untersuchten die Axiographie- und MRT-Ergebnisse unabhängig voneinander. Die Daten wurden mithilfe von Computern und der Software SPSS® Version 21.0 (SPSS Inc., Illinois, USA) codiert und analysiert. Die gesammelten Daten wurden mit Kontingenztafeln verglichen und mithilfe des Chi-Quadrat-Tests ( $\chi^2$ -Test) analysiert. Im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen Druckschmerzen der Kiefergelenke und der Axiographie- oder MRT-Diagnose wurden Korrelationskoeffizienten nach Spearman berechnet. Die Höhe der Wahrscheinlichkeit wurde bei allen Tests auf  $\alpha < 0,05$  festgelegt.

## Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Eigenschaften der Stichprobe bei Baseline. 3,9 % der Probanden berichteten von Gesichtsschmerzen während der Kieferbewegungen. Es bestand eine starke Korrelation zwischen der mittels Bewegungsaufzeichnung gewonnenen Diagnose Diskusverlagerung (DV) und der MRT-Diagnose der DV (rechts  $r = 0,59$ ; links  $r = 0,58$ ;  $p < 0,001$ ) sowie dem Auftreten von reziprokem Kiefergelenksknacken auf beiden Seiten (rechts/links  $r = 0,25$ ;  $p < 0,001$ ). Axiographie und Reibegeräusche im Kiefergelenk korrelierten nur auf der rechten Seite ( $r = 0,14$ ;  $p < 0,05$ ).

Es wurde keine signifikante Korrelation zwischen der Axiographie und den von den Patienten angegebenen Schmerzen bzw. der Druckdolenz der Kiefergelenke oder Kaumuskulatur beobachtet.

Tabelle 2 und 3 zeigen die Übereinstimmung von MRT und Axiographie in Prozent und Tabelle 4 stellt die Berechnungen der Sensitivität und Spezifität der axiographischen Diagnose in Bezug auf MRT und klinische Untersuchung dar. Wenn die axiographischen Diagnosen als DV zusammengefasst wurden (unabhängig von einer Reposition), konnte die elektronische Bewegungsaufzeichnung des Kiefers mit einer Sensitivität von 79 % für rechte Gelenke und 74 % für linke Gelenke eine Diskusverlagerung von gesunden Gelenken unterscheiden. Die Spezifität der Axiographie lag bei 85 % für die rechte und 86 % für die linke Seite. Im Vergleich zur klinischen Untersuchung lag die Sensitivität der Axiographie mit 0,58 und 0,50 unterhalb eines akzeptablen Niveaus, während die Spezifität das Niveau von 75 % erreichte.



**Table 1** Baseline characteristics of the samples

Tab. 1 Deskriptive Daten der Stichprobe.

	Total Sample/ Gesamte Stichprobe	Left TMJ/ Linkes Kiefergelenk	Right TMJ/ Rechtes Kiefergelenk
N	307	-	-
Female/Frauen	167 (54.4)*	-	-
Age [years]/Alter [Jahre]	35.9 ± 7.6	-	-
Self-reported facial pain/Gesichtsschmerz nach Patientenangabe	12 (3.9)	-	-
Pain upon palpation/Druckdolenz			
1–3 muscles/1–3 Muskeln	86 (28.0)	-	-
> 3 muscles/> 3 Muskeln	13 (4.2)	-	-
TMJ pain upon palpation/Druckdolenz des Kiefergelenks	-	39 (12.7)	38 (12.4)
TMJ crepitation/Reibungsgeräusch im Kiefergelenk	-	16 (5.2)	14 (4.6)*
TMJ reciprocal clicking/reziprokes Kiefergelenksknacken	-	69 (22.5)*	61 (19.9)*
MRI diagnosis DD/MRT-Diagnose DV	-	78 (25.4)*	72 (23.5)*
Axiography diagnosis DD/Axiographie-Diagnose DV	-	89 (29.0)	92 (30.0)

\*Correlation with axiography diagnosis DD  $P < 0.05$ /\* Korrelation mit axiographischer Diagnose DV  $p < 0,05$   
 Values are numbers and percentage of the total number/Werte sind Anzahl und Prozentsätze der Gesamtzahl

**Table 2** Numbers and percentages in row of TMJ-related diagnoses for axiography and MRI right TMJ

Tab. 2 Anzahl und Reihenprozentätze der kiefergelenkbezogenen Diagnosen mit Axiographie und MRT im rechten Kiefergelenk.

Axiography/ Axiographie	MRI/MRT			
	NDD/KDV 235 (76.5)	PDD/PDV 57 (18.6)	DDWR/DVOR 2 (7)	DDWOR/VDOR 13 (4.2)
Right/rechts				
SJT/GBW	200 (93.0)	12 (5.6)	1 (0.05)	2 (0.9)
DDER/DVFR	13 (27.1)	33 (68.8)	1 (2.1)	1 (2.1)
DDLRL/DVSR	0 (0)	4 (100)	0 (0)	0 (0)
DDWOR/VDOR	4 (40)	1 (10)	0 (0)	5 (50)
NCJT/NKAB	18 (60)	7 (23.3)	0 (0)	5 (16.7)

Chi square  $P < 0.001$ ; values are numbers and row percentages/Chi-Quadrat  $p < 0,001$ ; Werte sind Anzahl und Reihenprozentätze

**Table 3** Numbers and percentages in row of TMJ-related diagnoses for axiography and MRI, left TMJ**Tab. 3** Anzahl und Reihenprozentätze der kiefergelenkbezogenen Diagnosen mit Axiographie und MRT im linken Kiefergelenk.

Axiography/ Axiographie	MRI/MRT			
	NDD/KDV 229 (74.6)	PDD/PDV 50 (16.3)	DDWR/DVOR 5 (1.6)	DDWOR/VDOR 23 (7.5)
Left/inks				
SJT/GBW	198 (90.8)	12 (6.0)	0 (0)	7 (3.2)
DDER/DVFR	15 (30.0)	28 (56.0)	2 (4.0)	1 (10.0)
DDLRL/DVSR	0 (0)	2 (100)	0 (0)	0 (0)
DDWOR/VDOR	4 (36.4)	0 (0)	0 (0)	7 (63.6)
NCJT/NKAB	12 (46.2)	7 (26.9)	3 (11.5)	4 (15.4)

Chi square  $P < 0.001$ ; values are numbers and row percentages/Chi-Quadrat  $p < 0,001$ ; Werte sind Anzahl und Reihenprozentätze

**Table 4** Sensitivity and specificity of Axiography compared to MRI and TMJ reciprocal clicking)**Tab. 4** Sensitivität und Spezifität der Axiographie im Vergleich zu MRT und reziprokem Knacken der Kiefergelenke.

	Left/links		Right/rechts	
	MRI/ MRT	Clicking/ Knacken	MRI/ MRT	Clicking/ Knacken
	(n = 132)	(n = 16)	(n = 132)	(n = 16)
Sensitivity/ Sensitivität	0.74	0.50	0.79	0.58
Specificity/ Spezifität	0.86	0.75	0.85	0.75

diagnosis might be questionable. In case of DD with limited opening and/or pain, however, a differential diagnosis for further treatment of the TMD and a monitoring of treatment outcomes by means of axiography might be helpful.<sup>3</sup> The correlation between axiographic diagnosis and joint clicking was moderate<sup>20</sup>.

Clinical parameters like reported pain or pain on palpation did not correlate with axiographic diagnosis. This result was not surprising. Also MRI examinations of the TMJ showed

## Diskussion

Eine hohe Sensitivität (67–100 %) des MRT zur Diagnose der korrekten Diskusposition und von Knochenveränderungen in den Kiefergelenken wurde durch Autopsiestudien bestätigt<sup>19</sup>. Da es allgemein als Goldstandard zur Beurteilung von DV akzeptiert ist, wurde es auch in dieser Studie eingesetzt. Es ist anzunehmen, dass Bewegungsaufzeichnungsgeräte im Verlauf der Diagnose und Behandlung von CMD hilfreich sind, um die Kieferbewegung zu beobachten und zu dokumentieren<sup>18</sup>. Die Bedeutung der Bewegungsaufzeichnung für diagnostische Zwecke wird als geringwertig beurteilt<sup>11</sup>. Es wird derzeit diskutiert, ob diese Technik zur Messung der Unterkieferfunktion überhaupt nützlicher ist als das herkömmliche Millimeterlineal<sup>2</sup>.

Die Ergebnisse unserer Analyse basieren auf einer Stichprobe aus der Bevölkerung. Im Hinblick auf die Diskusverlagerung zeigen sie akzeptable Niveaus für Sensitivität und Spezifität der Axiographie als diagnostisches Hilfsmittel<sup>20</sup>.

Diskusverlagerungen werden jedoch in den Kiefergelenken sowohl symptomatischer<sup>21,22</sup> als auch asymptomatischer<sup>23,24</sup> Individuen angetroffen. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen 26 % und 38 % der normalen, asymptomatischen Probanden im MRT eine Anomalie der Diskusposition aufweisen<sup>4–8</sup>. Der Nutzen von Kieferbewegungsaufzeichnungen im Hinblick auf die CMD-Diagnose könnte daher fraglich sein. Im Fall der DV mit Limitation der



Mundöffnung und/oder Schmerzen jedoch könnten eine Differenzialdiagnose zur weiteren Behandlung der CMD und eine Überwachung der Behandlungsergebnisse mithilfe der Axiographie nützlich sein<sup>3</sup>.

Die Korrelation zwischen der axiographischen Diagnose und Kiefergelenksknacken war mäßig<sup>20</sup>.

Klinische Parameter wie der von den Patienten angegebene Schmerz oder Druckdolenz korrelierten nicht mit der axiographischen Diagnose. Dieses Ergebnis war nicht überraschend, da auch MRT-Untersuchungen der Kiefergelenke vergleichbare Ergebnisse bezüglich Schmerzen aufweisen. In epidemiologischen Studien offenbart ein hoher Prozentsatz von Probanden, die keine CMD-Symptomatik aufweisen, in der MRT-Diagnose eine Diskusverlagerung oder Osteoarthrose<sup>15</sup>.

Klinische Diagnosekriterien sind bis jetzt ebenfalls ein unzuverlässiges Instrument zur Vorhersage von Diskusverlagerungen oder Osteoarthrose der Kiefergelenke. In mehreren anderen Studien, die klinische Befunde und MRT-Befunde im Hinblick auf Diskusverlagerungen verglichen<sup>25-27</sup>, bestand ebenfalls nur eine schwache diagnostische Übereinstimmung oder überhaupt keine signifikante Korrelation.

## Schlussfolgerungen

Innerhalb der Grenzen dieser Querschnittsstudie wurde nachgewiesen, dass die elektronische Bewegungsaufzeichnung der Kieferbewegung mittels des in dieser Studie eingesetzten Systems eine akzeptable Genauigkeit zum Nachweis von Diskusverlagerungen im Vergleich zum MRT hat. Weitere Studien sind notwendig, um diese Beobachtung mit anderen Geräten zu untersuchen.

Für die routinemäßige Diagnose schmerzhafter CMD-Symptome sind jedoch sowohl die Axiographie als auch das MRT von geringem Wert. Zur Initialdiagnose sollten klinische Untersuchungsmethoden eingesetzt werden.

*Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht. Ferner erklären die Autoren, dass die Patienten ihr Einverständnis zur Teilnahme an der vorgelegten Untersuchung dokumentiert haben.*

regarding pain levels similar results. In non-patient populations, a high percentage of subjects who are free from signs and symptoms of TMD have a MRI diagnosis of internal derangement or osteoarthrosis<sup>15</sup>.

Clinical diagnostic criteria up to now are also an unreliable instrument in predicting internal derangements or osteoarthrosis of the TMJs. In several other studies that compared clinical and MRI findings regarding DDs<sup>25-27</sup>, only a poor diagnostic agreement or no significant correlation at all was observed between them.

## Conclusions

Within the limitations of this cross-sectional study, it was demonstrated that electronic jaw tracking has an acceptable accuracy in detecting DD compared to MRI. Further studies are necessary to investigate this observation with different devices.

For the routine diagnosis of painful TMD symptoms, however, axiography as well as MRI are of low value. Hence, for initial diagnosis, clinical examination methods should be employed.

*The authors declare that there is no conflict of interest. The authors further declare that the patients have documented their agreement with their participation in the documented examination.*



## References

1. Naeije M, Veldhuis te AH, Veldhuis te EC, Visscher CM, Lobbezoo F. Disc displacement within the human temporomandibular joint: a systematic review of a "noisy annoyance." *J Oral Rehabil* 2012;40:139–158.
2. De Leeuw R, Klasser GD (Eds). *Orofacial Pain. Guidelines for Assessment, Diagnosis, and Management*. Chicago: Quintessence Publishing, 2013:37.
3. Sato S, Nasu F, Motegi K. Analysis of kinesiograph recordings and masticatory efficiency after treatment of non-reducing disc displacement of the temporomandibular joint. *J Oral Rehabil* 2003;30:708–713.
4. Moore JB, Choe KA, Burke RH, Di Stefano GR. Coronal and sagittal TMJ meniscus position in asymptomatic subjects by MRI. *J Oral Maxillofac Surg* 1989;47:75–76.
5. Katzberg RW, Westesson PL, Tallents RH, Drake CM. Anatomic disorders of the temporomandibular joint disc in asymptomatic subjects. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:147–153.
6. Katzberg RW, Westesson PL, Tallents RH, Drake CM. Orthodontics and temporomandibular joint internal derangement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:515–520.
7. Tasaki MM, Westesson PL, Isberg AM, Ren YF, Tallents RH. Classification and prevalence of temporomandibular joint disc displacement in patients and symptom-free volunteers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:249–262.
8. Ribeiro RF, Tallents RH, Katzberg RW, Murphy WC, Moss ME, Magalhaes AC, et al. The prevalence of disc displacement in symptomatic and asymptomatic volunteers aged 6 to 25 years. *J Orofac Pain* 1997;11:37–47.
9. Meyer G, dal Ri H: Dreidimensionale elektronische Messung der Bewegungen des Kondylus über die Scharnierachse des Unterkiefers. *Dtsch Zahnärztl Z* 1985;40:881–866.
10. Manfredini D, Favero L, Michieli M, Salmaso L, Cocilovo F, Guarda-Nardini L. An assessment of the usefulness of jaw kinesiography in monitoring temporomandibular disorders: Correlation of treatment-related kinesiographic and pain changes in patients receiving temporomandibular joint injections. *J Am Dent Assoc* 2013;144:397–405.
11. Baba K, Tsukiyama Y, Yamazaki M, Clark GT. A review of temporomandibular disorder diagnostic techniques. *J Prosthet Dent* 2001;86:184–194.
12. Theusner J, Plesh O, Curtis DA, Hutton JE. Axiographic tracings of temporomandibular joint movements. *J Prosthet Dent* 1993;69:209–215.
13. Hensel E, Gesch D, Biffar R, Bernhardt O, Kocher T, Splieth C, et al. Study of Health in Pomerania (SHIP): a health survey in an East German region. Objectives and design of the oral health section. *Quintessence Int* 2003;34:370–378.
14. John U, Hensel E, Lüdemann J, Piek M, Sauer S, Adam C, et al. Study of Health in Pomerania (SHIP) - A health examination survey in an east German region: Objectives and design. *Soz Praeventivmed* 2001;46:186–194.
15. Bernhardt O, Biffar R, Kocher T, Meyer G. Prevalence and clinical signs of degenerative temporomandibular joint changes validated by magnetic resonance imaging in a non-patient group. *Ann Anat* 2007;189:342–346.
16. Drace J, Enzmann DR. Defining the normal temporomandibular joint: closed-, partially open-, and open-mouth MR imaging of asymptomatic subjects. *Radiology* 1990;177:67–72.
17. Bumann A, Lotzmann U. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. In: Rateitschak KH, Wolf HF (Eds). *Farbatlanten der Zahnmedizin Bd. 12*, Stuttgart: Thieme-Verlag, 2000.
18. Piehslinger E, Celar A, Celar R, Slavicek R. Elektronische Achsiographie - Prinzip und Methodik. *Z Stomatol* 1992;89:199–218.
19. Schimmerl S, Kramer J, Stiglbauer R, Piehslinger E, Slavicek, Imhof H. MRT des Kiefergelenks. *Fortschr Röntgenstr* 1993;158:192–196.
20. Fleiss JL. *Statistical methods for rates and proportions*, ed 2. New York: Wiley, 1981.
21. Katzberg RW, Westesson PL, Tallents RH, Anderson R, Kurita K, Manzione JV Jr, et al. Temporomandibular joint: MR assessment of rotational and sideways disc displacements. *Radiology* 1988;169:741–748.
22. Solberg WK, Woo MW, Houston JB. Prevalence of mandibular dysfunction in young adults. *J Am Dent Assoc* 1979;98:25–34.
23. Kircos LT, Ortendahl DA, Mark AS, Arakawa M. Magnetic resonance imaging of the TMJ disc in asymptomatic volunteers. *J Oral Maxillofac Surg* 1987;45:852–854.
24. Westesson PL, Eriksson L, Kurita K. Reliability of a negative clinical temporomandibular joint examination: prevalence of disc displacement in asymptomatic temporomandibular joints. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989;68:551–554.
25. Emshoff R, Rudisch A. Validity of clinical diagnostic criteria for temporomandibular disorders: clinical versus magnetic resonance imaging diagnosis of temporomandibular joint internal derangement and osteoarthritis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91:50–55.
26. Emshoff R, Rudisch A, Innerhofer K, Brandlmaier I, Moschen I, Bertram S. Magnetic resonance imaging findings of internal derangement in temporomandibular joints without a clinical diagnosis of temporomandibular disorder. *J Oral Rehabil* 2002;29:516–522.
27. Ohlmann B, Rammelsberg P, Henschel V, Kress B, Gabbert O, Schmitter M. Prediction of TMJ arthralgia according to clinical diagnosis and MRI findings. *Int J Prosthodont* 2006;19:333–338.

## Address/Adresse

Prof. Dr. med. dent. habil. Olaf Bernhardt  
 Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie,  
 Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Ernst-Moritz-Arndt-  
 Universität Greifswald, W.-Rathenau-Str. 42 a, 17475 Greifswald  
 Tel.: +49 (0) 3834 867123  
 E-Mail: obernhar@uni-greifswald.de