

K. Vahle-Hinz<sup>a</sup>, A. Rybczynski<sup>a</sup>, H. Jakstat<sup>b</sup>, M. O. Ahlers<sup>c</sup>

# Condylar Position Analysis with a New Electronic Condylar Position Measuring Instrument E-CPM: Influence of Different Examiners and a Working Bite on Reproducibility

## Kondylenpositionsanalyse mit einem neuen elektronischen Kondylenpositionsmessinstrument E-CPM: Einfluss unterschiedlicher Untersucher und eines Konstruktionsbisses auf die Reproduzierbarkeit

- a Zahnarzt, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf
- b Prof. Dr. med. dent., Vorklinische Propädeutik und Werkstoffkunde, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universität Leipzig
- c Priv.-Doz. Dr. med. dent, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf und Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf

- a Dentist, CMD-Center Hamburg-Eppendorf, Germany.
- b Prof. Dr. med. dent., Preclinical Propedeutics and Material Sciences, Department of Prosthodontics and Dental Material Sciences, Center for Dental, Oral and Craniomandibular Sciences of the University of Leipzig, Germany.
- c Assistant Professor, CMD-Center Hamburg-Eppendorf and Department of Restorative and Preventive Dentistry, Center for Dental and Oral Medicine, School of Dental Medicine, University-Hospital Hamburg-Eppendorf, Germany.

### Zusammenfassung

**Ziel:** Die Kondylenpositionsanalyse ermöglicht einen quantitativen Vergleich der Kondylenposition mit und ohne Registrat, unterschiedlichen Registraten und veränderten Einflussfaktoren. Für die Genauigkeit der Untersuchung unter anderem die Handhabung durch den Untersucher bei der Positionierung der Modelle von Bedeutung. Die Messgenauigkeit könnte durch die Verwendung spezieller Konstruktionsbisse bei der Zuordnung der Modelle verbessert werden. Das Ziel der in die-

### Abstract

**Purpose:** Condylar position analysis facilitates a quantitative comparison of the condylar position with and without a bite record, different records and changed influencing factors. Handling by the examiner when positioning the model is a significant factor with regard to the accuracy of the examination. Measurement accuracy could be improved when positioning the models by using special working bites, hence the objective of the experiments described in this study consisted in examin-

ing the extent to which the measuring results are influenced by different examiners and by using working bites.

**Materials and Methods:** In the first trial, one examiner performed ten measurements without and with an interposed working bite for five model pairs in each case. In the second trial, nine examiners (three specialized dentists, three dental assistants, three students) performed ten measurements in each case without and with an interposed working bite. The three-dimensional position was read digitally with the E-CPM (Gamma Dental, Klosterneuburg/Vienna, Austria), recorded by means of spreadsheet software (Microsoft Excel) and diagnostic software (CMDfact, CMD3D module, dentaConcept, Hamburg), and evaluated with graphing software (Sigma Plot, Systat Software, USA).

**Results:** In the first trial, it was shown that the reproducibility of mounting was improved markedly ( $p < 0.01$ ) by using bite records in the form of working bites. In the second trial, it was shown that the mean error increased significantly ( $p < 0.01$ ) when several examiners performed the measurements compared with the results of one examiner alone. No significantly different results occurred ( $p < 0.01$ ) in the comparison of the different groups of examiners with different educational and training backgrounds. This applied for the mounting methods without and with working bite. On the other hand, the reproducibility of mounting improved distinctly ( $p < 0.01$ ) in every group of examiners when working bites were used.

**Conclusions:** Reproducibility of condylar position analysis was improved significantly by mounting the models with special working bites. This applied for operators of different professional background (dentists, dental assistants and dental students), while there were no significant differences between results of the three groups.

**Keywords:** quantitative measurement of the jaw position, condylar position analysis, equalizing systems, electronic measuring instrument, centric records, influence of working bites on condylar position analysis.

## Introduction

In the course of instrumental functional analysis and therapy, and in extensive restorative measures, measurement of the condylar position (condylar position analysis) is of special importance.<sup>1-3</sup> Currently, mechanical measuring instruments facilitating a model-based indirect measure-

sem Beitrag beschriebenen Untersuchungen bestand daher darin zu prüfen, in welchem Maß die Messergebnisse durch unterschiedliche Untersucher und die Verwendung von Konstruktionsbissen beeinflusst werden.

**Material und Methoden:** Im ersten Versuch führte ein Untersucher bei fünf Modellpaaren jeweils zehn Messungen ohne und mit einem interponierten Konstruktionsbiss durch. Im zweiten Versuch führten neun Untersucher (drei spezialisierte Zahnärzte, drei Zahnmedizinische Fachangestellte, drei Studenten) jeweils zehn Messungen ohne und mit einem interponierten Konstruktionsbiss durch. Die dreidimensionale Position wurde mit dem E-CPM (Firma Gamma Dental, Klosterneuburg/Wien, Österreich) digital ausgelesen, die Werte mittels Tabellenkalkulationssoftware (Microsoft Excel) und Diagnostiksoftware (CMDfact, Modul CMD3D, Firma dentaConcept, Hamburg) erfasst und mit der Statistiksoftware (Sigma Plot, Systat Software Inc., USA) ausgewertet.

**Ergebnisse:** Im ersten Versuch zeigte sich, dass durch die Verwendung von Konstruktionsbissen die Reproduzierbarkeit der Montage deutlich ( $p < 0,01$ ) verbessert werden konnte. Im zweiten Versuch stellte sich heraus, dass bei der Messung durch mehrere Untersucher der mittlere Fehler im Vergleich zu den Ergebnissen eines Untersuchers signifikant zunahm ( $p < 0,01$ ). Beim Vergleich der verschiedenen Untersuchergruppen, die über einen unterschiedlichen Ausbildungshintergrund verfügen, traten keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse auf ( $p < 0,01$ ). Dies galt für die Montagethoden ohne und mit Konstruktionsbiss. Durch die Zuhilfenahme von Konstruktionsbissen wurde hingegen in jeder Untersuchergruppe die Reproduzierbarkeit der Montage deutlich verbessert ( $p < 0,01$ ).

**Schlussfolgerungen:** Verwendung spezieller Konstruktionsbisse zur Zuordnung der Modelle bei der Kondylenpositionsanalyse wird deren Reproduzierbarkeit hoch signifikant verbessern. Dies gilt sowohl für die Messung durch Zahnärzte wie durch speziell trainierte ZFA und Zahnmedizinstudenten. Zwischen den drei Berufsgruppen bestanden keine relevanten Unterschiede in der Messgenauigkeit.

**Schlüsselwörter:** quantitative Vermessung der Kieferposition, Kondylenpositionsanalyse, Gleichhaltungssysteme, elektronisches Messinstrument, Zentrikregistrare, Einfluss von Konstruktionsbissen auf Kondylenpositionsanalyse

## Einleitung

Im Rahmen der instrumentellen Funktionsanalyse und -therapie und bei umfangreichen restaurativen Maßnahmen kommt der Vermessung der Kondylenposition (Kondylenpositionsanalyse) eine besondere Bedeutung zu.<sup>1-3</sup> Den Standard bilden derzeit mechanische Messinstrumente, die eine modellvermittelte indirekte Messung der Kondylenposition ermöglichen.<sup>1,4</sup> Alternativ steht auch die modellunabhängige direkte Messung zur Verfügung. Bei dieser besteht jedoch das Risiko einer Beeinflussung der Messdaten durch die montierten Messinstrumente, darüber hinaus kann es zu Einschränkungen hinsichtlich der Anwendbarkeit in Abhängigkeit von der Möglichkeit zur Befestigung des Messinstrumentariums kommen.<sup>5</sup> Neu konzipiert wurde daraufhin ein modellvermitteltes indirektes elektronisches Kondylenpositionsmessinstrument (E-CPM). Dieses wurde auf der Basis des mechanischen Kondylenpositionsmessinstrumentes Reference-CPM und der Messelektronik des Bewegungsaufzeichnungssystems Cadiax Compact 2 (beide Gamma Dental) realisiert. Die Reliabilität des neuen E-CPM wurde in entsprechenden In-vitro-Untersuchungen belegt und publiziert.<sup>6</sup> Dabei zeigte sich, dass die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit unterhalb der Wertestreuung verschiedener Zentrikregistrare liegt<sup>7-16</sup> und damit die Messgenauigkeit und die Reproduzierbarkeit so gut sind, dass die Messdaten nicht relevant durch das Gerät beeinflusst werden.<sup>6</sup>

Bis dahin ungeklärt war die Frage, ob sich diese Ergebnisse auch dann bestätigen lassen, wenn die Messung von *einem* Untersucher unter Verwendung von Originalmodellen durchgeführt wird und in welchem Maß die Streuung dann zunimmt, wenn dieselben Modelle von *verschiedenen* Benutzern montiert werden. Schließlich galt es zu prüfen, inwieweit der Einsatz von entsprechenden Bissregistraren die Ergebnisse günstig beeinflusst.

Das Ziel der in diesem Beitrag vorgestellten Untersuchungen bestand daher in der Prüfung, inwieweit die Messergebnisse bei wiederholter Messung durch *einen* Untersucher reproduzierbar sind; in welchem Maß der Montagefehler bei wiederholter Messung durch *verschiedene* Untersucher zunimmt, und ob die Reproduzierbarkeit der Messwerte durch den Einsatz von Bissregistraren in Form eines Konstruktionsbisses verbessert wird.

ment of the condylar position are the standard.<sup>1,4</sup> Model-independent direct measurement is also available as an alternative. However, there is a risk of influencing the recorded data by the mounted measuring instruments; moreover, there can be limitations with regard to usability depending upon the possibility of affixing the measuring instruments.<sup>5</sup> The model-based indirect electronic condylar position measuring instrument (E-CPM) was therefore designed, based on the Reference CPM mechanical condylar position measuring instrument and the measuring electronics of the Cadiax Compact 2 movement recording system (both Gamma Dental). The reliability of the new E-CPM has been verified and published in in-vitro studies.<sup>6</sup> It has been shown that measuring accuracy and reproducibility are less than the value spread of different centric relation records,<sup>7-16</sup> and thus the measuring accuracy and the reproducibility are so good that the recorded data are scarcely influenced by the device.<sup>6</sup>

The question of whether these results can also be confirmed if the measurement is performed by *one* examiner using original models and to what extent the spread increases if the same models are mounted by *different* users had not yet been clarified. Finally, it was a question of examining to what extent the use of bite records favorably influences the results.

The objective of the experiments presented in this study thus consisted in examining how far the measured results are reproducible upon repeated measurement by *one* examiner alone, to what extent the mounting error increases in repeated measurement by *different* examiners, and whether the reproducibility of the measured values is improved by the use of bite records in the form of a working bite.

## Materials and Methods

### Instruments

The basis of the trials presented below was the improved prototype of the E-CPM (Gamma Dental, Fig 1).

### Materials

The models used were fabricated on the basis of precision impressions using the two-phase impression taking technique (Honigum-MixStar Heavy Fast, Honigum-Automix Light, DMG Dental, Hamburg). Type IV dental stone



Fig 1 E-CPM with interposed model pair in maximum intercuspidation.

Abb. 1 E-CPM mit interponiertem Modellpaar in maximaler Interkuspitation.



Fig 2 E-CPM with interposed model pair and working bite, which reproduces the previously recorded habitual occlusion.

Abb. 2 E-CPM mit interponiertem Modellpaar und Konstruktionsbiss, der die zuvor registrierte habituelle Okklusion wiedergibt.

(Fujirock, GC Dental, Leuven, NL) served as the material. The maxillary models were then mounted in relation to the skull with an arbitrary facebow (Artex Rotofix, AmannGirrbach, Pforzheim, Germany) on a transfer stand and then in an individual articulator (Artex AP, AmannGirrbach) using special mounting plaster (Artifix, AmannGirrbach). The mandibular model was then mounted in habitual occlusion on the basis of a bite record (O-Bite bite registration material, DMG Dental).

After the mounting plaster had cured, the articulators were opened, the vertical dimension was adjusted by 5 mm and the incisal pin was locked. Instead of the bite records used for mounting, new working bites were manufactured from addition-polymerized, dimensionally stable laboratory silicone (Finopaste Duo 95, Fino GmbH, Bad Bocklet, Germany). This working bite formed the basis upon which the measurements were repeated (Fig 2).

### Examiners

Ten persons in total participated in the examinations:

- A supervisor
- Three dentists specialized in functional diagnostics (specialists)
- Three dental assistants familiar with the measurement (MDA)
- Three students of dental medicine in their final year of studies (students)

## Materialien und Methoden

### Instrumente

Grundlage der nachfolgend vorgestellten Versuche war der verbesserte Prototyp des E-CPM (Gamma Dental, Abb. 1).

### Materialien

Die verwendeten Modelle wurden auf Basis von Präzisionsabformungen im zweiphasigen zweizeitigen Abformverfahren hergestellt (Honigum-MixStar Heavy Fast, Honigum- Automix Light, DMG Dental, Hamburg).

Als Material diente der Spezialhartgips Typ IV (Fujirock, Firma GC Dental, Leuven, Belgien).

Die Oberkiefermodelle wurden anschließend schädelbezüglich mit einem arbiträren Gesichtsbogen (Artex Rotofix, Firma AmannGirrbach, Pforzheim) auf einem Übertragungsstand und danach im individuellen Artikulator (Artex AP, AmannGirrbach) montiert (Montagegips Artifix, AmannGirrbach). Danach wurde das Unterkiefermodell auf Basis eines Bissregistrates in habitueller Okklusion montiert (Registriertsilikon O-Bite, DMG Dental). Nach Aushärtung des Montagegipses wurden die Artikulatoren geöffnet, die vertikale Dimension am Inzisalstift um fünf Millimeter gesperrt und anstelle der zur Montage verwendeten Registrate neue Konstruktions-



bisse aus additionsvernetztem, dimensionsstabilem Laborsilikon (Finopaste Duo 95, Fino GmbH, Bad Bocklet) hergestellt. Dieser Konstruktionsbiss bildete die Grundlage auf der die Messungen wiederholt wurden (Abb. 2).

### Untersucher

An den Untersuchungen waren insgesamt zehn Personen beteiligt:

- ein Supervisor
- drei auf die Funktionsdiagnostik spezialisierte Zahnärzte („Spezialisten“)
- drei mit der Messung vertraute Zahnmedizinische Fachangestellte („ZFA“)
- drei Studenten der Zahnmedizin aus dem letzten Studienjahr („Studierende“).

### Methoden

Zur Prüfung der Genauigkeit der Messungen bei der Wiederholung und um festzustellen, welchen Einfluss Ausbildungshintergrund und Verwendung von Konstruktionsbissen auf die Messung haben, wurden insgesamt zwei Versuche durchgeführt:

#### **Erster Versuch: Nachweis der Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit der Montage von verschiedenen Modellen in das E-CPM durch einen Untersucher.**

Für diesen Versuch wurden aus dem laufenden Praxisbetrieb konsekutiv 20 Modellpaare ausgewählt, welche eine definierte Interkuspitation aufwiesen. Alle Modelle wurden einheitlich aus den beschriebenen Materialien hergestellt und hatten ein identisches Aussehen (Abb. 3). Aus diesem Modellbestand wurden fünf Modelle ausgewählt. Zu allen Modellen existierte jeweils ein Konstruktionsbiss. Auch diese waren äußerlich nicht zu unterscheiden.

Der erste Untersucher („Monteur“) montierte jedes der fünf Modelle insgesamt zehn Mal, bei randomisierter Reihenfolge der Modelle. Er war dabei sowohl gegenüber der Modellwahl als auch gegenüber den erhobenen Messdaten verblindet. Die Messdaten wurden durch den zweiten Untersucher („Supervisor“) aufgezeichnet und gespeichert. In der praktischen Umsetzung wählte der Supervisor eines der anonymisierten Modelle aus und reichte es dem Monteur. Dieser positionierte das Modell, hielt das Oberteil des E-CPM in der montierten Position

### Methods

Two trials were performed in total for checking the accuracy of the measurements when they are repeated and for determining what influence educational and training background and the use of working bites have on the measurement:

#### **First trial: Verification of the reproducibility and measuring accuracy of mounting different models in the E-CPM by one examiner**

For this trial, 20 model pairs having a defined intercuspa-tion were selected consecutively from current work in the practice. All models were fabricated uniformly from the described materials and had an identical appearance (Fig. 3). Five models were selected from this stock of models. A working bite existed in each case for all models. These also had the same external appearance.

The first examiner (mounter) mounted each of the five models a total of ten times, with randomized sequence of the models. He was blind both towards the choice of model and towards the measured data that were acquired. The measured data were recorded and stored by the second examiner (supervisor). In practice, the supervisor selected one of the anonymized models and handed it to the mounter. This person positioned the model, held the upper part of the E-CPM firmly in the mounted position and gave the signal for performing the measurement (“now measure”). The supervisor then started the measurement and assigned the data.

This trial design was performed once *without* working bites and once *with* the aid of working bites for mounting in the E-CPM.

The purpose of the evaluation was to determine the extent to which the recorded data of the ten measurements deviate from one another in each case for each of the five measured model pairs.

#### **Second trial: Verification of the inter-rate reliability of mounting in the E-CPM with and without bite record in habitual occlusion performed by test subjects with different educational and training backgrounds**

Proceeding from the assumption that in the first trial, sufficient agreement of the recorded data could be found in repeated measurements by one examiner, in the second trial, 20 different models were measured in randomized sequence in each case by each examiner.

Apart from a supervisor, nine examiners from the three groups named above with different educational and train-



Fig 3 Situation in the measurement of the models without and with working bite (student).

Abb. 3 Situation bei der Messung der Modelle ohne und mit Konstruktionsbiss (Student).

ing background participated in the measurements: Three dentists specialized in functional diagnostics (specialists), three dental assistants familiar with the measurement (MDA) and three students of dental medicine in their final year of studies (students).

The practical procedure was such that the supervisor assembled all anonymized models in randomized sequence on the bench. The person performing the measurements then had to position the models in order in each case and give the signal for the measurement ("now measure"). The supervisor then started the measurement and assigned the recorded data to the relevant model pair (Fig 3).

This trial was also performed once without working bites and once with the aid of working bites for mounting in the E-CPM.

The purpose of the evaluation was to determine the extent to which the measured data of the different examiners agreed in each case in relation to one model pair, and whether in this case significant influences of the different educational and training backgrounds could be determined. Moreover, whether the consistency of the measured values differed to a significant degree from the comparable measurement without working bite had to be investigated.

fest und gab die Position zur Messung frei („jetzt messen“). Der Supervisor löste daraufhin die Messung aus und ordnete die Daten zu.

Dieses Versuchsdesign wurde einmal *ohne* Konstruktionsbisse und einmal unter Zuhilfenahme von Konstruktionsbissen für die Montage im E-CPM durchgeführt.

In der Auswertung sollte festgestellt werden, inwieweit die Messdaten der jeweils zehn Messungen für jedes der fünf vermessenen Modellpaare voneinander abwichen.

**Zweiter Versuch: Nachweis der Interrater-Reliabilität der Montage im E-CPM mit und ohne Bissregistrator in habitueller Okklusion bei Probanden mit verschiedenen Ausbildungshintergründen.**

Ausgehend von der Annahme, dass im ersten Versuch eine ausreichende Übereinstimmung der Messdaten bei wiederholter Messung durch einen Untersucher festgestellt werden konnte, wurden im zweiten Versuch 20 verschiedene Modelle in randomisierter Abfolge jeweils von jedem Untersucher vermessen.

An den Messungen waren neben einem Supervisor aus den oben genannten drei Gruppen mit unterschiedlichem Ausbildungshintergrund neun Untersucher beteiligt: Drei auf die Funktionsdiagnostik spezialisierte Zahnärzte („Spezialisten“), drei mit der Messung vertraute Zahnmedizinische Fachangestellte („ZFA“) und drei Studenten der Zahnmedizin im letzten Studienjahr („Studierende“).

Das praktische Vorgehen wurde so durchgeführt, dass der Supervisor alle anonymisierten Modelle in randomisierter Reihenfolge auf dem Tisch aufbaute. Die jeweilige Messperson musste anschließend die Modelle der Reihe nach positionieren und die Messung freigeben („jetzt messen“). Der Supervisor löste daraufhin die Messung aus und ordnete die Messdaten dem jeweiligen Modellpaar zu (Abb. 3).

Auch dieses Versuchsdesign wurde einmal *ohne* Konstruktionsbisse und einmal *unter Zuhilfenahme* von Konstruktionsbissen für die Montage im E-CPM durchlaufen. In der Auswertung sollte herausgestellt werden, inwieweit die Messdaten der verschiedenen Untersucher bezüglich jeweils eines Modellpaares übereinstimmten und ob dabei signifikante Einflüsse der verschiedenen Ausbildungshintergründe festzustellen waren. Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob sich die Konsistenz der Messwerte in signifikantem Maß von der vergleichbaren Messung ohne Konstruktionsbiss unterschied.

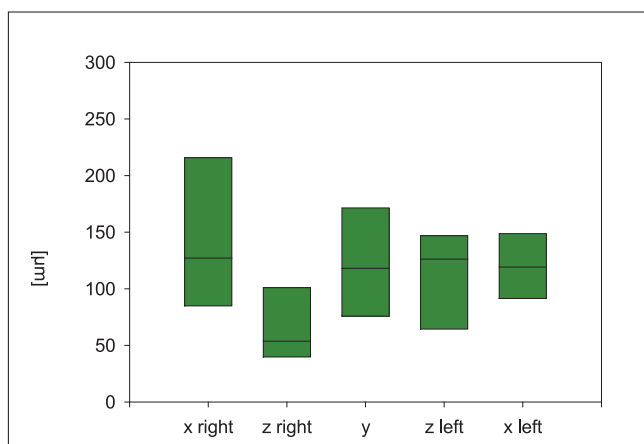


Fig 4 Recorded data for ten mountings of five models in the E-CPM in each case, for mounting by one examiner without using working bites.

Abb. 4 Messdaten für jeweils zehn Montagen von fünf Modellen im E-CPM, bei der Montage durch einen Untersucher ohne Verwendung von Konstruktionsbissen.

### Mathematische Auswertung

Die Messdaten der fünf Achsen (x rechts, z rechts, y, x links, z links) wurden zunächst normalisiert, der mittlere Fehler berechnet und die Daten anschließend in einem Box-Plot-Diagramm dargestellt.

Neben der deskriptiven Statistik sollten mit Hilfe des t-Tests signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bzw. zwischen den Methoden herausgestellt werden ( $p < 0,01$ ). Die Nullhypothese sah vor, dass zwischen den Gruppen bzw. zwischen den Methoden kein statistisch signifikanter Unterschied zu finden ist.

### Ergebnisse

#### Erster Versuch

In Abbildung 4 ist der mittlere Fehler für jede Achse und jedes Modell als Box-Plot-Diagramm dargestellt. Hierbei erfolgte die Montage durch einen Untersucher ohne Zuhilfenahme von Konstruktionsbissen. Der mittlere Fehler ist mit einem Wert zwischen  $100 \mu\text{m}$  und  $150 \mu\text{m}$  anzunehmen.

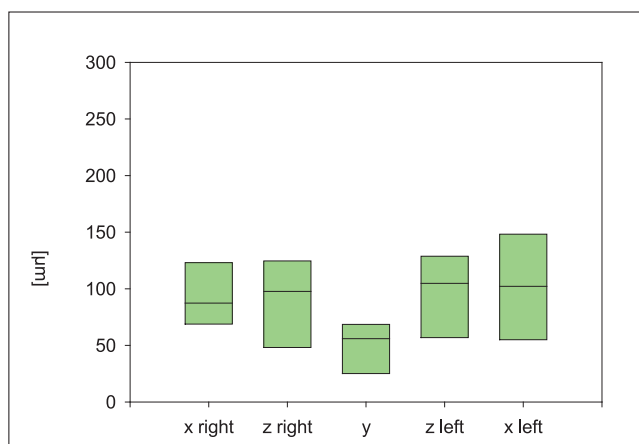


Fig 5 Recorded data for ten mountings of five models in the E-CPM in each case, mounting by one examiner using working bites, and displaying the improved accuracy in the individual case.

Abb. 5 Messdaten für jeweils zehn Montagen von fünf Modellen im E-CPM, bei der Montage durch einen Untersucher mit Verwendung von Konstruktionsbissen zur Darstellung der verbesserten Genauigkeit im Einzelfall.

### Mathematical evaluation

The measured data of the five axes (x right, z right, y, x left, z left) were initially normalized, the mean error calculated, and the data were then displayed in a box-plot diagram.

Apart from the descriptive statistics, the Student's t-test ( $p < 0.01$ ) was used to determine whether differences were significant between the groups or between the methods. The null hypothesis was that no statistically significant difference could be found between the groups or between the methods.

### Results

#### First trial

The mean error for each axis and each model is displayed as box plot diagram in Fig 4. In this case, mounting was by one examiner without the aid of working bites. The mean error can be assumed with a value between  $100 \mu\text{m}$  and  $150 \mu\text{m}$ .

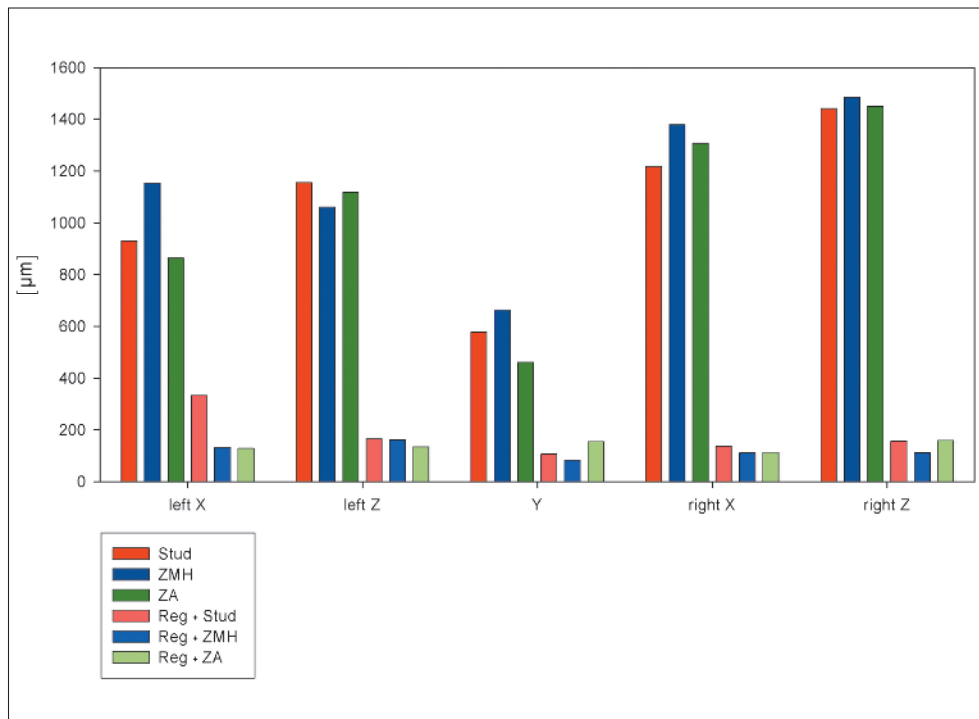


Fig 6 Comparison of the three groups of examiners with regard to the accuracy of mounting in the E-CPM without and with the use of working bites.

Abb. 6 Vergleich der drei Untersuchergruppen bezüglich der Genauigkeit bei der Montage in den E-CPM ohne und mit der Verwendung von Konstruktionsbissen.

The mean error for each axis and each model is displayed anew in Fig 5 in the form of a box plot diagram. This time mounting was done by one examiner with using a working bite. A reduced mean error is shown in three axes (z right, y, x left).

### Second trial

The results of mounting by different user groups without and with use of a working bite are shown in Fig 6. The legend illustrates the assignment (the three bars shown in each case on the right represent the measured values with the aid of a working bite).

In comparison with the results of one examiner (Figs. 4 and 5), all three groups (students/red, dental medical assistants/blue and specialized dentists/green) showed an increased mean error.

The graphic representation and the statistical tests show that none of the groups could achieve a significantly better result compared with the others. This applied for both tested mounting methods (without and with working

In Abbildung 5 ist erneut der mittlere Fehler für jede Achse und jedes Modell in Form eines Box-Plot-Diagramms abgebildet. Dieses Mal erfolgte die Montage durch einen Untersucher unter Zuhilfenahme eines Konstruktionsbisses. In drei Achsen zeigt sich ein verminderter mittlerer Fehler (z rechts, y, x links).

### Zweiter Versuch

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Montage durch verschiedene Benutzergruppen ohne und mit Verwendung eines Konstruktionsbisses dargestellt. Die Legende verdeutlicht die Zuordnung (die drei jeweils rechts dargestellten Balken stellen die Messwerte unter Zuhilfenahme eines Konstruktionsbisses dar).

Im Vergleich zu den Ergebnissen eines Untersuchers (Abb. 4 und 5) zeigen alle drei Gruppen (Studenten/rot, Zahnmedizinische Fachangestellte/blau und spezialisierte Zahnärzte/grün) einen erhöhten mittleren Fehler.

Die graphische Darstellung und die statistischen Tests verdeutlichen, dass keine der Gruppen gegenüber der ande-



ren ein signifikant besseres Ergebnis erzielen konnte. Dies galt für beide getesteten Montagemethoden (*ohne* und *mit* Konstruktionsbiss).

Die Verwendung von Konstruktionsbissen verbesserte hingegen in jeder Untersuchungsgruppe die Genauigkeit der Montage signifikant ( $p < 0,01$ ).

## Diskussion

In einer früher durchgeführten Studie konnte bereits *in vitro* die Reliabilität des Messgerätes E-CPM gezeigt werden.<sup>6</sup> In der vorliegenden Untersuchung wurde geprüft, ob diese Reliabilität auch in der praktischen Anwendung – unter Einsatz von konsekutiv aus dem Praxisbetrieb gewonnenen Modellen – bestätigt werden kann. Im Sinne einer schrittweisen Erfassung der verschiedenen Einflussfaktoren wurden dabei die Parameter untersucht, die in der Praxis Auswirkungen auf die Ergebnisse haben können. Im **ersten Versuch** wurde überprüft, inwieweit die Handhabung selbst die Ergebnisse bei einem einzigen Untersucher beeinflusst. Wie die Auswertung zeigte, erhöhte sich bei der jeweils wiederholten Montage verschiedener Patientenmodelle und der darauf basierenden Messung der Kondylenposition, die Wertestreuung gegenüber der *In-vitro*-Prüfung mit dem Normkontrollsockel von etwa 30  $\mu\text{m}$  auf 120  $\mu\text{m}$  (siehe Werte der y-Achse). Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Untersuchungsdaten aus anderen Studien zur Reproduzierbarkeit der zentrischen Kieferrelationsbestimmung so ergibt sich, dass die Genauigkeit der Kondylenpositionsanalyse dazu geeignet ist, die Unterschiede zwischen verschiedenen Kieferpositionen zu messen.

Nach den Beobachtungen des Monteurs war der größte Unsicherheitsfaktor die genaue Bestimmung der maximalen Interkuspidation. Dieser Faktor ist damit unabhängig von dem in diesem Beitrag neu vorgestellten Messalgorithmus. Die Methode an sich ist damit präzise genug, um als qualitätssicherndes Verfahren in der klinischen Routine die Veränderungen der Kieferposition herauszustellen.

Im **zweiten Versuch** zeigte sich, dass das Verfahren unabhängig von der Berufserfahrung des Benutzers ähnliche Messwerte ergibt. Für die Genauigkeit des Verfahrens ist somit die manuelle Geschicklichkeit des Anwenders wichtiger als sein Ausbildungshintergrund. Zudem kann durch die Verwendung eines Konstruktionsbisses die wieder-

bite). On the other hand, using working bites improved the accuracy of mounting significantly ( $p < 0.01$ ) in each group of examiners.

## Discussion

The reliability of the E-CPM measuring device has already been shown *in vitro* in an earlier study.<sup>6</sup> The present study examines whether this reliability can also be confirmed in practical use – using models gained consecutively from work in the practice. The parameters that could have an effect on the results in practice were examined by step-by-step inclusion of the different factors influencing the measurements.

In the **first trial**, the extent to which handling as such influences the results of a single examiner was checked. As the evaluation showed, the value spread increased compared to the *in-vitro* test with the standard control base, from around 30  $\mu\text{m}$  to 120  $\mu\text{m}$  (see y-axis values) when mounting of different patient models and measurement of the condylar position based on them were repeated. If one compares these results with the examination data from other studies on the reproducibility of determining centric jaw relation, then it is shown that the accuracy of condylar position analysis is sufficient for measuring the differences between different positions of the jaw.

According to the observations of the moulder, the greatest uncertainty factor was the accurate determination of the maximum intercuspidation. This factor is thus independent of the measuring algorithm newly presented in this paper. The method in itself is thus precise enough to highlight the changes of the jaw position, as a quality assurance method in clinical routine.

In the **second trial**, it was shown that the method results in similar measured values, independent of the professional experience of the user. Thus, for the accuracy of the method, the manual skill of the user is more important than his or her educational and training background. In addition, by using a working bite, repeated determination of maximum intercuspidation can be guaranteed largely independently of the examiner. This makes condylar position analysis using the E-CPM even less susceptible to the influence of the user's training and experience. If one analyses the value distribution of the measurements with models for the measured axes by the different examiners, then it is apparent that the spread of the recorded

data is clearly higher in this case than that previously determined in in-vitro characterization. This leads to the conclusion that the accuracy of the E-CPM measuring instrument is a great deal higher than the reproducibility of the positioning of the models by the examiners. This fact offers sufficient room for improving the method by improved handling on the part of the examiners, even before the technical limits of the measuring instrument are reached. Lotzmann already demands using "an additional wax record (...) in habitual intercuspatation", but only for the case that "when checking the occlusion no clear assignment of upper and lower jaw is possible".<sup>17</sup> In practice, this is difficult to implement insofar as the assessment whether unequivocal positioning is possible can be made only when the models are available. However, at this time, the patient is as a rule no longer in the practice, and would have to be requested to come back before the first mounting of the mandibular model in the articulator. In view of the available results, taking jaw relation determinations in habitual occlusion regularly would be appropriate in the future. The bite records resulting from this can then be used for the fabrication of working bites as in this study for positioning the jaw models in condylar position analysis.

## Conclusion

Within the framework of the limitations of this study, it remains to be stated that the E-CPM is suitable for clinical applications with regard to accuracy. The method itself is less susceptible to factors such as the degree of training and experience of the user. Use of a working bite for assuring maximum intercuspatation significantly reduces the positioning spread when mounting for all user groups and thus increases the accuracy of the measuring system and the reliability of statements based on it. If work has to be done without this aid, it is expedient that in each case the same user mounts the models of the same patient, since in this way a smaller error can be achieved.

The E-CPM thus represents a new, technically fully developed measuring instrument for quality assurance within the scope of functional therapy in craniomandibular dysfunction (CMD). With it, it is possible for the first time to reproducibly compare the condylar position of a patient at different stages of treatment.

IJCD

holte Bestimmung einer maximalen Interkuspidation weitgehend unabhängig vom Untersucher gewährleistet werden. Dies macht die Kondylenpositionsanalyse unter Einsatz des E-CPM noch einmal unanfälliger gegenüber Ausbildung und Erfahrung des Benutzers.

Analysiert man die Werteverteilung für die Messungen mit Modellen für die gemessenen Achsen durch die unterschiedlichen Untersucher, so fällt auf, dass die Streubreite der Messdaten hierbei deutlich höher ist als die zuvor in der In-vitro-Charakterisierung festgestellten. Hieraus ergibt sich die Feststellung, dass die Genauigkeit des Messinstrumentes E-CPM sehr viel höher ist als die Reproduzierbarkeit der Positionierung der Modelle durch die Untersucher. Diese Tatsache bietet ausreichend Spielraum zur Verbesserung des Verfahrens durch die Handhabung seitens der Untersucher, noch bevor die technischen Grenzen des Messinstrumentes erreicht werden.

Bereits Lotzmann verlangt „ein zusätzliches Wachsregi- strat (...) in habitueller Interkuspidation“ zu verwenden, allerdings nur für den Fall, dass sich „bei der Überprüfung der Verzahnung“ ergibt, „dass keine eindeutige Zuordnung von OK und UK möglich ist“.<sup>17</sup> In der Praxis ist dieses insofern schwer umzusetzen, als die Bewertung, ob eine eindeutige Positionierung möglich ist, erst beim Vorliegen der Modelle erfolgen kann. Zu diesem Zeitpunkt ist der Patient in der Regel aber schon nicht mehr in der Praxis und müsste somit vor der ersten Montage des Unterkiefermodells im Artikulator erneut einbestellt werden. Insofern bietet es sich, angesichts der vorliegenden Ergebnisse an, in Zukunft regelmäßig entsprechende Kieferrelationsbestimmungen in habitueller Okklusion durchzuführen, und auf dieser Basis Konstruktionsbisse wie hier beschrieben herzustellen, die dann zur Positionierung der Kiefermodelle bei der Kondylenpositionsanalyse verwendet werden.

## Schlussfolgerung

Im Rahmen der Limitation dieser Studie bleibt festzuhalten, dass das E-CPM für klinische Anwendungen hinsichtlich der Genauigkeit geeignet ist. Die Methode selbst ist wenig anfällig gegenüber Faktoren wie Ausbildungsgrad und Erfahrung des Anwenders. Die Verwendung eines Konstruktionsbisses zur Sicherung der maximalen Interkuspidation reduziert signifikant die Streubreite der Positionierung bei der Montage in allen

Benutzergruppen und erhöht so die Genauigkeit des Messsystems und die Zuverlässigkeit darauf beruhender Aussagen. Wenn nicht mit diesem Hilfsmittel gearbeitet werden soll, ist es sinnvoll, dass jeweils der gleiche Benutzer die Modelle desselben Patienten montiert, da so ein geringer Fehler erreicht werden kann. Das E-CPM stellt damit ein neues, technisch ausgereiftes Messinstrument zur Qualitätssicherung im Rahmen der Funktionstherapie bei kranio-mandibulären Dysfunktionen (CMD) dar. Damit wird es erstmalig möglich, die Kondylenposition eines Patienten in verschiedenen Stadien der Behandlung reproduzierbar zu vergleichen.

IJCD

## References

1. Ahlers MO. Restaurative Zahnheilkunde mit dem Artex-System. Hamburg: dentaConcept, 1998.
2. Bumann A, Lotzmann U. Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Stuttgart: Thieme, 2000.
3. Freesmeyer WB. Zahnärztliche Funktionstherapie. München: Hanser, 1993.
4. Gutowski A, Bauer A. Funktionsanalyse und Funktionstherapie im stomatognathen System. Berlin: Quintessenz, 1982.
5. Gschoßmann K, Müller J, Bruckner G, Schmid C, Hochholzer M, Gernet W. Vergleich eines direkten mit einem indirekten Verfahren zur Kondylenpositionsanalyse. Dtsch Zahnärztl Z 1995;50:547-552.
6. Ahlers MO, Jakstat HA. Entwicklung eines computer-gestützten Systems zur modellvermittelten Kondylenpositionsanalyse (E-CPM). Int J Computer Dent 2009;12:223-234.
7. Utt TW, Meyers CE, Jr., Wierzba TF, Hondrum SO. A three-dimensional comparison of condylar position changes between centric relation and centric occlusion using the mandibular position indicator. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1995;107:298-308.
8. Utz KH, Muller F, Bernard N, Hultenschmidt R, Kurbel R. Comparative studies on check-bite and central-bearing-point method for the remounting of complete dentures. J Oral Rehabil 1995;22:717-726.
9. Utz KH, Muller F, Luckerath W, Fuss E, Koeck B. Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. J Oral Rehabil 2002;29:458-466.
10. Piehslinger E, Bauer W, Schmiedmayer HB. Computer simulation of occlusal discrepancies resulting from different mounting techniques. J Prosthet Dent 1995;74:279-283.
11. Piehslinger E, Celar A, Celar R, Jager W, Slavicek R. Reproducibility of the condylar reference position. J Orofac Pain 1993;7:68-75.
12. Crawford SD. Condylar axis position, as determined by the occlusion and measured by the CPI instrument, and signs and symptoms of temporomandibular dysfunction. Angle Orthod 1999;69:103-115; discussion 115-106.
13. Latta GH, Jr. Influence of circadian periodicity on reproducibility of centric relation records for edentulous patients. J Prosthet Dent 1992;68:780-783.
14. Rosner D, Goldberg GF. Condylar retruded contact position and intercuspal position correlation in dentulous patients. Part I: Three-dimensional analysis of condylar registrations. J Prosthet Dent 1986;56:230-239.
15. Wood DP, Elliott RW. Reproducibility of the centric relation bite registration technique. Angle Orthod 1994;64:211-220.
16. Wood DP, Korne PH. Estimated and true hinge axis: a comparison of condylar displacements. Angle Orthod 1992;62:167-175; discussion 176.
17. Lotzmann U. Okklusionsschienen und andere Aufbissbehelfe. München: Neuer Merkur, 1983.



**Address/Adresse:** Kai Vahle-Hinz, CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf, Falkenried 88 (CiM, Haus C, 3. OG), 20251 Hamburg, Germany, Email: [Kai.Vahle-Hinz@cmd-centrum.de](mailto:Kai.Vahle-Hinz@cmd-centrum.de)  
[www.cmd-centrum.de](http://www.cmd-centrum.de)

**Kai Vahle-Hinz**

2001-2006: Studium der Zahnmedizin am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf  
2001: Praktikum Corporate Account Management, Fa. Siemens, Dublin/Irland  
2006: Staatsexamen in Hamburg  
Seit Januar 2007: Vorbereitungsassistent und wissenschaftlicher Mitarbeiter am CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf (Leitung von Priv.-Doz. Dr. Ahlers)  
Seit Januar 2007: Postgraduierte Fortbildung zum Spezialisten für Funktionsdiagnostik und -therapie im CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf  
Seit Juli 2007: Promotion im Arbeitsgebiet „Klinische Funktionsdiagnostik“  
November 2008: Tagungsbestpreis bei der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) in der Kategorie „Beste Wissenschaftliche Posterpräsentation“ (gemeinsam mit A. Rybczynski, H.A. Jakstat und M.O. Ahlers)

**Kai Vahle-Hinz**

2001-2006: Study of dentistry at the Hamburg-Eppendorf University Clinic, Hamburg, Germany  
2001: Practical training in Corporate Account Management, Siemens, Dublin/Ireland  
2006: State licensing examination in Hamburg  
January 2007 - present: Preparation assistant and scientific co-worker at the CMD Center Hamburg-Eppendorf  
January 2007 - present: Postgraduate training as specialist for functional diagnostics and therapy in the CMD Center Hamburg-Eppendorf  
July 2007 - present: Doctorate in the field of "Clinical functional diagnostics"  
November 2008: Meeting's best prize at the annual meeting of the Germany Society of Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT) in the category "Best Scientific Poster Presentation" (jointly with A. Rybczynski, H.A. Jakstat and M.O. Ahlers)