

M. Trocha<sup>1</sup>, M. Stehl<sup>2</sup>, R. Gewissen<sup>3</sup>, N. Lüttig<sup>4</sup>, T. Schöttker-Königer<sup>5,6</sup>

# Zuverlässigkeit der instrumentellen Analyse temporomandibularer Bewegungen mit dem Jaw Motion Analyser



M. Trocha

## *Reliability of electronic analysis of jaw kinematics with the Jaw Motion Analyser*

**Einführung:** 3-dimensionale, elektronische Registrierungsverfahren am Kausystem zur Bestimmung der Einstellparameter von Artikulatoren finden in der Zahnmedizin zunehmend Anwendung. Es liegen zur Reliabilität dieser Verfahren bisher wenige Erkenntnisse aus Messungen am Menschen vor. Diese Studie untersuchte die Intrarater-Reliabilität der 3-dimensionalen Kieferregistrierung mit dem Jaw Motion Analyser zur Bestimmung der Artikulatoreinstellparameter und zur temporomandibularen Bewegungsanalyse.

**Methode:** An 11 Menschen ohne wesentliche Einschränkungen in der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität wurde im Abstand von jeweils sieben Tagen von einem Untersucher fünfmal eine elektronische Registrierung der Mandibulabewegungen vorgenommen. Daraus wurden die auf die kinematische Achse bezogenen Einstellparameter zur Artikulatorprogrammierung und das Bewegungsausmaß ermittelt. Die kleberfreie Durchführung mit einem Messzyklus je Bewegungsrichtung orientierte sich an einem in der Praxis häufig angewandten Prozedere. Als Kennwerte der Reliabilität wurden die Intraklassen Korrelation (engl.: intraclass correlation, ICC), der Standardfehler der Messung (engl.: standard error of measurement, SEM) und die Nachweisgrenze (engl.: minimal detectable change, MDC) als absoluter ( $MDC_{95}$ ) und relativer ( $MDC(\%)_{95}$ ) Wert berechnet.

**Ergebnisse:** Die ICCs der Artikulatoreinstellparameter sind für die sagittale Gelenkbahnneigungen rechts und links gut bis exzellent (0,74 bzw. 0,81), für Bennett Winkel und Frontellerneigungen moderat bis gut (0,44–0,79) und für Seiten-

**Introduction:** In dentistry the use of 3-dimensional electronic movement registration devices for determining the setting values to program fully adjustable articulators is quiet common. Yet there is lack of reliability of these devices for measurements on human beings. This study investigated the intrarater reliability of the 3-dimensional mandibular movement analysis with the Jaw Motion Analyser for articulator programming and kinematic analysis programs.

**Methods:** In 11 subjects without major loss of oral health related quality of life electronic registration of jaw motion was conducted by one investigator five times every seven days. Setting values on relation to the kinematic axis for programming fully adjustable articulators and range of motion were assessed. Measure conditions were based on a common procedure using a glueless fixation of the mandibular sensor and a single movement registration. As reliability values intraclass correlation (ICC), standard error of measurement (SEM), absolute ( $MDC_{95}$ ) and relative minimal detectable change ( $MDC(\%)_{95}$ ) were calculated.

**Results:** ICCs for setting values of articulator were substantial to almost perfect for horizontal condyle inclination on both sides (0,74–0,81), moderate to substantial (0,44–0,79) for Bennett angle and frontal plate inclinations and fair to substantial for sideshift and retrusion (0,27–0,76). SEM and  $MDC(\%)_{95}$  of horizontal condyle inclination were 4,5° and 25 %. For Bennett angle SEM was calculated 3,2° (3,7°), for frontal plate inclination 8,9°–11,4°.  $MDC(\%)_{95}$  of these parameters ranged from 55–79 %.  $MDC(\%)_{95}$  of sideshift und re-

<sup>1</sup> Physiotherapie Marcus Trocha, Dresden

<sup>2</sup> Praxis für Zahnmedizin Marco Stehl, Dresden

<sup>3</sup> Robert Gewissen Zahntechnikermeister

<sup>4</sup> Ad Rem Zahntechniklabor, Dresden

<sup>5</sup> Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Fachhochschule Hildesheim, Fakultät Soziale Arbeit und Gesundheit, Hildesheim

<sup>6</sup> Krankengymnastik Schöttker-Königer, Fürstenfeldbruck

Peer-reviewed article: eingereicht: 01.11.2010, revidierte Fassung akzeptiert: 07.02.2011

DOI 10.3238/dzz.2011.0580

versatz des Mediotrusionskondylus (engl.: initial sideshift, ISS) und Retrusion schwach bis gut (0,27–0,76). SEM und  $MDC(\%)_{95}$  der sagittalen Gelenkbahnneigung liegen bei 4,5° bzw. 25 %. Für den Bennett Winkel liegt der SEM bei 3,2° (3,7°), für die Fronttellerneigungen 8,9°–11,4°.  $MDC(\%)_{95}$  dieser Größen reicht von 55–79 %. Der  $MDC(\%)_{95}$  von ISS und Retrusion ist größer als 100 %. Die ICCs für die verschiedenen Bewegungsausmaße sind schwach bis exzellente (0,49–0,96).  $MDC(\%)_{95}$  liegen zwischen 16–42 %.  $MDC(\%)_{95}$  des Ausmaßes der retralen Bewegungsrichtung liegt über 100 %.

**Schlussfolgerung:** Für die meisten Parameter liegt gute bis exzellente Intraklassen Korrelation vor. Die relative Nachweisgrenze  $MDC(\%)_{95}$  weist auf eine große intraindividuelle Variabilität der Bewegungen hin. Wiederholte Mundbewegungen derselben Person fallen also deutlich unterschiedlich aus. Aufgrund der gefundenen Variabilität empfehlen die Autoren zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit die Verwendung eines Gewebeklebers zur starren Sensor-Unterkiefer-Verbindung und die Aufzeichnung von mindestens drei Messzyklen je Bewegungsrichtung.

(Dtsch Zahnärztl Z 2011, 66: 580–589)

*Schlüsselwörter:* Jaw Motion Analyser, Intrarater-Reliabilität, Artikulatorprogrammierung, Bewegungsanalyse, Intraklassen Korrelation, Nachweisgrenze

## 1 Einleitung

Zur Analyse der vorhandenen statischen und dynamischen Okklusalverhältnisse sowie für die Erstellung von Zahnersatz und therapeutischen Okklusionsschienen werden die Modelle von Ober- und Unterkiefer in einen Artikulator montiert. Ziel bei der Montage der Modelle in den Artikulator ist es, den tatsächlichen Okklusalverhältnissen im entsprechenden Subjekt möglichst nahe zu kommen [13–15]. Im Unterschied zu mittelwertig aufgebauten Artikulatoren bieten moderne, sogenannte vollprogrammierbare Artikulatoren dazu die individuelle Einstellung von sagittaler Gelenkbahnneigung (engl.: horizontal condyle inclination, HCI), Bennett Winkel (BEN), Seitenversatz des Mediotrusionskondylus (engl.: initial side shift, ISS) und eine nach sagittal und frontal einstellbare Fronttellerführung an.

Der Jaw Motion Analyser (JMA) ist ein auf der Laufzeit von Ultraschallimpulsen basierendes, elektronisches 3-D Registrierungssystem, das zur Analyse der temporomandibularen Bewegungen und zur Bestim-

mung der genannten Parameter eingesetzt wird. Um den logistischen, finanziellen und insbesondere therapeutischen Einsatz eines Messverfahrens klinisch zu rechtfertigen, muss es bestimmten Anforderungen genügen. Dazu zählen die Zuverlässigkeit (Reliabilität) und die Wiederholbarkeit der Messwerte [25]. In der Reliabilität unterscheidet man zwischen Interrater- (Zuverlässigkeit bei Durchführung der Messungen durch unterschiedliche Untersucher) und Intrarater-Reliabilität (Zuverlässigkeit bei Durchführung der Messungen durch denselben Untersucher). Ein Kennwert dazu ist die Intraklassen Korrelation (ICC) [12, 19]. Neben dem ICC sind der Standardfehler der Messung (engl.: standard error of measurement, SEM) und die Nachweisgrenze (engl.: minimal detectable change, MDC) als Maße für die Wiederholbarkeit der Messwerte von Bedeutung. Wiederholte Messungen derselben Größe fallen in der Regel nicht exakt gleich aus. Der SEM beschreibt die Streuung des Unterschiedes zweier Messungen um ihren Mittelwert bei wiederholter Messung. Das Intervall um einen wahren Wert, indem 95 % der

trusion was greater than 100 %. ICCs of the estimated mandibular range of motion values were moderate to excellent (0,49–0,96).  $MDC(\%)_{95}$  ranged from 16–42 %.  $MDC(\%)_{95}$  of the retral range of motion were greater than 100 %.

**Discussion:** Most parameters show excellent to substantial intraclass correlation. The amounts of the different relative minimal detectable change values  $MDC(\%)_{95}$  indicate wide intrasubject variability. Therefore, repeated mandibular movements of the same subjects look quite different. Based on these findings the authors recommend the use of glue to attach the mandibular sensor and further the registration of at least three repeats of each movement to enhance reproducibility.

*Keywords:* Jaw Motion Analyser, intrarater reliability, articulator setting values, temporomandibular movements, intraclass correlation, minimal detectable change

Messungen aufgrund zufälliger Varianz zu finden sind, wird als  $MDC_{95}$  bezeichnet. Die klinische Bedeutung der Nachweisgrenze liegt darin, zu bestimmen, wie groß ein Unterschied zwischen zwei Messungen mindestens sein muss, um als tatsächlich vorhandener Unterschied interpretiert werden zu können und nicht durch eine zufällige Streuung zu erklären ist [4, 27]. Während der ICC im Bereich zwischen 1 und 0 liegt, wobei 1 perfekte und 0 keine Korrelation bedeuten, sollten für gute Untersuchungsinstrumente der SEM und MDC möglichst klein sein.

Bisherige Studien zur Reliabilität der dreidimensionalen Bestimmung der Kieferbewegungen beschränkten sich auf die Angabe des ICC bzw. des SEM [10, 20]. Dabei wurden für die Bestimmung des temporomandibularen Bewegungsausmaßes (engl.: range of motion, ROM) exzellente ICC-Werte zwischen 0,93–0,99 gefunden [10]. In einer Untersuchung zur Reproduzierbarkeit von HCI und BEN wird von SEM-Werten zwischen 1,2–2,2° berichtet. An der Halswirbelsäule wurden zu allen Bewegungsrichtungen sowohl ICC, SEM und MDC der mit einem Inkl-

nometer (CROM) gemessenen ROM bestimmt [2]. Auch hier wurden exzellente ICC-Werte (0,89–0,98) berechnet.  $MDC_{95}$  lag zwischen 4,3–7,7°, was bezogen auf die gefundenen Mittelwerte der ROM einer relativen Nachweisgrenze von  $(MDC_{95} / \text{Mittelwert}) \times 100 = MDC(\%)_{95}$  von 9–18 % entspricht.

Die vorliegende Studie untersucht die Reproduzierbarkeit der Parameter zur Artikulatoreinstellung und der temporomandibularen Bewegungen bei wiederholten Messungen mit dem elektronischen Registriersystem Jaw Motion Analyser durch einen Untersucher. Als Kennwerte dazu werden ICC, SEM und  $MDC_{95}$  herangezogen.

## 2 Material und Methoden

Im November und Dezember 2009 wurden an 11 Probandinnen und Probanden (8 Frauen, 3 Männer) im Abstand von jeweils 7 oder 14 Tagen je fünfmal eine elektronische Bestimmung der Artikulatoreinstellwerte und eine Analyse der temporomandibularen Bewegungen durchgeführt. 7 Probandinnen und Probanden waren Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter der beteiligten Institutionen, 4 weitere stammten aus dem Bekanntenkreis des Erstautors. Die Untersuchungen fanden für jede Probandin und jeden Probanden immer am selben Wochentag zur selben Uhrzeit (+/- 1 h) statt. Der Abstand zwischen den Messungen betrug 7 Tage, in einigen Ausnahmen aus terminlichen Gründen 14 Tage. Einschlusskriterien waren vollständige Bezahnung, keine subjektiven Beschwerden (Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Einschränkungen im Alltag) im Kieferbereich, keine wesentlichen Einschränkungen in der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität und ein Alter von 18 bis 67 Jahren. Die Abwesenheit von Schmerzen im Gesichtsbereich schließt mit über 90 %iger Wahrscheinlichkeit das Vorliegen einer Diagnose von schmerzassoziierten temporomandibularen Dysfunktionen aus [17]. Die Bestimmung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität erfolgte mit einer Kurzversion des Oral Health Impact Profile Score (OHIP). Die verwendete deutsche Kurzversion mit 14 Fragen (OHIP-G14) wurde bereits auf Validität und Reliabilität getestet [9]. Eingeschlossen wurden alle Probandin-

nen und Probanden mit einem OHIP-G14 Score von < 5. Ausgeschlossen wurden Personen mit oralchirurgischen, kieferorthopädischen und orthopädischen Eingriffen während des Untersuchungszeitraumes oder im Zeitraum bis zu 6 Monate vor dem Beginn der Untersuchung. Des Weiteren galten das subjektive Empfinden von Therapiebedarf im Kieferbereich, Einschränkungen in der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität mit einem OHIP-G14 Score > 4, das Vorliegen wesentlicher zervikaler Beschwerden sowie ein Alter unter 18 bzw. über 67 Jahren als Ausschlusskriterien. Das Vorliegen zervikaler Beschwerden wurde mit der deutschen Übersetzung des Neck Pain and Disability Score (NPAD-d) erhoben [18]. Als wesentlich galt ein NPAD-d Score > 10. Die getroffenen Beschränkungen hinsichtlich der Scores im OHIP-G14 und NPAD-d galten der Bildung einer Gruppe, die über die gesamte Messdauer hinweg möglichst nicht durch akute Beschwerden betroffen sein würde.

Die ethische Freigabe der Studie erfolgte an der HAWK Hildesheim nach einem vereinfachten Verfahren, das sich an den DFG-Richtlinien für wissenschaftliche Redlichkeit orientiert. Hierzu erfolgt eine selbstverpflichtende Erklärung für Fakultätsmitglieder, die klinische Untersuchungen durchführen. Alle Voraussetzungen (vollständige Aufklärung der Proband/Innen und Einverständniserklärungen, Sicherheit und Entscheidungsfreiheit der Proband/Innen) waren im Rahmen dieser Studie erfüllt.

Die instrumentelle Bestimmung der Artikulatoreinstellwerte und die temporomandibulare Bewegungsanalyse wurden mit dem Jaw Motion Analyser (CMS20 JMA, zebri Medical GmbH, Isny, Deutschland) im aufrechten Sitz durchgeführt. In der Ausgangsstellung saßen die Probandinnen und Probanden auf einem Stuhl. Ihre Fußsohlen hatten vollständigen Bodenkontakt, das Becken berührte die Stuhllehne, Oberkörper und Kopf wurden mit Hilfe eines Kreuzlinienlasers im Lot über dem Becken ausgerichtet. Zur Untersuchung mit dem JMA trugen die Probandinnen und Probanden einen mit integrierten Empfängermodulen ausgerüsteten Gesichtsbogen. Ein spezielles Befestigungsblech zur Aufnahme des Unterkieferbogens mit den Sendemodulen wurde vor

Untersuchungsbeginn so präpariert, dass es zur Messung an die unteren Frontzähne geklemmt und starr an den Unterkiefer befestigt werden konnte. Zur Befestigung des Unterkiefersensors musste so kein Gewebekleber benutzt werden. Dieses kleberlose Verfahren wurde bereits in anderen Studien angewandt und wird auf Schulungen zum System vom Hersteller bzw. Vertrieb beschrieben [20]. Zudem handelt es sich nach Kenntnis der Autoren um eine in der zahnmedizinischen Praxis außerhalb des wissenschaftlichen Bereichs sehr verbreitete Methode, insbesondere wenn Mehrfachmessungen geplant sind [1]. Über die Laufzeit von emittierten Ultraschallimpulsen ermittelt das System dreidimensional (mit sechs Freiheitsgraden) die Position der Bögen zueinander. Gibt man dem System mit Hilfe des Pointers zusätzlich die Information über die Position von anatomischen Punkten, so errechnet es die dreidimensionale Position bzw. Bewegung dieser Punkte. Als anatomische Punkte wurden der Inzisalpunkt des Unterkiefers und das kinematische Zentrum (engl.: kinematic center, KC) gewählt. Das KC ist ein virtueller anatomischer Punkt, der näherungsweise dem Mittelpunkt zwischen Mandibulakondyle und temporärer Gelenkfläche entsprechen soll und wird aus der Überlagerung der Mundöffnungs- und Protrusionsbewegung berechnet [26]. Die kinematische Achse, als Verbindungslinie der beiden KC, wurde der arbiträren Achse als Referenzachse vorgezogen, um den Einfluss durch den Untersucher möglichst gering zu halten. Die Reproduzierbarkeit der kinematischen Achse ist der der arbiträren Achse ohne Manipulation überlegen und liegt in der Größenordnung der Reproduzierbarkeit der arbiträren Achse mit Manipulation des Unterkiefers [8, 16]. Der JMA wurde mit der Software WinJaw 6.50 (zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) angesteuert. Es wurden zwei Analyseprogramme benutzt. Alle Messungen wurden von demselben Untersucher (MT) vorgenommen. Im ersten Messdurchgang für die Bestimmung der Artikulatoreinstellwerte wurden von den Probandinnen und den Probanden je eine Protrusion und Laterotrusion nach links und rechts durchgeführt. Die einmalige Durchführung jeder einzelnen Bewegungsrichtung entspricht den Standardeinstellungen der

Software und einem in der Zahnmedizinischen Praxis weit verbreiteten Vorgehen, auch wenn in wissenschaftlichen Untersuchungen zum Messsystem meist jeweils drei oder mehr Bewegungen durchgeführt wurden [10, 28]. Im zweiten Messdurchgang wurden in der temporomandibularen Bewegungsanalyse je drei Mundöffnungen, Protrusionen, Retrusionen sowie Laterotrusionen nach rechts und links gemessen. Die Instruktionen für die Bewegungen erfolgten verbal durch mündliche Anleitung und visuell durch Anzeigen der Bewegungsrichtung des Unterkiefers im Raum mit der Hand des Untersuchers. Vor jeder Bewegung wurde sichergestellt, dass die Probandinnen und Probanden sich in habitueller Okklusion befanden. Laterotrusion, Protrusion und Retrusion sind zahngeführte Bewegungen. Hatten entweder der Untersucher oder die Probandin bzw. der Proband den Eindruck, dass die Bewegung nicht zahngeführt stattgefunden hatte, wurde die entsprechende Bewegung wiederholt. Dasselbe geschah, wenn eine Probandin oder ein Proband bei der Laterotrusion die Bewegungsrichtung verwechselt hatte. Für die Mundöffnung wurden die Probandinnen und Probanden gebeten, den Mund so weit wie möglich zu öffnen. Alle Probandinnen und Probanden wurden vor jeder Messung in die erforderlichen Bewegungen eingeführt.

**Statistische Auswertung:** Die statistische Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware MedCalc Version 11.1.0.0 für Windows (MedCalc Software bvba) und mit Excel 2010 (Microsoft Corporation). Als statistische Kennwerte für die Intrarater-Reliabilität wurden die Intraklassen Korrelation Modell 3.1 (ICC 3.1, ein Untersucher für alle Messungen mit Berücksichtigung jedes einzelnen Messwertes ohne Mittelwertbildung von Datengruppen), der Standardfehler der Messung (SEM), sowie die absolute ( $MDC_{95}$ ) und prozentuale ( $MDC(\%)_{95}$ ) Nachweisgrenze berechnet [19, 25]. Der SEM wurde aus der Quadratwurzel der Innersubjekt Varianz  $\sigma^2_{\text{within subject}}$  mit  $SEM = \sqrt{\sigma^2_{\text{within subject}}}$  berechnet. Zur Berechnung der  $\sigma^2_{\text{within subject}}$  wurde mit MedCalc eine one-way ANOVA mit dem Faktor Subjekt gerechnet. Die one-way ANOVA liefert zwei Anteile der Varianz,  $\sigma^2_{\text{between subject}}$  und  $\sigma^2_{\text{within subject}}$ . Ersterer beinhaltet den An-

teil der Varianz, der auf Schwankungen der Messwerte zurückgeht, die dadurch bedingt sind, dass es sich um unterschiedliche Subjekte handelt, letzterer dagegen umfasst alle anderen Einflussfaktoren. Den  $MDC_{95}$  erhält man durch das Produkt aus dem SEM mit der Quadratwurzel von 2 und dem auf das Signifikanzniveau von 95 % und den Freiheitsgrad bezogenen t-Wert:  $MDC_{95} = SEM \times \sqrt{2} \times t_{95\%, N}$  [4]. Dazu wurde  $t_{95\%, N}$  der t-Wert Tabelle entnommen. Schließlich wurde ein prozentualer  $MDC(\%)_{95}$  berechnet, indem  $MDC_{95}$  auf den Mittelwert der entsprechenden Messgröße  $y$  bezogen wurde:  $MDC(\%)_{95}(y) = [MDC_{95}(y) / \text{Mittelwert}(y)] \times 100$  [4, 27]. Da bislang in der Literatur keine Hinweise zu einer externen Bestimmung des kleinsten klinisch relevanten Unterschiedes (engl.: minimal important change, MIC) vorliegen, entschieden sich die Autoren zu einer verteilungsbasierten Berechnung des MDC. Die Bewertung des ICC folgte dem von Landis und Koch (1977) vorgeschlagenen und von anderen Autoren als Maßstab herangezogenen Schema: Exzellente Übereinstimmung bei  $1 > ICC > 0,8$ , gute Übereinstimmung bei  $0,79 > ICC > 0,6$ , moderate Übereinstimmung bei  $0,59 > ICC > 0,4$ , schwache Übereinstimmung bei  $0,39 > ICC > 0,2$  und keine Übereinstimmung bei  $ICC < 0,2$  [11]. Für den MDC liegt kein solches Interpretationsschema vor. Nach Überlegungen der Autoren sollten für die Bewertung des MDC der Bewegungsanalyse v. a. Vergleichswerte aus Messungen des Bewegungsmaßes (Mundöffnung, Laterotrusion rechts und links) mit einer Schiebelehre herangezogen werden [21]. Die Erwartungen an den MDC der Artikulatoreinstellwerte richteten sich nach der Praktikabilität. Im Artikulator Artex AR der Firma AmmanGirrbach z. B. kann die sagittale Kondylenbahnneigung im Bereich von  $-20^\circ$  bis  $+60^\circ$  stufenlos auf einer in Schritten zu  $5^\circ$  aufgetragenen Skala justiert werden. Der Bennett-Winkel ist stufenlos auf einer Skala von  $-5^\circ$  bis  $+30^\circ$  einstellbar, wobei die Skalierung  $-5^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $30^\circ$  beträgt. Die transversale Beweglichkeit der Mandibulakondylen wird als Seitenversatz des Mediotrusionskondylus (ISS) angegeben und ist von 0 bis 1,5 mm je Seite einstellbar. Retrusion wird von 0 bis 2 mm justiert. Ein frontales Führungselement, der sogenannte Frontteller, liegt als star-

res Element in  $10^\circ$  Schritten und als stufenlos justierbare Variante vor. Als Anspruch an die Wiederholbarkeit der Parameter sollte innerhalb der Einstellbereiche zwischen mindestens zwei unterschiedlichen Einstellungen diskriminiert werden können. Der  $MDC_{95}$  sollte also mindestens kleiner sein als der jeweilige Einstellbereich. Die Berechnung der Reliabilitäten der Artikulatoreinstellparameter erfolgte an den von der Software WinJaw für einen Artex AR Artikulator ausgegebenen Daten.

### 3 Ergebnisse

Die Stichprobe bestand aus 8 Frauen und 3 Männern mit einem Durchschnittsalter von 37 (21–67) Jahren. Der Summenscore in der Kurzversion des Oral Health Impact Profile (OHIP-G14) betrug im Mittel 1,3 (0–4). Der zervikale Beschwerden erhebende Neck Pain and Disability Score (NPAD-d) lag im Durchschnitt bei 2,7 (0–6). Alle 11 Probandinnen und Probanden konnten ihre fünf Messtermine wahrnehmen. Eine beschreibende Übersicht zur Stichprobe findet sich in Tabelle 1.

**Artikulatoreinstellwerte:** Eine Übersicht der in der Stichprobe berechneten statistischen Kennwerte Intraklassen Korrelation (ICC), Standardfehler der Messung (SEM), absolute ( $MDC_{95}$ ) und relative Nachweisgrenze ( $MDC(\%)_{95}$ ) für die Artikulatoreinstellwerte gibt Tabelle 2. Gute bis exzellente Übereinstimmung wiesen die Werte der sagittalen Gelenkbahnneigung (HCI) links ( $ICC = 0,81$ ) und rechts ( $ICC = 0,74$ ) auf. Der  $MDC_{95}$  betrug  $12,4^\circ$  ( $MDC(\%)_{95} = 25\%$ ) auf der linken und  $12,9^\circ$  ( $MDC(\%)_{95} = 26\%$ ) auf der rechten Seite. Die Bewegung des kinematischen Zentrums (KC) nach retral bei Laterotrusion auf der linken Seite wies schwache Übereinstimmung ( $ICC = 0,27$ ) auf, während auf der rechten Seite gute Übereinstimmung ( $ICC = 0,76$ ) vorlag. Für beide Seiten überstieg der  $MDC_{95}$  den Mittelwert (linke Seite  $MDC(\%)_{95} = 191\%$ ; rechte Seite  $MDC(\%)_{95} = 120\%$ ). Schwach war die Übereinstimmung für die Werte des Seitenversatzes des Mediotrusionskondylus (ISS) auf beiden Seiten (linke Seite  $ICC = 0,38$ ; rechte Seite  $ICC = 0,32$ ). Der  $MDC_{95}$  betrug für den ISS links 0,15 mm ( $MDC(\%)_{95} = 500\%$ ) und rechts

Proband/in	Geschlecht	Alter (Jahre)	MO (mm)	LT (mm) rechts/links	OHIP-G14	NPAD-d
#1	m	39	46,1	9,6/10,5	0	2
#2	w	27	49,9	13,9/8,9	3	4
#3	w	39	45,3	12,3/13,3	0	0
#4	m	39	47,5	4,3/6,6	0	4
#5	w	67	40,9	11,3/12,3	0	2
#6	w	41	45,0	12,3/8,7	0	6
#7	w	29	42,0	9,2/8,5	0	0
#8	w	25	43,9	9,1/9,0	4	4
#9	m	45	39,5	7,6/9,0	0	2
#10	w	21	40,1	7,9/7,4	4	2
#11	w	34	38,8	6,1/5,3	3	4
Mittelwerte		37	43,5	9,4/9,0	1,3	2,7

Abkürzungen: OHIP-G14, Oral Health Impact Profile – Kurzversion mit 14 Fragen; NPAD-d, Neck Pain and Disability Score – deutsche Version; m, männlich; w, weiblich.

**Tabelle 1** Stichprobe. Geschlecht, Alter, Bewegungsausmaß der Mundöffnung (MO) und Laterotrusion (LT) rechts / links, OHIP-G14 Score und NPAD-d Score.

**Table 1** Sample. Sex, age, range of motion of opening (MO) and lateral movements (LT) right / left, OHIP-G14 Score and NPAD-d Score.

0,13 mm ( $MDC(%)_{95} = 650\%$ ). Die Übereinstimmungen im Bennett Winkel (BEN) auf der linken Seite ( $ICC = 0,60$ ) und auf der rechten Seite waren gut ( $ICC = 0,79$ ). Die Werte für den  $MDC_{95}$  des BEN betragen links  $10,6^\circ$  ( $MDC(%)_{95} = 79\%$ ) und rechts  $9,2^\circ$  ( $MDC(%)_{95} = 77\%$ ). Die für die Fronttellerneigungen (FTN) erhaltenen Werte des ICC waren gut bis moderat (sagittal:  $ICC = 0,69$ ; rechts:  $ICC = 0,44$ ; links:  $ICC = 0,53$ ). Die Werte für den  $MDC_{95}$  lagen bei  $32,3^\circ$  ( $MDC(%)_{95} = 55\%$ ) für FTN sagittal, bei  $25,3^\circ$  ( $MDC(%)_{95} = 66\%$ ) für FTN links und bei  $26,2^\circ$  ( $MDC(%)_{95} = 63\%$ ) für FTN rechts.

**Temporomandibuläre Bewegungsanalyse:** Alle berechneten statistischen Kennwerte für die im Report der Funktionsanalyse dargestellten Größen gibt Tabelle 3 an. Das Bewegungsausmaß (engl.: range of motion, ROM) des rechten und linken KCs bei Mundöff-

nung erreichte gute Übereinstimmungswerte (rechts  $ICC = 0,75$ ; links:  $ICC = 0,74$ ) mit Werten für den  $MDC_{95}$  rechts von 5,8 mm ( $MDC(%)_{95} = 42\%$ ) und links von 5,5 mm ( $MDC(%)_{95} = 38\%$ ). In der ROM des KC nach retral (bei Laterotrusionsbewegungen) wurden gute Übereinstimmungswerte ermittelt (rechts:  $ICC = 0,68$ ; links:  $ICC = 0,70$ ). Der  $MDC_{95}$  für beide Werte betrug rechts 0,7 mm ( $MDC(%)_{95} = 140\%$ ) und links 0,6 mm ( $MDC(%)_{95} = 100\%$ ). Die ROM des Inzispunktes in der Mundöffnung wurde mit moderater Übereinstimmung gemessen ( $ICC = 0,49$ ), exzellent stellte sich die Übereinstimmung in der ROM des Inzispunktes bei Laterotrusion nach rechts ( $ICC = 0,96$ ) und links ( $ICC = 0,96$ ) dar. Die Werte des  $MDC_{95}$  dieser Parameter waren 9,6 mm ( $MDC(%)_{95} = 22\%$ ) bei Mundöffnung, 1,8 mm ( $MDC(%)_{95} = 19\%$ ) bei Latero-

trusion nach rechts und 1,4 mm ( $MDC(%)_{95} = 16\%$ ) bei Laterotrusion links.

## 4 Diskussion

Für die meisten Parameter, die mit den Artikulator- und Bewegungsanalyseprogrammen des elektronischen Kieferregistriersystems CMS20 JMA gemessen werden können, wurden gute Werte für die Intraklassen Korrelation ( $ICC$ ) gefunden. Exzellente Intraklassen Korrelationen fanden sich in der Bestimmung der sagittalen Gelenkbahnneigung (HCI) links im Artikulatorprogramm, sowie für das Bewegungsausmaß (ROM) der Laterotrusionen nach rechts und links im Bewegungsanalyseprogramm. Moderate bis schwache Intraklassen Korrelation lag für die Bewegung des linken kinematischen Zentrums (KC) nach

Kennwert	Mittelwert ( $\pm$ SD)	SEM	MDC <sub>95</sub>	MDC(%) <sub>95</sub>	ICC (95% KI)
HCI links	49,4 ( $\pm$ 9,8)°	4,4°	12,4°	25	0,81 (0,64–0,94)
HCI rechts	49,6 ( $\pm$ 8,6)°	4,5°	12,9°	26	0,74 (0,52–0,91)
linkes KC retral	0,5 ( $\pm$ 0,4) mm	0,4 mm	1,0 mm	200	0,27 (0,04–0,62)
rechtes KC retral	0,6 ( $\pm$ 0,5) mm	0,3 mm	0,8 mm	133	0,76 (0,54–0,91)
ISS links*	0,03 ( $\pm$ 0,07) mm	0,05 mm	0,15 mm	500	0,38 (0,13–0,71)
ISS rechts*	0,02 ( $\pm$ 0,05) mm	0,04 mm	0,13 mm	650	0,32 (0,07–0,66)
BEN links	13,4 ( $\pm$ 5,8)°	3,7°	10,6°	79	0,60 (0,34–0,84)
BEN rechts	11,9 ( $\pm$ 6,8)°	3,2°	9,2°	77	0,79 (0,59–0,93)
FTN sagittal	58,7 ( $\pm$ 19,9)°	11,4°	32,3°	55	0,69 (0,45–0,89)
FTN links	38,2 ( $\pm$ 12,7)°	8,9°	25,3°	66	0,53 (0,26–0,80)
FTN rechts	41,6 ( $\pm$ 12,1)°	9,2°	26,2°	63	0,44 (0,18–0,75)

SEM = SD<sub>innerhalb</sub> =  $\sqrt{(\delta^2_w)}$ , mit  $\delta^2_w$  = Varianz innerhalb der Subjekte (aus one-way ANOVA)

MDC<sub>95</sub> = SD<sub>innerhalb</sub>  $\times \sqrt{2} \times t_{95\%, N}$  mit  $t_{95\%, N=55} = 2,009$  (aus der t-Wert Tabelle)

MDC(%)<sub>95</sub> (y) = [MDC<sub>95</sub> (y) / Mittelwert (y)]  $\times 100$

Abkürzungen: SD, Standardabweichung (engl.: standard deviation); SEM, Standardfehler der Messung (engl.: standard error of measurement); MDC, Nachweisgrenze (engl.: minimal detectable change); ICC, Intraklassen Korrelation (engl.: intraclass correlation); HCI, sagittale Gelenkbahnneigung (engl.: horizontal condyle inclination); KC, Kinematisches Zentrum (engl.: kinematic centre); ISS (engl.: initial side shift); BEN, Bennett Winkel; FTN, Fronttellerneigung.

\* für diese Daten liegt keine Normalverteilung vor.

**Tabelle 2** Mittelwerte und Standardabweichungen (SD), Standardfehler der Messung (SEM), absolute (MDC<sub>95</sub>) und prozentuale (MDC(%)<sub>95</sub>) Nachweisgrenze und Intraklassen Korrelation (ICC, Model 3.1) mit 95 % Konfidenzintervall (KI) für die im Artikulatorprogramm des Jaw Motion Analysers angegebenen Größen (N = 55).

**Table 2** Means and standard deviations (SD), standard errors of measurement (SEM), absolut (MDC<sub>95</sub>) and relative (MDC(%)<sub>95</sub>) minimal detectable changes and intraclass correlation (ICC, model 3.1) with 95 % confidence intervals (KI) of setting values to program articulators estimated with the Jaw Motion Analyser (N = 55).

retral, den Seitenversatz (ISS) und die transversale Fronttellerneigung (FTN) nach rechts und links (alle Artikulatorprogramm), sowie für die ROM der Mundöffnung vor.

Hinsichtlich der exzellenten Intraklassen Korrelation in den Lateralbewegungen bestätigen die Daten die von *Jüngling* et al. beschriebenen Ergebnisse [10]. In ihrer Studie fallen allerdings die ICC Werte für die Mundöffnung (MO) und die Laterotrusionen (LT) deutlich besser aus (drei Messungen innerhalb einer Sitzung: ICC<sub>MO</sub> = 0,93, ICC<sub>LT</sub> = 0,94–0,95; je drei Messungen in zwei Sitzungen an zwei verschiedenen Tagen: ICC<sub>MO</sub> = 0,97, ICC<sub>LT</sub> = 0,98–0,99). Eine Erklärung dafür könnte sein, dass, anders als in der vorliegenden Studie, das Befestigungsblech für den Unterkiefersensor mit Hilfe eines Gewebeklebers fest mit der Labialfläche der Unterkieferzähne verbunden wurde. Bei der kleber-

losen Methode, wie sie in der Studie verwendet wurde, besteht v. a. bei der Mundöffnung durch die Verschmälerung der Unterkieferspanne die Gefahr der Lockerung, die zwangsläufig zu einer schlechteren Reproduzierbarkeit führen würde. Ein weiterer Unterschied in den beiden Studien ist, dass *Jüngling* et al. drei Messungen mit je drei Bewegungszyklen innerhalb einer Untersuchungssitzung ohne Abnahme der Sensorik miteinander verglichen. Damit sind weder die neue Befestigung der Sensoren, noch eine neue Kalibrierung des Systems notwendig gewesen, was zu einer höheren Reproduzierbarkeit der Werte beigetragen haben könnte. Interessanterweise fanden *Jüngling* et al. bessere ICC Werte, wenn sie die (Mittelwerte der) Messungen verglichen, die von zwei verschiedenen Untersuchern an zwei verschiedenen Tagen vorgenommen wurden. Üblicherweise ist die In-

terater-Reliabilität etwas schlechter als die Intrarater-Reliabilität. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass in der instrumentellen Registrierung von Kieferbewegungen die Bildung von Mittelwerten aus drei oder mehr Bewegungszyklen die Reliabilität erhöht.

Unter Berücksichtigung der weiteren Reliabilitätsparameter, wie des Standardfehlers der Messung (SEM), der absoluten (MDC<sub>95</sub>) und der relativen Nachweisgrenze (MDC(%)<sub>95</sub>) muss der zunächst auf Grundlage der ICCs erhaltene Eindruck der Reliabilität relativiert werden. Nur für die ROM des Inzispunktes in alle Richtungen fiel der MDC(%)<sub>95</sub> kleiner als 25 % aus. Klinisch bedeutet dies, dass ab einer Änderung z. B. der Laterotrusion nach links von ¼ der aktuell max. Laterotrusion nach links von einer echten Änderung gesprochen werden kann. Dass die Reliabilität der ROM der Mundöffnung gerin-

Kennwert	Mittelwert ( $\pm$ SD)	SEM	MDC <sub>95</sub>	MDC(%) <sub>95</sub>	ICC (95% KI)
ROM rechtes KC MO	13,8 ( $\pm$ 4,0) mm	2,1 mm	5,8 mm	42	0,75 (0,54–0,91)
ROM linkes KC MO	14,4 ( $\pm$ 3,7) mm	1,9 mm	5,5 mm	38	0,74 (0,53–0,91)
ROM rechtes KC retral	0,5 ( $\pm$ 0,4) mm	0,2 mm	0,7 mm	140	0,68 (0,44–0,88)
ROM linkes KC retral	0,6 ( $\pm$ 0,4) mm	0,2 mm	0,6 mm	100	0,70 (0,47–0,89)
ROM Inz MO	43,6 ( $\pm$ 4,6) mm	3,4 mm	9,6 mm	22	0,49 (0,23–0,78)
ROM Inz LT rechts	9,4 ( $\pm$ 2,8) mm	0,6 mm	1,8 mm	19	0,96 (0,90–0,99)
ROM Inz LT links	9,0 ( $\pm$ 2,3) mm	0,5 mm	1,4 mm	16	0,96 (0,91–0,99)

SEM = SD<sub>innerhalb</sub> =  $\sqrt{(\delta_w^2)}$ , mit  $\delta_w^2$  = Varianz innerhalb der Subjekte (aus one-way ANOVA)

MDC<sub>95</sub> = SD<sub>innerhalb</sub>  $\times \sqrt{2} \times t_{95\%, N'}$  mit  $t_{95\%, N=55} = 2,009$  (aus der t-Wert Tabelle)

MDC(%)<sub>95</sub> (y) = [MDC<sub>95</sub> (y) / Mittelwert (y)]  $\times 100$

Abkürzungen: SD, Standardabweichung (engl.: standard deviation); SEM, Standardfehler der Messung (engl.: standard error of measurement); MDC, Nachweisgrenze (engl.: minimal detectable change); ICC, Intraklassen Korrelation (engl.: intraclass correlation); ROM, Bewegungsausmaß (engl.: range of motion); KC, Kinematisches Zentrum (engl.: kinematic centre); MO, Mundöffnung; LT, Laterotrusion; Inz, Inzisalpunkt.

**Tabelle 3** Mittelwerte und Standardabweichungen (SD), Standardfehler der Messung (SEM), absolute (MDC<sub>95</sub>) und prozentuale (MDC(%)<sub>95</sub>) Nachweisgrenze und Intraklassen Korrelation (ICC, Model 3.1) mit 95 % Konfidenzintervall (KI) für die im Analyseprogramm des Jaw Motion Analyser für die temporomandibularen Bewegungen angegebenen Größen (N = 55).

**Table 3** Means and standard deviations (SD), standard errors of measurement (SEM), absolut (MDC<sub>95</sub>) and relative (MDC(%)<sub>95</sub>) minimal detectable changes and intraclass correlation (ICC, model 3.1) with 95 % confidence intervals (KI) of range of motion values estimated with the Jaw Motion Analyser (N = 55).

(Tab. 1–3: M. Trocha)

ger ist als für die Lateralbewegungen, wurde übereinstimmend von mehreren Autoren beschrieben [10, 28]. Aus den Untersuchungen zur ROM von Mundöffnung und Lateralbewegungen mit einer Schiebelehre von *Suck* und *Trocha* errechnen sich ähnliche Werte für SEM und MDC(%)<sub>95</sub>: (Mundöffnung: SEM = 2,6 mm, MDC(%)<sub>95</sub> = 16 %; Laterotrusion rechts: SEM = 0,5 mm, MDC(%)<sub>95</sub> = 15 %; Laterotrusion links: SEM 0,6 mm, MDC(%)<sub>95</sub> = 19 %) [21, 22]. Im Unterschied zur vorliegenden Studie wurden letztere Daten an Menschen mit und ohne Einschränkungen in der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität (MLQ) erhoben und vier Messungen unmittelbar nacheinander durchgeführt. Des Weiteren geht aus ihren Daten hervor, dass die Varianz  $\delta_{\text{with-in subject}}^2$  und damit SEM und MDC<sub>95</sub> in Patientengruppen größer zu sein scheint als in gesunden Vergleichsgruppen. Zu

dieser Aussage kamen auch schon andere Autorenteamen [20, 28]. Die ROM Werte des Inzisalpunktes können demnach mit einer Schiebelehre ebenso zuverlässig bestimmt werden, wie mit einem elektronischen Registrierungsverfahren.

Die elektronische Registrierung bietet quantitative Werte für die ROM des KC an. Da die Bewegungen der beiden KC vermutlich mit den Bewegungen der Mandibulakondylen korrelieren, ist dies zur Beurteilung der Kiefergelenke eine interessante Information, die mit einer Schiebelehre nicht erhältlich ist und in der klinischen Praxis palpatorisch untersucht wird [26]. Die ICCs für die ROM der KCs bei Mundöffnung sind mit 0,75 und 0,74 gut. Allerdings ist der SEM der Werte mit ca. 2 mm gemessen am Betrag der Gesamtbewegung (ca. 14 mm) hoch. Entsprechend fallen MDC<sub>95</sub> mit 5,8 mm rechts und 5,5 mm links, sowie MDC(%)<sub>95</sub> mit 42 % rechts und 38 %

links aus. Eine echte Änderung der ROM des KC könnte bei dem gewählten Messprozedere also erst als solche interpretiert werden, wenn sie mindestens ca. 6 mm betrüge. Für die Bewegung des KC nach retral (gemessen während einer ipsilateralen Laterotrusion) sind die Verhältnisse noch ungünstiger. Für beide Seiten liegt der MDC(%)<sub>95</sub> > 100 %.

Für die in der Zahntechnik verwendeten Parameter zur Einstellung der Artikulatoren sehen die Ergebnisse ähnlich aus. Trotz teilweise guter ICC-Werte ist unter den in der Studie aus beschriebenen Gründen bewusst gewählten Bedingungen eine zuverlässige Bestimmung der Einstellwerte mit Ausnahme der HCI aufgrund des meist größer als 60 % ausfallenden MDC(%)<sub>95</sub> nur bedingt möglich. Bei der im Artex AR Artikulator für die HCI vorhandenen Skala von  $-20^\circ$  bis  $+80^\circ$  kann eine auf  $12^\circ$  genaue Bestimmung der HCI durchaus zu

unterschiedlichen Positionierungen führen. Bei  $MDC(%)_{95}$  Werten zwischen 100 % bis 650 % für die Parameter der Bewegung des KC nach retral und den ISS auf beiden Seiten trifft diese Behauptung nicht mehr zu. Angesichts der Reliabilitäten wäre die Angabe der ROM des KC nach retral und des ISS im Report der WinJaw Software an sich in Frage zu stellen. Eine Angabe dieser Parameter im Report suggeriert den Anwenderinnen und Anwendern deren zuverlässige Bestimmung, die tatsächlich nicht gewährleistet scheint. Möglicherweise würden gerade die Größen, deren absolute Amplituden klein sind, besonders davon profitieren, im Messprozedere ein höheres Maß an Genauigkeit einzuhalten, z. B. durch Verwenden einer festen Unterkiefer-Sensor-Verbindung oder die Erhöhung der Messzyklen.

Die Größen der Werte für die Fronttellerneigungen variierten im gewählten Messverfahren um mehr als 50 % (FTN sagittal  $MDC(%)_{95} = 55 \%$ , FTN links  $MDC(%)_{95} = 66 \%$  und FTN rechts  $MDC(%)_{95} = 63 \%$ ). Laut Erfahrungen der Autoren treten im zahntechnischen Alltag Konflikte mit den in den Modellen sichtbaren Schliiffacetten insbesondere bei der Verwendung der instrumentell ermittelten Werte für die Fronttellerneigung auf. Eine Schwierigkeit stellt hierbei der Umstand dar, dass den Schliiffacetten im Modell nicht anzusehen ist, ob sie die aktuellen dynamischen Okklusalverhältnisse darstellen oder ob sie Ergebnisse von länger zurückliegenden Kieferaktivitäten sind und aktuell möglicherweise in der Dynamik nicht mehr okkludieren.

In der Zahnmedizin werden instrumentelle Vermessungen der Kieferbewegungen häufig zur Bestimmung der Einstellparameter von programmierbaren Artikulatoren eingesetzt [15]. Beim zerbis JMA werden im Report des Artikulatormessprogramms alle Werte zur Einstellung der gebräuchlichsten Artikulatoren in einer Tabelle angegeben. Diese Werte sollen dann in den Artikulator übernommen werden. Insbesondere soll dieses Verfahren Vorteile gegenüber einer mittelwertigen Einstellung der Artikulatoren bieten, da die individuelle Anatomie zuverlässiger berücksichtigt würde [13, 14]. Neben den Informationen über die Ausprägung der vorhandenen Höcker-Fossa-Beziehungen und der Steilheit der Zahnflächen in der dyna-

mischen Okklusion sollen im Artikulator patientenbezogene Charakteristika der Kiefergelenke nachvollzogen werden können. Für letzteres Ziel waren die in dieser Studie gewählten Messbedingungen nicht ideal. Während die Verwendung der kinematischen Achse als Referenzachse für die Beurteilung der funktionellen Aspekte sinnvoll ist, muss ihre Eignung für die Messung der Artikulatoreinstellparameter in Frage gestellt werden [15, 26]. Für eine exaktere Übertragung der Unterkieferbewegungen in den Artikulator scheint es sinnvoller, die Achslage des Artikulators relativ zum Oberkiefer in den Patientenschädel zu projizieren [15]. Dies kann durch Markierung der Artikulatorachse am Patienten mit Hilfe des Gesichtsbogens geschehen. Die so markierte Achse kann anschließend mit dem Messsystem digital erfasst und als Referenzachse verwendet werden. *Pröschel et al.*, die dieses Verfahren zuerst beschrieben, bezeichnen dieses Vorgehen als Artikulator-bezogene-Registrierung. Sie zeigten auch, dass die so gewonnene Referenzachse besser reproduzierbar ist als z. B. die kinematische oder arbiträre Achse [15].

Die Ruhelage der kinematischen wie arbiträren Achse ist in gewissem Maße abhängig von der Körperposition während der Messung [23]. Die Standardisierung der Ausgangstellungen während der Messungen folgte in der vorliegenden Studie hohen Maßstäben mit Kontrolle der vertikalen Ausrichtung der Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf. Der Einfluss dieses Faktors kann sicher im Vergleich zu den gefundenen Variabilitäten vernachlässigt werden. Es fällt auf, dass die Laterotrusionsbewegungen im Vergleich zu den übrigen Messparametern sehr gut reproduziert wurden. Ursache hierfür könnte die deutlich bessere Einspannung der Bissgabel in lateraler Ausdehnung, in der die Bissgabel meist bis zu den 5er oder gar 6er reicht, sein. In sagittaler Richtung dagegen ist die Bissgabel auf die Höhe der in habitueller Okklusion sichtbaren Zahnflächen des Unterkiefers plus etwa 1–2 mm Überlappung auf das Zahnfleisch begrenzt. Zudem kann die Unterlippe bei den Bewegungen einen sagittalen Druck auf die Bissgabel ausüben, was zu einer weiteren Ungenauigkeit in den Messungen führen kann. Der negative Einfluss einer ungenügenden sagittalen Stabilität der Biss-

gabel sollte durch die grundsätzliche Verwendung eines Gewebeklebers (z. B. Histoacryl, Braun Melsungen) zur starren Fixierung des Sensormoduls am Unterkiefer reduziert werden. Die Entfernung der Kleberreste kann hierbei in die Hände einer Prophylaxeassistentin oder eines Prophylaxeassistenten gegeben werden und darf nicht Grundlage der Rechtfertigung für das heute noch häufig praktizierte kleberfreie Verfahren sein.

Eine weitere methodische Einschränkung der Studie liegt in der Auswahl der Probandinnen und Probanden. Da hier keine klinische Untersuchung der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer durchgeführt wurde, kann nicht klar ausgeschlossen werden, ob unter ihnen nicht auch solche mit temporomandibulären Dysfunktionen (TMD) waren. Diese weisen bekanntermaßen eine geringere Reproduzierbarkeit der Funktionsparameter auf als gesunde Personen [20, 21]. Der OHIP-G14 vermag nicht direkt zwischen Menschen mit und ohne TMD zu diskriminieren. Er liefert lediglich Hinweise zum psychosozialen Status potentieller oraler Erkrankungen und deren Auswirkungen auf Aktivität und Partizipation im täglichen Leben [7]. Die Abwesenheit von Schmerz schließt zwar mit hoher Sicherheit eine schmerzassoziierte TMD aus, andere als schmerzdominierte TMD Faktoren bleiben allerdings unberücksichtigt [17].

Den geringsten Teil der ermittelten Variabilität der Parameter dürfte das Messgerät selbst produzieren. Laut Herstellerangaben liegt die Messgenauigkeit der Sensorik in einem kartesischen Koordinatensystem im Bereich von  $< 0,1$  mm. Die Messgenauigkeit des Gerätes ist zwar von Faktoren wie Luftdruck und -feuchtigkeit abhängig, die in der Studie gefundene Variabilität kann dadurch aber nicht erklärt werden. Gewisse Unterschiede in den kinematischen Parametern dürften auch auf Schwankungen des während der zahngeführten Bewegungen ausgeführten Druckes zurückzuführen sein. Die Hauptursache für die Variabilität der Größen scheint jedoch eine natürliche intraindividuelle Variabilität der Bewegungen an sich darzustellen, die an anderen Gelenken auch schon nachgewiesen wurde [5]. Während die Messgenauigkeit von Herstellerseite verständlicher-

weise an Bewegungen von starren Modellen bestimmt wird, liegt bei der Messung am Menschen eine andere Situation vor [15]. Wie exakt eine Unterkieferbewegung eines Menschen bei Mehrfachdurchführung reproduziert wird, ist bislang ungewiss. Es scheint, dass abgesehen von der ROM der Laterotrusionen, die an verschiedenen Tagen, ohne zwischenzeitliche Interventionen an den Probandinnen und Probanden durchgeführten Bewegungen sowohl in Quantität als auch in Qualität sehr unterschiedlich ausfallen können. In wie weit die hier gemessene Reliabilität durch die Beeinflussung der Probandinnen und Probanden durch die Messensorik an sich beeinflusst wird, lässt sich nicht direkt ermitteln. Während Walker et al. sich auf die Berechnung von ICCs bei Messungen mit Schiebelehre bzw. Winkelmesser beschränkten, untersuchte Suck wie in der vorliegenden Studie auch den  $MDC(\%)_{95}$  [21, 24]. Die Größe des in der vorliegenden Studie ermittelten  $MDC(\%)_{95}$  für die ROM des Inzisalpunktes entspricht in etwa den von Suck ermittelten Werten. Dies unterstützt die These, dass die Varianz weniger durch das Messverfahren, sondern mehr durch die Varianz der Bewegung innerhalb eines Subjektes an sich begründet ist.

Die elektronische Kieferregistrierung eröffnet einen einzigartig komfortablen, quantitativen Zugang zu den Einstellparametern von vollprogrammierbaren Artikulatoren. Obwohl das Messsystem die Daten mit enormer Genauigkeit ermittelt, weisen die gewonnenen Parameter unter den in der vorliegenden Studie bewusst an der klinischen Praxis von Zahnmedizinern und -technikern orientierten Bedingungen teilweise nicht akzeptable Mängel hinsichtlich ihrer Variabilität auf. Diese Varianzen scheinen v. a. in der Variabilität der menschlichen temporomandibularen Bewegung an sich zu liegen. Um die Reproduzierbarkeit der Werte (und

der Bewegungen) zu erhöhen, müssen strenge Kriterien an das Messprozedere gestellt werden. Dazu gehören neben der Standardisierung der Ausgangsstellung der untersuchten Person insbesondere die Durchführung mehrerer Messzyklen je Bewegungsrichtung und die starre Befestigung des Unterkiefersensors mit der Verwendung eines geeigneten Klebers. Während die kinematische Achse für die Bewegungsanalysen als Referenzachse geeignet ist, sollte für die Ermittlung der Artikulatoreinstellparameter eine mit der Lage der Artikulatorachse möglichst identische Referenzachse in den Schädel der untersuchten Person projiziert werden. Diese Standards sollten aufgrund ihrer Patientenbezogenheit analog bei der Verwendung verwandter Messsysteme gelten. Bernhard et al. zeigten, dass mit den Informationen der elektronischen Kieferregistrierungen bei klinisch unsicheren Diagnosen von TMD eine weitere Klassifizierung der Pathologie vorgenommen werden kann [3]. In wie weit die rein funktionsbezogenen Interpretationen der Daten durch die quantitative Variabilität limitiert sind, vermag diese Studie nicht zu beurteilen.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Die quantitative Darstellung des Bewegungsausmaßes (ROM) des Unterkiefers mit dem elektronischen Kieferregistrierungssystem zebri JMA weist bis auf die vertikale Mundöffnung gute bis exzellente Intraklassen Korrelation (ICC) auf. Die Nachweisgrenze (MDC) für diese Bewegungen liegt in der Größenordnung des MDC der Messung mit einer Schiebelehre. Die Intraklassen Korrelationen der elektronisch bestimmten Einstellparameter für die Artikulatoren weisen große Unterschiede auf. Während sich die Gelenkbahnneigung quantitativ mit

guter bis exzellenter Reliabilität ermitteln lässt, weisen die Intraklassen Korrelation und die relative Nachweisgrenze ( $MDC(\%)_{95}$ ) der übrigen Parameter deutliche Unsicherheiten auf. Die gefundene Variabilität der Mandibulabewegungen muss im Wesentlichen auf eine intraindividuelle Variabilität der Bewegungsqualität und -quantität zurückgeführt und sollte bei der Gestaltung von Zahnersatz und therapeutischen Okklusalschienen berücksichtigt werden. Die Autoren empfehlen zur Minimierung der Variabilität die Verwendung eines Gewebeklebers zur starren Sensor-Unterkiefer-Verbindung und die Aufzeichnung von mindestens drei Messzyklen je Bewegungsrichtung. Die Reliabilität mit ICC, SEM und MDC für Messungen mit dem JMA System sollte mit den beschriebenen Verbesserungen im Prozedere erneut überprüft und weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit gefunden werden.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Prof. Annette Probst von der Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst FH Hildesheim, bei allen Probandinnen und Probanden für die Mitarbeit an der Studie und bei der Firma zebri Medical GmbH für die Bereitstellung des Messgerätes sowie die fachliche Unterstützung. 

**Interessenkonflikte:** Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

#### Korrespondenzadresse

Marcus Trocha, M. Sc. (Physiotherapie)  
Collenbuschstraße 16  
01324 Dresden  
Tel.: 03 51 / 2 08 68 12

## Literatur

1. Ahlers MO: Befestigung des paraokklusalen Löffeladapters an die Unterkieferzahnreihe im Rahmen der Achsiographie. Ein verbessertes Verfahren. *J Craniomand Func* 1, 241–250 (2009)
2. Audette I, Dumas J-P, Côté JN, De Serres SJ: Validity and between-day reliability of the Cervical Range of Motion (CROM) device. *J Orthopaed and Sports Physical Therapy* 40, 318–323 (2010)
3. Bernhardt O, Schwahn B, Meyer G: Craniomandibular disorders – comparative investigations with clinical examination and electronic axiography. *Ann Anat* 181, 51–53 (1999)
4. Bland MJ, Altman DG: Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research* 8, 135–160 (1999)
5. Bogduk N, Mercer S: Biomechanics of the cervical spine. I: Normal kinematics. *Clinical Biomechanics* 15, 633–648 (2000)
6. Haley SM, Fragala-Pinkham MA: Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy. *Physical Therapy* 86, 735–743 (2006)
7. Heydecke G: Patientenbasierte Messgrößen: Mundgesundheitsbezogene Lebensqualität. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 112, 605–611 (2002)
8. Hugger A, Holtkamp C, Pröschel PA, Drescher D, Stüttgen U: Die Reproduzierbarkeit der elektronisch ermittelten individuellen Scharnierachsenposition. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 383–387 (2001)
9. John MT, Micheelis W, Biffar R: Normwerte mundgesundheitsbezogener Lebensqualität für Kurzversionen des Oral Health Impact Profile. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 114, 784–791 (2004)
10. Jüngling N, Smolenski UC, Loth D: Untersuchung zur Reliabilität und Validität der dreidimensionalen Funktionsanalyse des Kiefergelenks. *Manuelle Medizin* 42, 441–448 (2004)
11. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159–174 (1997)
12. Müller R, Büttner P: A critical discussion of intraclass correlation coefficients. *Statistics in Medicine* 13, 2465–2476 (1994)
13. Price RB, Kolling JN: Effects of changes in articulator settings on generated occlusal tracings. Part I: Condylar inclination and progressive side shift settings. *J Prosth Dent* 65, 237–243 (1991)
14. Price RB, Kolling JN, Clayton JA: Effects of changes in articulator settings on generated occlusal tracings. Part II: Immediate side shift, intercondylar distance, and rear and top wall settings. *J Prosth Dent* 65, 377–382 (1991)
15. Pröschel P, Morneburg T, Hugger A et al.: Articulator-related registration – a simple concept for minimizing eccentric occlusal errors in the articulator. *Internat J Prosthodont* 15, 289–294 (2001)
16. Pröschel PA, Morneburg T: Investigation of a possible relationship between kinematic points and condylar attachments of the lateral ligaments. *J Oral Rehabil* 27, 165–173 (2000)
17. Reißmann DR, John MT, Schierz O, Hirsch C: Eine Kurzversion der RDC/TMD. *Der Schmerz* 23, 618–627 (2009)
18. Scherer M, Blozik E, Himmel W, Lapinskaya D, Kochen MM, Herrmann-Lingen C: Psychometric properties of a German version of the neck pain and disability scale. *Europ Spine J* 17, 922–929 (2008)
19. Shrout PE, Fleiss JL: Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin* 86, 420–428 (1979)
20. Stiesch-Scholz M, Demling A, Rossbach A: Reproducibility of jaw movements in patients with craniomandibular disorders. *J Oral Rehabil* 33, 807–812 (2006)
21. Suck O: Manuelle und instrumentelle Messung der Mundöffnung und Laterotrusion des Kiefergelenkes Vergleich zweier Messverfahren. In: DVMT e. V. Fürstenfeldbruck 2009
22. Trocha M: Einfluss der Körperposition auf temporomandibulare Bewegungen und Druckschmerzschwelle der Kaumuskulatur. – Eine Pilot-Querschnittstudie. In: Fakultät Soziale Arbeit und Gesundheit, Studiengang Medizinalfachberufe. Hildesheim: HAWK Fachhochschule Hildesheim / Holzminden / Göttingen 2009
23. Trocha M, Schöttker-Königer T, Probst A: Einfluss der Körperposition auf temporomandibulare Bewegungen und Druckschmerzschwelle der Kaumuskulatur. Pilot-Querschnittstudie. *Manuelle Therapie* 14, 50–59 (2010)
24. Walker N, Bohannon RW, Cameron D: Discriminant validity of temporomandibular joint range of motion measurements obtained with a ruler. *J Orthopaed and Sports Physical Therapy* 30, 484–492 (2000)
25. White SA, van den Broek NR: Methods for assessing reliability and validity for a measurement tool: a case study and critique using the WHO haemoglobin colour scale. *Statistics in Medicine* 23, 1603–1619 (2004)
26. Yatabe M, Zwijnenburg A, Megens CCEJ, Naeije M: The kinematic center: a reference for condylar movements. *J Dent Res* 74, 1644–1648 (1995)
27. Yi Q, Wang PP, He Y: Reliability analysis for continuous measurements: Equivalence test for agreement. *Statistics in Medicine* 27, 2816–2825 (2008)
28. Yoon H-J, Zhao KD, Rebellato J, An K-N, Keller EE: Kinematic study of the mandible using an electromagnetic tracking device and custom dental appliance: Introducing a new technique. *J Biomech* 39, 2325–2330 (2006)