

A. Hugger¹, S. Hugger², M. O. Ahlers³, H. J. Schindler⁴, J. C. Türp⁵, B. Kordaß⁶

Movement function of the mandible: A concept for structuring criteria for analysis and for standardizing computer-assisted recordings

Expert statement for developing Diagnostic Criteria for Dysfunction*

Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analyse-kriterien und zur Standardisierung bei der computerunterstützten Aufzeichnung

Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von Diagnostischen Kriterien für Dysfunction*

- | | |
|---|---|
| <p>¹ Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf</p> <p>² Dr. med. dent. Sybille Hugger, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Zentrum für ZMK-Heilkunde der Universität zu Köln</p> <p>³ PD Dr. med. dent. M. Oliver Ahlers, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf sowie Poliklinik für Zahnerhaltung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf</p> <p>⁴ Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Universitätszahnklinik, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg</p> <p>⁵ Prof. Dr. med. dent. Jens C. Türp, Klinik für Rekonstruktive Zahnmedizin und Myoarthropathien, Universitätsklinik für Zahnmedizin, Universität Basel, Schweiz</p> <p>⁶ Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordaß, Abteilung für CAD/CAM- und CMD-Behandlung, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald</p> | <p>¹ Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Department of Prosthodontics, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich Heine University, Düsseldorf, Germany</p> <p>² Dr. med. dent. Sybille Hugger, Department of Prosthodontics, Centre for Dental, Oral and Maxillofacial Medicine, University of Cologne, Germany</p> <p>³ PD Dr. med. dent. Oliver Ahlers, CMD-Centre Hamburg-Eppendorf and Department of Restorative and Preventive Dentistry, School of Dental Medicine, University Medical Centre Hamburg-Eppendorf, Germany</p> <p>⁴ Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, Department of Prosthodontics, Dental School, Ruprecht Karls University, Heidelberg, Germany</p> <p>⁵ Prof. Dr. med. dent. Jens C. Türp, Clinic for Reconstructive Dentistry and Temporomandibular Disorders, Dental School, University of Basel, Switzerland</p> <p>⁶ Prof. Dr. med. dent. Bernd Kordass, Department of CAD/CAM and CMD Treatment, Centre for Dental, Oral and Maxillofacial Medicine, Ernst Moritz Arndt University, Greifswald, Germany</p> |
|---|---|

*Eine Entwurfsfassung des Textes wurde als Expertensternungnahme im Konsensus-Workshop des Arbeitskreises Kau-funktion und Orale Physiologie am 16.11.2012 im Rahmen der 45. Jahrestagung 2012 der DGFDT in Bad Homburg vorgestellt. Die behandelten Aspekte in der sich anschließenden Diskussion wurden in den vorliegenden Text eingearbeitet.

*A draft of this paper was presented as an expert statement on November 16, 2012 at the DGFDT's 45th annual meeting in Bad Homburg, Germany, as part of a consensus workshop held by the Study Group for Oral Physiology and Masticatory Function. Aspects covered in the subsequent discussion were included into the present text.

Introduction

Twenty years ago, Dworkin and LeResche published the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD).¹ They are, meanwhile, widely and internationally used and accepted. The goal in developing the RDC/TMD was to create a reliable diagnostic classification system based on measurable (quantitative) criteria. In addition, research in the field of temporomandibular disorders (TMDs) was to be standardized. The RDC/TMD were to include the most common manifestations of muscle-related or joint-related TMD. *Orofacial pain* was and remains at the focus of TMD-related clinical symptoms since a large majority of patients sees it as the reason for seeking treatment. *Motion restrictions* of the mandible and certain types of *articular sounds* occurring in special TMD subforms are also seen as a reason to seek treatment. Thus, the RDC/TMD do not focus on the dysfunctional aspects of the mandibular movement – apart from the above-mentioned (pain-related or non pain-related) motion restrictions.

In this sense, TMDs and craniomandibular dysfunctions (CMDs) should not be read as synonymous terms for certain musculoskeletal disorders in the region of the face or head, since TMD and CMD focus on different clinical aspects (pain or dysfunction); these can, however, interact (TMDs correspond more closely with the term 'myoarthropathy' or MAP preferred in Switzerland). For example, motor adaptations can develop in association with pain that persists over long periods of time. After eliminating the pain, these do not resolve spontaneously since they have been structurally fixed. In the presence of functional limitations relevant for prosthodontic or restorative measures, eg in tooth loss, elongation or migration, dysfunctional motor adaptations can be expected. In prosthodontic or restorative rehabilitations these should be diagnosed and monitored using instrumental procedures, which should also be used in the biomechanical adaptation of the dentition in adults during orthodontic and/or maxillofacial surgery procedures. The situations described here are meant to exemplify the aim of the concept explained below.

Aims and significance of recording the movement function of the mandible

In contrast to the situation at the time when the RDC/TMD were first published in the early 1990s, today it is possible to obtain computer-assisted objective measurements that are feasible in a clinical setting regarding the functionality or the degree of dysfunctional limitations of the mandibular

Einleitung

Vor 20 Jahren wurden die „Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD)“ von Dworkin und LeResche¹ veröffentlicht. Diese haben international mittlerweile weite Verbreitung und Akzeptanz gefunden. Das Ziel bei der Entwicklung der RDC/TMD war der Aufbau eines reliablen diagnostischen Klassifikationssystems mit messbaren (quantitativen) Kriterien. Zudem sollte eine Standardisierung in der Forschung auf dem Gebiet der temporomandibulären Störungen (engl.: temporomandibular disorders, TMDs) erreicht werden. Die RDC/TMD sollten die häufigsten muskel- bzw. gelenkbezogenen Ausprägungen bei TMD berücksichtigen. Im Fokus der TMD-bezogenen klinischen Merkmale stand und steht dabei besonders der *orofaziale Schmerz*, der bei der überwiegenden Zahl von Patienten als Grund für eine Behandlung angesehen wird. Daneben werden *Bewegungseinschränkungen* des Unterkiefers wie auch bestimmte Ausprägungen von *Gelenkgeräuschen* bei einzelnen speziellen TMD-Formen als behandlungsentscheidend angesehen. RDC/TMD rückt mithin dysfunktionelle Aspekte der Unterkieferbewegungsfunktion nicht ins Zentrum der Betrachtungen, wenn man von den genannten (schmerzassoziierten oder schmerzunabhängigen) Bewegungseinschränkungen einmal absieht.

In diesem Sinne sind „temporomandibular disorders (TMDs)“ und „kranio-mandibuläre Dysfunktionen (CMD)“ nicht als synonyme Begriffe für bestimmte muskuloskelettale Erkrankungen im Gesichts-/Kopfbereich zu verstehen, da TMDs und CMD auf unterschiedliche klinische Aspekte (Schmerz bzw. Dysfunktion) fokussieren; diese können aber miteinander interagieren (TMDs entsprechen eher dem vor allem in der Schweiz favorisierten Begriff der „Myoarthropathien“, MAP). So können sich beispielsweise im Zusammenhang mit lang anhaltenden Schmerzen motorische Adaptationen entwickeln, die nach einer Schmerz-beseitigung nicht spontan reversibel sind, da sie strukturell fixiert wurden. Auch im Rahmen prothetisch-restaurativ relevanter Funktionseinschränkungen – etwa bei Zahnverlust, Zahnelongationen, Zahnwanderungen – sind dysfunktionelle motorische Adaptationen zu erwarten. Diese sollten bei prothetisch-restaurativer Rehabilitation ebenso eine instrumentell basierte Diagnostik und Verlaufskontrolle erfahren wie die biomechanische Umstellung der Gebisse Erwachsener im Rahmen kieferorthopädischer und/oder kieferchirurgischer Maßnahmen. Die dargestellten Situationen umreißen exemplarisch die Zielrichtung des im Folgenden ausgeführten Konzepts.

Ziele und Bedeutung der Erfassung der Bewegungsfunktion des Unterkiefers

Im Gegensatz zur Situation bei Veröffentlichung der RDC/TMD Anfang der 1990er Jahre bestehen heute Möglichkeiten, computerunterstützt und klinisch praktikabel objektive Messwerte über die Funktionstüchtigkeit bzw. den Grad an dysfunktioneller Beeinträchtigung der Unterkieferbewegungsfunktion zu erhalten. Vor diesem Hintergrund erscheint es zeitgemäß und geboten, ein strukturiertes Konzept zur Beurteilung der Bewegungsfunktion und zur Standardisierung ihrer Erfassung vorzulegen. Das Ziel dieser standardisierten Erfassung ist es, eine Abgrenzung dysfunktioneller Befunde von physiologischen „eufunktionellen“ Erscheinungsformen zu ermöglichen. Die klinische Perspektive besteht darin, auf dieser Grundlage patientenorientierte therapierelevante Kriterien für Dysfunktion zu entwickeln.

Eine systematische Grundlage hinsichtlich entsprechender Empfehlungen für die Praxisanwendung und für die klinische Forschung gibt es bislang nicht; es fehlt dafür die erforderliche Standardisierung, wodurch eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen nicht gegeben ist. Zukünftige diagnostische Kriterien für Dysfunktion müssen diese Aspekte aufgreifen, aber in entscheidender Hinsicht auch Therapierrelevanz besitzen und geeignet sein, eine Verbesserung der Funktion im Sinne einer biomechanischen Optimierung abzubilden.

Die Erfassung der Unterkieferbewegung mittels geeigneter computerunterstützter Messsysteme erfolgt in der Absicht:

- den auf die Unterkieferbewegung zielenden Funktionszustand in umfassender Art und Weise quantitativ und qualitativ zu ermitteln,
- Anhaltspunkte für die Verbesserung des Funktionsgeschehens zu gewinnen und
- Veränderungen im Verlauf therapeutischer Bemühungen zu dokumentieren.

Damit kommt der Aufzeichnung von Unterkieferbewegungen eine diagnostisch befundorientierte wie auch therapeutisch planende und den Therapieverlauf dokumentierende Bedeutung zu.

Im klinisch-praktischen Geschehen erfolgt die Bewegungsaufzeichnung einerseits im Kontext einer *funktionsdiagnostischen* Betrachtung: Die Erfassung und die Beurteilung des aktuellen Funktionszustandes eines Patienten vor, während oder nach therapeutischen Interventionen stehen im Vordergrund. Übertragen auf andere Bereiche des muskuloskelettalen Systems ist die zahnärztliche

movements. Given this, it seems opportune and imperative to present a structured concept for assessing the mandibular range of motion and for standardizing its registration. It is the aim of a standardized registration to allow for a distinction between dysfunctional findings and physiological, "eufunctional" manifestations to be made. The clinical perspective would be to develop criteria for dysfunctions relevant for treatment and centering around the patients on this basis.

To date there is no systematic basis for appropriate recommendations, either for daily practice or clinical research; the necessary standardization that would ensure the comparability of results is still missing. Future diagnostic criteria for dysfunctions will have to take up these issues but at the same time they will have to be significantly relevant for treatment and they will have to be able to represent improvement of function in the sense of biomechanical optimization.

The registration of the mandibular movement with the help of suitable computer-assisted measuring systems is carried out to:

- Determine the state of function with respect to mandibular movement both quantitatively and qualitatively in a comprehensive manner.
- Obtain pointers for an improvement of the functional situation.
- Document changes over the course of therapeutic efforts.

The registration of mandibular movements therefore is meaningful for establishing a diagnosis, for treatment planning and for documenting the treatment progress.

In a clinical or practical situation, motion registration is a means of *functional diagnostics* on the one hand. Here, the assessment and evaluation of the current functional status of a given patient prior to, during or after a therapeutic intervention are at the center of attention. In principle, if transferred to other regions of the musculoskeletal system, the dental functional diagnosis is comparable with the gait analysis in the field of orthopedics/surgery or with other instrumental diagnostic procedures in rehabilitation or sports medicine.

On the other hand, the dental motion registration provides concrete data for a *functional treatment approach*. In particular, this generates patient-specific values for articulator settings, which can be used in designing customized occlusal surfaces. This allows laboratory-made restorations to be optimized for each patient and will directly influence the prosthodontic or restorative treatment.

Perspectives and criteria for determining movement function

To analyze the movement function of the mandible, several perspectives have to be considered, which can be summarized in a **matrix of criteria**. The movement function is influenced by the structural conditions in the different sets of criteria. The relationship between structure and function, however, is by no means uniform, but rather complex in some individuals. This means that a prognosis of one component derived from the other would be very insecure in an individual case. The following perspectives of function can be distinguished:

- The jaw **movement capacity** represents the extent of the maximum motion possible in the sense of what is termed "border movements" of the mandible.
- The **coordination** describes the course of movements at a certain recording point and the relationship between sequences of movements on the right and left sides of the mandible.
- **Occlusal centricity** and the **analysis of the position of the condyles** provide information about the stability and reproducibility of the mandibular initial/reference position (maximum intercuspation) on the one hand, but can also deliver data regarding changes of the mandibular position in relation to the reference position.
- In addition to mandibular kinematics, the **muscle function** is of particular importance. An assessment of the electromyographic activity with respect to intensity and the ratio between the two sides yields information about activity at rest and during biting, and about the fatigue behavior.
- In connection with this, the **masticatory function** is examined separately from a purely kinematic perspective or through the electromyography associated with it.

Parameters of motion analysis

The different levels of perspective described above can be correlated with quantitative and metric, but also with some qualitative and categorical parameters permitting an analysis of movement function for developing diagnostic criteria for dysfunctions. Table 1 shows the relationship between the level of perspective with the corresponding parameters for analysis and the possible categories for dysfunctions. Table 2 correlates the parameters for analysis with types of scaling and possible aspects for their interpretation.

Funktionsdiagnostik hierbei mit der Ganganalyse im orthopädisch-chirurgischen Bereich oder mit anderen instrumentellen Untersuchungsverfahren der Rehabilitations- und Sportmedizin grundsätzlich vergleichbar.

Darüber hinaus liefert die zahnärztliche Bewegungsaufzeichnung auch konkrete Daten im Sinne einer *funktionsorientierten therapeutischen* Ausrichtung. Hierbei werden insbesondere für die individuelle Okklusalfächengestaltung patientenorientierte Werte für die Artikulatoreinstellung generiert. Dies ermöglicht es, zahntechnische Arbeiten auf den Patientenfall optimiert auszurichten und beeinflusst die prothetisch-restaurative Therapie unmittelbar.

Betrachtungsebenen und Kriterien der Bewegungsfunktion

Die Analyse der Bewegungsfunktion des Unterkiefers erfordert die Berücksichtigung mehrerer Betrachtungsebenen, die zusammen eine **Kriterienmatrix** ergeben. Die Bewegungsfunktion wird in den verschiedenen Kriterienbereichen von strukturellen Gegebenheiten beeinflusst. Die Struktur-Funktions-Beziehung ist dabei jedoch keinesfalls uniform, sondern individuell recht komplex, sodass die Voraussage der einen Komponente aus der anderen im Einzelfall mit großer Unsicherheit behaftet ist. Folgende Betrachtungsebenen der Funktion lassen sich unterscheiden:

- Die **Bewegungskapazität** erfasst das Ausmaß maximaler Bewegungsmöglichkeiten im Sinne der sogenannten Grenzbewegungen.
- Die **Koordination** berücksichtigt den Verlauf von Bewegungen am jeweiligen Betrachtungsort sowie die Beziehung von Bewegungsabläufen zwischen rechter und linker Unterkieferseite.
- Die **okklusale Zentrierung** sowie die **Analyse der Kondylenposition** geben einerseits Auskunft über Stabilität und Reproduzierbarkeit des Unterkiefers in Ausgangs-/Referenzposition (habituelle Interkuspitation), können andererseits aber Informationen zu Positionsänderungen des Unterkiefers in Bezug zur Referenzposition geben.
- Neben der Kinematik des Unterkiefers ist die **Muskel-funktion** von Bedeutung. Dabei ermöglicht die Auswertung der elektromyografischen Aktivität nach der Höhe und dem seitenbezogenen Verhältnis Angaben zur Ruheaktivität, der Aufbissaktivität und dem Ermüdungsverhalten.
- Die **Kaufunktion** wird in diesem Zusammenhang unter dem Blickwinkel der reinen Kinematik bzw. der Kinematik-assoziierten Elektromyografie gesondert betrachtet.

Analyseparameter der Bewegungsfunktion

Den aufgeführten Betrachtungsebenen lassen sich Parameter zuordnen, die es gestatten, eine quantitativ metrische – teilweise auch qualitativ kategoriale – Analyse der Bewegungsfunktion vorzunehmen, um auf diese Weise diagnostische Kriterien für Dysfunktionen zu erarbeiten. Tabelle 1 zeigt die Verknüpfung von der Betrachtungsebene mit entsprechenden Analyseparametern und möglichen Kategorien für Dysfunktionen. Tabelle 2 ordnet den Analyseparametern das Skalierungsniveau und mögliche Gesichtspunkte für die Auswertung zu.

Anforderungen in Bezug auf eine Standardisierung

Um die aufgeführten Analyseparameter zuverlässig (d. h. valide und reliabel) erheben zu können, sind Standardisierungsmaßnahmen auf verschiedenen Ebenen unerlässlich. Diese betreffen:

- die messtechnischen Grundlagen,
- die Referenzierung des Koordinatensystems (Referenzpunkte, Bezugsebene),
- das eigentliche Untersuchungsprotokoll,
- die Auswertung der Aufzeichnungen.

Die aufgeführten Analyseparameter setzen Messsysteme voraus, die alle sechs Freiheitsgrade der Mandibulabewegung erfassen können, um eine Darstellung und Analyse von Bewegungen im kondylennahen, inzisalen und gegebenenfalls auch okklusalen Bereich zu ermöglichen. Zur Erfassung der Aktivität einzelner Kaumuskeln ist zusätzlich eine EMG-Messeinheit erforderlich, die bei entsprechenden Fragestellungen (u. a. Kaubewegungsanalyse mit EMG) mit kinematischer Messwerterfassung synchronisiert ist. Messsysteme zur Bewegungsaufzeichnung, die nicht alle Freiheitsgrade berücksichtigen bzw. die nicht über entsprechende EMG-Einheiten verfügen, können somit nur für einzelne Teilaspekte der Bewegungsanalyse herangezogen werden.

a) Standardisierung der messtechnischen Grundlagen

- Dreidimensionale Auflösung der kinematischen Messdaten im Bereich von mindestens 0,4 mm,
- zeitliche Auflösung der kinematischen Messdaten bei mindestens 50 Hz,
- dreidimensionale Aufzeichnung mit Zeitbezug unter Berücksichtigung aller sechs (translativer und rotativer)

Requirements for standardization

To be able to determine the above-mentioned parameters for analysis in a reliable and valid way standardization measures are essential on several levels. These are:

- The underlying measuring techniques.
- Referencing the coordinate system (reference points, reference planes).
- The actual examination protocol.
- The analysis of the recordings.

The listed parameters for analysis require measuring systems that are capable of recording all six degrees of freedom of the mandibular movement. Only this will allow a representation and analysis of movements in the regions close to the condyles, the incisal and, if needed, the occlusal regions. To be able to measure the activity of individual masticatory muscles, an additional electromyography (EMG) measuring unit is required that is synchronized with a kinematic measuring system for certain types of questions (eg masticatory movement analysis with EMG). Measuring systems for recording movements that do not take into account all degrees of freedom or do not have the required EMG units can only be used for individual subaspects of motion analysis.

a) Standardization of basic measuring techniques

- Three-dimensional resolution of kinematic measuring data in a range of at least 0.4 mm.
- Temporal resolution of kinematic measuring data of at least 50 Hz.
- Three-dimensional recording with timestamp considering all six degrees of freedom (translational and rotational) of mandibular movements (measuring dimension).
- Measurement time minimum as long as it takes to record the mandibular movements to be examined (especially to record the entire chewing sequence).
- Reproducible establishment of reference points (eg for documentation of functional changes over time).
- Paraocclusal attachment of mandibular sensors.

b) Standardization of the coordinate system

- Reference points in relation to temporomandibular joints and cranium: 2 points close to the joints (right and left), 1 anterior point (infraorbital point right) to determine the reference plane.
- Anatomically determined reference points close to the joint to ensure a clinically acceptable reproducibility

Table 1 Summary of the sets of criteria (levels of perspective) of mandibular movement function, the pertinent parameters for analysis and possible categories for dysfunctions

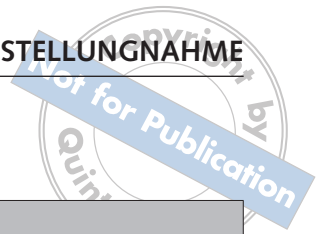
Set of criteria	Parameters for analysis	Type of dysfunction
Movement capacity	<i>Metrical:</i> Condylar relationship – length of trajectory Incisal relationship – length of trajectory Rotative in toto – angle of coordination/swinging	Hypermobility Limitation Asymmetry
Coordination	<i>Metrical:</i> In relation to condyles (right/left) relation between translation/rotation Rotative in toto angle of coordination/swinging <i>Categorical:</i> In relation to condyles (right/left) – form/shape of motion – course of velocity – coordination of sides In relation to incisal point – shape of motion	Discoordination (peculiarities in the motion sequence at the site of registration or in the relationship between right and left side)
Occlusal centricity	<i>Metrical:</i> In relation to incisal or occlusal reference – stability (w/wo masticatory function) <i>Partly in conjunction with instrumental occlusal analysis:</i> Static Dynamic	Decentricity Non-occlusion Occlusal interferences – disturbing/deflective contacts – slide disturbances
Condylar position	<i>Metrical:</i> In relation to condyles (right/left) – stability – congruence of positions (in habitual occlusion, centric occlusion, other jaw positions at a certain point in time and over time)	Instability Change of position
Muscle function	<i>Metrical (examined in pairs):</i> Activity at rest Biting activity (maximum/submaximum) Fatigue test	Hyperactivity Decreased activity Fatigue Muscular imbalance
Masticatory function (kinematically)	<i>Metrical (in relation to incisal point):</i> Number of chewing cycles Chewing frequency Duration of chewing sequence <i>Categorical:</i> Chewing pattern	Compromised masticatory function Uncoordinated chewing pattern Monotony (stereotypy)
Masticatory function (kinematic EMG)	<i>Metrical:</i> Muscle work Asymmetry index (AI) Deliberate chewing index (DCI)	Compromised masticatory function Asymmetry

Tab. 1 Übersicht über Kriterienbereiche (Betrachtungsebenen) der Bewegungsfunktion, dazugehörige Analyseparameter und mögliche Kategorien für Dysfunktionen.

Kriterienbereich	Analyseparameter	Dysfunktionsformen
Bewegungskapazität	<i>metrisch:</i> kondylärer Bezug (rechts/links) – Länge der Bewegungsbahn inzisaler Bezug – Länge der Bewegungsbahn rotativ in toto – Schwenk-/Koordinationswinkel	Hypermobilität Limitation Asymmetrie
Koordination	<i>metrisch:</i> kondylärer Bezug (rechts/links) – Translations-/Rotationsbeziehung rotativ in toto – Schwenk-/Koordinationswinkel <i>kategorial:</i> kondylärer Bezug (rechts/links) – Bewegungsform – Geschwindigkeitsverlauf – Seitenkoordination inzisaler Bezug – Bewegungsform	Diskoordination (Besonderheiten im Bewegungsablauf am Ort der Betrachtung bzw. in der Beziehung zwischen rechter und linker Seite)
okklusale Zentrierung	<i>metrisch:</i> inzisaler bzw. okklusaler Bezug – Stabilität (mit/ohne Kaufunktion) <i>teilweise in Verbindung mit instr. Okklusionsanalyse:</i> in Statik in Dynamik	Dezentrierung Nonokklusion okklusale Interferenzen: – Störkontakte/Deflektionskontakte) – Gleithindernisse
Kondylenposition	<i>metrisch:</i> kondylärer Bezug (rechts/links) – Stabilität – Übereinstimmung von Positionen (in habitueller Okklusion, zentrischer Okklusion, anderen Kieferpositionen zu einem Zeitpunkt und im Verlauf)	Instabilität Lageveränderung
Muskelfunktion	<i>metrisch:</i> (paarige Betrachtung) Ruheaktivität Aufbissaktivität (maximal/ submaximal) Ermüdungstest	Hyperaktivität Aktivitätsverlust Ermüdung (Fatigue) Dysbalance
Kaufunktion (kinematisch)	<i>metrisch:</i> (inzisaler Bezug) Kauzyklenzahl Kaufrequenz Kausequenzdauer <i>kategorial:</i> Kaumuster	kompromittierte Kaufunktion diskoordiniertes Kaumuster Monotonie (Stereotypie)
Kaufunktion (kinematische EMG)	<i>metrisch:</i> Muskelarbeit Asymmetrie-Index (AI) Deliberate-Chewing-Index (DCI)	kompromittierte Kaufunktion Asymmetrie

Table 2 Summary of the parameters for analysis, their type of scaling, and possible categorization

Parameters for analysis	Type of scale	Comments
Length of condylar path right/left in jaw opening, protrusion, laterotrusion	Metrical	Also comparison between sides
Length of incisal path in jaw opening, protrusion, laterotrusion	Metrical	
Rotation capacity in jaw opening	Metrical	
Course of condylar movement r/l in jaw opening, protrusion, laterotrusion	Categorical	Curved Leaping/jumping Straight/inverse Irregular
Course of incisal movement in jaw opening	Categorical	Straight Deviation Deflection right/left Irregular
Angle of coordination/swinging in jaw opening, protrusion, laterotrusion	Metrical	
Coordination of condyles in jaw opening, protrusion	Categorical	Parallelism Slightly non-parallelism/transition Marked non-parallelism
Condylar translation/rotation r/l in jaw opening	Categorical	[Pattern categorization]
Course of condylar velocity r/l in jaw opening	Categorical	One-peaked Two-peaked Multi-peaked
Stability of static occlusion (incisal) habitual intercuspation/centric occlusion	Metrical	Degree of variance
Changes of condylar positions r/l relative to reference position	Metrical	State respective reference (maximum intercuspation)
Muscle function parameters: – Activity at rest – Biting activity – Fatigue test	Metrical Metrical Metrical	Pairwise comparison of masseter and anterior temporal muscles using surface EMG: Level and progression of activity and comparison of sides
Kinematic parameters of masticatory function: – Number of chewing cycles – Chewing frequency – Duration of chewing sequence – Chewing pattern	Metrical Metrical Metrical Categorical	Observation at incisal point [Categorization of chewing pattern considering intrusive pathway]
Kinematic EMG parameters of masticatory function: – Muscle work – Asymmetry index (AI) – Deliberate chewing index (DCI)	Metrical Metrical Metrical	With surface EMG: Per individual muscle Per muscle pair Per individual muscle



Tab. 2 Übersicht über Analyseparameter, deren Skalierung und eine mögliche Kategorisierung.

Analyseparameter	Skalierung	Bemerkungen
Kondylenbahnlänge rechts bzw. links bei Kieferöffnung, Vorschub, Seitenschub	metrisch	auch Seitenvergleich
Inzisalbahnlänge bei Kieferöffnung, Vorschub, Seitenschub	metrisch	
Rotationskapazität bei Kieferöffnung	metrisch	
Ablauf der Kondylenbewegung re./li. bei Kieferöffnung, Vorschub, Seitenschub	kategorial	kurvenförmig sprunghaft geradlinig/invers irregulär
Ablauf der Inzisalbewegung bei Kieferöffnung	kategorial	geradlinig Deviation Deflexion rechts/links irregulär
Schwenkwinkel/Koordinationswinkel bei Kieferöffnung, Vorschub, Seitenschub	metrisch	
Kondylenkoordination bei Kieferöffnung, Vorschub	kategorial	Parallelität leichte Disparallelität/Übergang deutliche Disparallelität
kondyläre Translation/Rotation re./li. bei Kieferöffnung	kategorial	[Mustertypisierung]
kondylärer Geschwindigkeitsverlauf re./li. bei Kieferöffnung	kategorial	eingipflig zweigipflig mehrgipflig
Stabilität der statischen Okklusion (inzisal) habituelle Interkuspitation/zentrische Okklusion	metrisch	Ausmaß der Streuung
Kondylenpositionsveränderungen re./li. in Bezug auf Referenzposition	metrisch	jeweilige Referenz angeben (habituelle Interkuspitation)
<i>Parameter zur Muskelfunktion:</i> – Ruheaktivität – Aufbissaktivität – Ermüdungstest	metrisch metrisch metrisch	paarige Betrachtung bei M. masseter, M. temporalis anterior mithilfe der Oberflächen-EMG: Höhe und Verlauf der Aktivität sowie Seitenvergleich
<i>kinematische Parameter zur Kaufunktion:</i> – Kauzyklenanzahl – Kaufrequenz – Kausequenzdauer – Kaumuster	metrisch metrisch metrisch kategorial	Betrachtung am Inzisalpunkt [Mustertypisierung unter Berücksichtigung des Einschwingens]
<i>kinematische EMG-Parameter bei Kaufunktion:</i> – Muskelarbeit – Asymmetrie-Index (AI) – Deliberate-Chewing-Index (DCI)	metrisch metrisch metrisch	mit Oberflächen-EMG: – je Einzelmuskel – je Muskelpaar – je Einzelmuskel

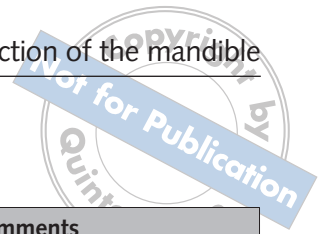
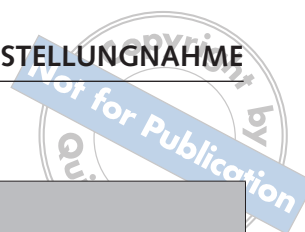


Table 3 Suggestions for drafting examination protocols

Segment of movement recording	For each movement recording	Comments
Kinematics with masticatory function (w/wo EMG)	Movements should be from a reproducible initial position (usually maximum intercuspation)	
MVC (max voluntary contraction) in EMG	Maximum biting force	On cotton rolls
Jaw opening	Opening far and closing (3x)	Medium velocity (1 Hz)
Protrusion	Far protrusion movement with slight tooth guidance and retrusion (3x)	
Laterotrusion	Laterotrusion to far right with slight tooth guidance, back to initial position, then left, back again (2x)	
Posselt sagittal	Maximum protrusion, maximum opening, then retrusion with closing (2x)	Medium velocity
Posselt frontal	Maximum laterotrusion to right, arc-shaped maximum opening towards middle, then closing towards initial position, maximum laterotrusion to left, arc-shaped maximum opening towards middle, then closing towards initial position (2x)	
Free chewing	Chewable material on tongue, start recording with taking the initial position, patient is not prompted to chew on a particular side, chewing until patient swallows	Wine gum (gummy bears) as standardized chewable material
Chewing on right	Chewable material on tongue, start recording with taking the initial position, patient is prompted to chew on right side until patient swallows	Wine gum (gummy bears) as standardized chewable material
Chewing on left	Chewable material on tongue, start recording with taking the initial position, patient is prompted to chew on left side until patient swallows	Wine gum (gummy bears) as standardized chewable material

Analysis in relation to articulator setting	Movements from a reproducible initial position	
Protrusion	Far protrusion movement with slight tooth guidance and retrusion (3x)	
Laterotrusion to right	Laterotrusion to far right with slight tooth guidance, back to initial position (3x)	
Laterotrusion to left	Laterotrusion to far left with slight tooth guidance, back to initial position (3x)	

Analysis of condylar position in the patient		
	Patient takes reference position → measurement Patients takes a position for comparison (1) → measurement Patients takes a position for comparison (2) → measurement	



Analysis of condylar position in a stationary measuring instrument with mounted casts		
	Registration of reference position Registration of a position for comparison (1) Registration of a position for comparison (2)	
	Registration of positions using records from previous examinations if applicable (for recording changes over time)	

Electromyography (masseter and anterior temporalis muscles on both sides)	Subject/patient sits in a quiet room for 10 minutes	
Relaxation	Subject/patient is asked to take resting position of the mandible with relaxed muscles over 10 seconds	Eyes closed, lips contacting lightly
Biting test 1	Subject/patient is asked to bite down with maximum force in maximum intercuspation for 2 seconds, 3 times	Eyes open
Biting test 2	Subject/patient is asked to bite down on a moistened cotton roll with maximum force for 2 seconds, 3 times	Eyes open
Fatigue test	Subject/patient is asked to bite down on a cotton roll with maximum force for 20 seconds	Eyes open

Freiheitsgrade der Unterkieferbewegung (Messdimension),

- Messdauer mindestens so lange, wie die zu untersuchenden Unterkieferbewegungen es erfordern (vor allem zur Erfassung der gesamten Kausequenz),
- reproduzierbares Abgreifen von Referenzpunkten (u. a. zur Dokumentation funktioneller Veränderungen im Verlauf),
- paraokklusale Befestigung der Unterkiefersensoren.

b) Standardisierung des Koordinatensystems

- Schädelgelenkbezügliche Referenzpunkte: 2 gelenknahe Punkte (rechts bzw. links), 1 anteriorer Punkt (Infraorbitalpunkt rechts) zur Bestimmung der Bezugsebene,
- *anatomisch* bestimmte, gelenknahe Referenzpunkte zur Sicherstellung einer klinisch akzeptablen Reproduzierbarkeit (± 1 mm) und intra- und interindividuellen Vergleichbarkeit der kinematischen Messdaten,
Vorschlag 1: 11 mm von der Mitte des Tragus in Richtung des lateralen Augenwinkels (Kanthus), 4 mm lotrecht nach kaudal,
Vorschlag 2: 12 mm vom Oberrand des Tragus in Richtung des lateralen Augenwinkels, 3 mm lotrecht nach kaudal.

(± 1 mm) and intra- and interindividual comparability of kinematic measuring data.

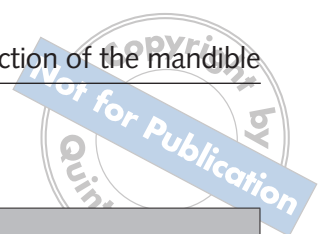
Suggestion 1: 11mm from the middle of the auricular tragus towards the lateral canthus, 4 mm vertically caudalward.

Suggestion 2: 12 mm from the upper margin of the auricular tragus towards the lateral canthus, 3 mm vertically caudalward.

If *kinematically* determined reference points are selected (individual centric axis points, kinematic axis points or center points) they should be "located anatomically", i.e. they should be within a scatter field with a radius of 5 mm around an anatomical reference point to ensure comparability of the results. If a treatment progress is to be documented, it is imperative to ensure that the same points are located again.

c) Standardization of examination protocols

To account for intraindividual variability it is useful to carry out every segment of the movement recording at least twice. For reasons of clinical feasibility, it should be possible to take the entire set of measurements within a reasonable amount of time – depending on the problem in question.



Tab. 3 Vorschläge zur Ausgestaltung von Untersuchungsprotokollen.

Segment der Bewegungsaufzeichnung	je Bewegungsaufzeichnung	Bemerkungen
Kinematik mit Kaufunktion (mit/ohne EMG)	Bewegungen aus einer möglichst reproduzierbaren Ausgangsposition heraus (meist habituelle Okklusion)	
MVC (maximale voluntäre Kontraktion) bei EMG	maximaler Aufbiss	auf Watterollen
Kieferöffnen	dreimaliges weites Öffnen und Schließen	mittlere Geschwindigkeit (1 Hz)
Protrusion	dreimaliger weiter Vorschub mit leichter Zahnführung und Rückschub	
Laterotrusion	weiter Seitenschub nach rechts mit leichter Zahnführung, zurück in Ausgangsposition, dann nach links, dann zurück; das Ganze insgesamt zweimal	
Posselt sagittal	maximaler Vorschub, maximales Öffnen, dann Rückschub mit Schließen; das Ganze insgesamt zweimal	mittlere Geschwindigkeit
Posselt frontal	maximaler Seitenschub nach rechts, bogenförmiges maximales Öffnen in die Mitte, dann Schließen in Ausgangsposition, maximaler Seitenschub nach links, bogenförmiges maximales Öffnen in die Mitte, dann Schließen in Ausgangsposition; das Ganze insgesamt zweimal	
freies Kauen	Kaugut auf der Zunge, Start der Aufzeichnungen mit Einnahme der Ausgangsposition, Kauen <i>ohne Seitenvorgabe</i> bis zum Schlucken	Weingummi (Gummibärchen) als standardisiertes Kaugut
Rechtskauen	Kaugut auf der Zunge, Start der Aufzeichnungen mit Einnahme der Ausgangsposition, Kauen mit Vorgabe der <i>Kauseite rechts</i> bis zum Schlucken	Weingummi (Gummibärchen) als standardisiertes Kaugut
Linkskauen	Kaugut auf der Zunge, Start der Aufzeichnungen mit Einnahme der Ausgangsposition, Kauen mit Vorgabe der <i>Kauseite links</i> bis zum Schlucken	Weingummi (Gummibärchen) als standardisiertes Kaugut
Artikulatorbezogene Analyse	Bewegungen aus einer reproduzierbaren Ausgangsposition heraus	
Protrusion	weiter Vorschub mit leichter Zahnführung und Rückschub; insgesamt dreimal	
Laterotrusion nach rechts	weiter Seitenschub nach rechts mit leichter Zahnführung, zurück in Ausgangsposition; das Ganze insgesamt dreimal	
Laterotrusion nach links	weiter Seitenschub nach links mit leichter Zahnführung, zurück in Ausgangsposition; das Ganze insgesamt dreimal	

Kondylenpositionsanalyse am Patienten		
	Einnahme der Referenzposition → Messung Einnahme einer Vergleichsposition (1) → Messung Einnahme einer Vergleichsposition (2) → Messung	

Kondylenpositionsanalyse am stationären Messinstrument mit montierten Modellen		
	Registrierung der Referenzposition Registrierung einer Vergleichsposition (1) Registrierung einer Vergleichsposition (2) ... evtl. Registrierung von Positionen mittels Registraten aus früheren Untersuchungen (zwecks Erfassung von Veränderungen über die Zeit)	

Myografie (M. masseter beidseitig, M. temporalis anterior beidseitig)	Proband / Patient sitzt in ruhigem Raum für 10 Minuten	
Relaxation	Einnahme der UK-Ruhelage, Muskulatur entspannt, über 10 Sekunden	Augen geschlossen, Lippen in leichtem Kontakt
Aufbisstest 1	maximaler Aufbiss in habitueller Interkuspitation über 2 Sekunden, dreimal	Augen geöffnet
Aufbisstest 2	maximaler Aufbiss auf angefeuchtete Watterolle über 2 Sekunden, dreimal	Augen geöffnet
Ermüdungstest	maximaler Aufbiss auf Watterolle über 20 Sekunden	Augen geöffnet

Bei der Auswahl *kinematisch* bestimmter Referenzpunkte (individuelle zentrische Achspunkte, kinematische Achspunkte bzw. Zentrumspunkte) sollten diese „anatomisch verortet“ sein, d. h. sich in einem Streufeld mit 5 mm-Radius um anatomische Referenzpunkte befinden, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Bei der Verlaufsdokumentation sollte unbedingt gewährleistet sein, dass die gleichen Punkte wieder aufgesucht werden.

c) Standardisierung der Untersuchungsprotokolle

Zur Berücksichtigung der intraindividuellen Variabilität ist es sinnvoll, jedes Segment der Bewegungsaufzeichnung mindestens zweimal durchzuführen. Aus Gründen der klinischen Praktikabilität sollte der Messumfang – in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung – in überschaubarer Zeit umzusetzen sein.

References

1. Dworkin SF, LeResche L. Research diagnostic criteria for temporomandibular disorders: review, criteria, examinations and specifications, critique. *J Craniomandib Disord Facial Oral Pain* 1992;6:301-355.

Address/Adresse

Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger,
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik,
Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich-Heine-Universität,
Moorenstr. 5, D-40225 Düsseldorf, Germany
E-Mail: hugger@uni-duesseldorf.de