

M. Oliver Ahlers, Holger A. Jakstat

## Digitalization of functional diagnostics

Status of computer-aided diagnostic data processing and integrated evaluation

## Digitalisierung der Funktionsdiagnostik

Stand der computergestützten Befunddatenverarbeitung und deren integrierter Auswertung

### Zusammenfassung

In der Funktionsdiagnostik erheben Zahnärzte im Rahmen funktionsanalytischer Einzeluntersuchungen zahlreiche Befunde und ordnen diese als möglichst differenzierte Diagnose zu einem Gesamtbild. Funktionsdiagnostik ist insofern im Kern eine medizinische Datenverarbeitung. Das Besondere ist hierbei, dass man die Funktionsstörung an sich nicht „sehen“ kann, weshalb es spezieller Befunde sowie ihrer Auswertung bedarf, um die funktionelle Situation zu erfassen. Aufgrund der Vielzahl der hierbei entstehenden Einzelinformationen bietet es sich geradezu an, diese in digitale Informationsverarbeitungssysteme zu überführen. Neben der digitalen Fertigung zahnärztlicher Restaurationen entsteht hier ein Bereich der Zahnheilkunde, der erheblich von der Digitalisierung profitiert. Dieser Beitrag zeigt den aktuellen Stand auf und beschreibt die Umsetzung für die einzelnen Untersuchungen und die dadurch erlangten Optionen.

**Indizes:** *CMD, TMD, Klinische Funktionsanalyse, Manuelle Strukturanalyse, Tests auf orthopädische Co-Faktoren, Tests auf psychosomatische Co-Faktoren, Zentrikregistrat, Kondylenpositionsanalyse, Artikulatorprogrammierung, Funktionelle Bewegungsanalyse*

### Einleitung

Digitalisierung bedeutet im Kern die Überführung von analogen Informationen in ein digitales Format. Gemeint ist dabei implizit, dass die Informationen anschließend digital in einer Datenbank gespeichert werden. Diese im Nachgang Algorithmen-gesteuert verarbeiten zu können macht den wirklichen inhaltlichen Vorteil der „Digitalisierung“ aus.

### Abstract

In functional diagnostics, dentists gather numerous findings by performing different functional examinations and tests, and establish as differentiated a diagnosis as possible by arranging the individual pieces to produce an overall picture. In this respect, functional diagnostics is basically medical data processing. However, because one cannot 'see' the functional disorder itself, the clinician must gather and evaluate special findings in order to capture the functional situation. As this process generates many individual pieces of data, it is very useful to transfer the data to a digital information processing system. This has given rise to an emerging field of digital dental functional diagnostics which, like digital dentistry for the fabrication of dental restorations, exploits the considerable benefits of digitalization. This article describes the current status and implementation in individual examinations of digital dental functional diagnostics and the options gained from this approach.

**Keywords:** *articulator programming, centric relation records, condylar position analysis, clinical functional analysis, functional jaw movement analysis, manual structural analysis, temporomandibular disorders (TMD), tests for orthopedic cofactors, tests for psychosomatic cofactors*

### Introduction

Digitalization essentially means converting information from analog to digital format. This implies the subsequent storage of the information in a database. The real advantage of 'digitalization' is that algorithms can be used for later processing of the stored information.

## Digitalization in medicine

One example of the usefulness of digitalization in medicine is echocardiography (ECG). The first step is to convert the ECG acoustic signals into digital data and store them in a database. Thanks to digitalization, the stored data can be analyzed by algorithm-based methods. Known patterns identified by the software are then assigned to the corresponding diagnoses<sup>1-3</sup>.

Digitalization is also used for the evaluation of dark spots on the skin. First, a photograph of the skin condition – a dark spot in this case – is taken, converted to digital data format, and stored in a database. This enables algorithm-based image data processing on the basis of which known signal patterns are assigned to specific diagnoses<sup>4,5</sup>.

In both cases, 'digitalization' means more than just converting analog data into a digital format. Instead, the term refers to the many additional applications and functions that can be realized after digitization (ie, conversion of the data from analog to digital form). However, most studies stress that these systems should only be used to support but not to replace the physician. The typical workflow is as follows:

1. Conversion of findings recorded as analog data into a digital data model. With more evolved technology, it is possible to capture digital records of the tissue findings from the outset.
2. Algorithm-based processing of these data for pattern recognition.
3. Assignment of recognized patterns (findings) to the corresponding diagnoses by the physician or the software (rule-based description and classification on a fully or semiautomated basis).

The advantage and potential of such processes lie in the possibility to further refine the corresponding algorithms with increasing medical knowledge, and thus to continuously improve the quality of pattern recognition. However, the system can only recognize characteristics that it was programmed to identify. The risk of nonrecognition or false recognition of structures unknown to the algorithm is thus inherent to these systems. This is why, as a rule, the final decision regarding the diagnosis is made by the dentist or physician in all digitalization systems.

## Digitalisierung in der Medizin

Ein derartiges Beispiel für hilfreiche Digitalisierungen in der Medizin ist das Echokardiogramm (EKG). Hierbei werden im ersten Schritt die akustischen Signale des EKG in digitale Daten umgewandelt und in einer Datenbank gespeichert. Diese Digitalisierung ermöglicht im weiteren Verlauf die Algorithmen-basierte Auswertung. Damit erkannte Muster werden anschließend zu den betreffenden Diagnosen zugeordnet<sup>1-3</sup>.

Ein weiteres Beispiel betrifft die Bewertung dunkler Hautveränderungen. Auch hier wird zunächst eine Hautveränderung – als Bild erfasst, in digitale Daten überführt und in einer Datenbank abgespeichert. Das wiederum ermöglicht eine Algorithmen-gestützte Bilddatenverarbeitung als Grundlage der Zuordnung erkannter Signale zu bestimmten Diagnosen<sup>4-5</sup>.

Die „Digitalisierung“ umfasst in beiden Fällen mehr als die Wandlung analoger Daten in ein digitales Format. Stattdessen sind auf Grundlage der Digitalisierung realisierte Anwendungen gemeint, bei denen die Überführung in digitale Formate zusätzliche Funktionen ermöglicht. Die Studienlage legt zumeist nahe, die Systeme unterstützend einzusetzen, sie ersetzen also nicht den Arzt. Typisch ist dabei folgender Ablauf:

1. Überführung eines analog aufgezeichneten Befundes in ein digitales Datenmodell; als Evolution dann von vornherein die digitale Erfassung des geweblichen Befundes;
2. Algorithmen-basierte Verarbeitung jener Daten mit dem Ziel der Mustererkennung;
3. Zuordnung des erkannten Musters als Befund zu hierzu passenden Diagnosen durch den Arzt oder regelbasiert mit der Option der (Teil-) Automatisierung.

Der Vorteil und das Potenzial derartiger Prozesse besteht in der Möglichkeit, die entsprechenden Algorithmen mit zunehmendem medizinischem Wissen weiterzuentwickeln und dadurch die Qualität der hinterlegten Mustererkennung ständig zu verbessern. Das System ist dabei aber nur auf Merkmale eingestellt, auf die es vorbereitet wurde. Dies birgt das Risiko, dass von dem Algorithmus unbekannte Strukturen nicht oder falsch erkannt wurden. Bislang eint die verschiedenen Anwendungen daher, dass die in der Regel die letzte Entscheidung über die Diagnose dem (Zahn-) Arzt vorbehalten bleibt.

## Digitalisierung in der Funktionsdiagnostik

In der Erwartung einer solchen Evolution entwickelt die Arbeitsgruppe der Autoren seit 1996 derartige Techniken für die zahnärztliche Funktionsdiagnostik. Erforderlich hierfür waren folgende Entwicklungsschritte:

1. Identifikation der für die Untersuchung relevanten Einzelbefunde
2. Definition der möglichen Merkmalsausprägungen (als Grundlage der Digitalisierung)
3. Festlegung eines Diagnoseschemas (als Voraussetzung für die Zuordnung)
4. Zuordnung der Einzelbefunde zu den verschiedenen Diagnosen
5. Entwicklung einer Softwarearchitektur, die diese Informationen verarbeitet und spätere Änderungen und Erweiterungen ermöglicht
6. Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche, die in der ersten Ebene auf einen Blick eine Übersicht über den aktuellen Behandlungsstand vermittelt und mit maximal zwei Klicks alle Informationen zugänglich macht.

Bereits die ersten Arbeiten der Autoren zur Digitalisierung der Klinischen Funktionsanalyse wurden 1996 mit einem Tagungsbestpreis der DGFDT prämiert, ebenso das Diagnosesystem 2001. Auf dieser Grundlage entstand 2002 die erste Software für die Klinische Funktionsanalyse, CMDfact (dentaConcept Verlag, Hamburg)<sup>6,7</sup>.

Die fachliche Entwicklung erforderte 2010 eine neue Version CMDfact 3<sup>8</sup> für die Erweiterung um ein Modul für die Manuelle Strukturanalyse, CMDmanu<sup>9</sup>. Darin erstmals realisiert war das Konzept einer *getrennten Erfassung* der Befunde bei *integrierter Auswertung* beider Untersuchungen.

Zur Integration weiterer Untersuchungen war wiederum eine vollständige Neuentwicklung der Softwarearchitektur und Benutzeroberfläche in CMDfact 4 erforderlich, die den Sprung auf Windows 10 realisiert und erstmals auch nativ unter Mac-OS ab 10.8 läuft<sup>10</sup> (Abb. 1). Entscheidend ist jedoch die Implementierung einer „Timeline“, einer grafisch aufbereiteten Befunde- und Diagnosehistorie, die dem Behandelnden jederzeit die Möglichkeit gibt, auch die Entwicklung der Beschwerden und der Behandlung schnell zu erfassen. Mittlerweile sind weitere Module für das CMD-Screening (CMDcheck)<sup>11</sup>, die strukturierte Schmerzerfassung (CMDpain) und die funktionelle Bewegungsanalyse (CMDtrace)<sup>12</sup> verfügbar und andere in Ent-

## Digitalization in functional diagnostics

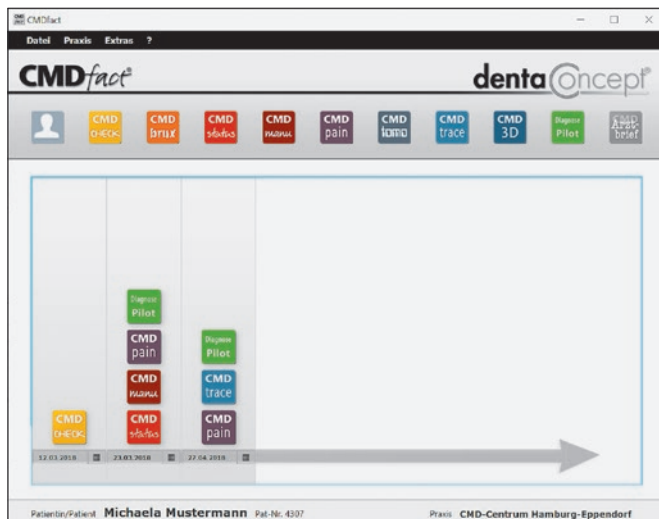
In anticipation of such an evolution, the authors' working group has been developing digitalization applications for dental functional diagnostics since 1996. The following development steps were required for this:

1. Identification of individual symptoms relevant to the examination.
2. Definition of possible characteristic values (as the basis of digitization).
3. Definition of a diagnostic scheme (as the prerequisite for diagnostic assignment).
4. Assignment of individual symptoms to the various diagnoses.
5. Development of a software architecture that processes this information and allows for subsequent revisions and extensions.
6. Development of a graphical user interface, the first level of which gives a quick overview of the current status of treatment and allows the user to access all information with no more than two clicks.

Our first publications on the digitalization of clinical functional analysis received the Best Paper Award at the German Society for Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT) Annual Meeting in 1996, and the Diagnostic System Award in 2001. This served as the basis for development of CMDfact (dentaConcept Verlag, Hamburg), the first clinical functional analysis software launched in 2002<sup>6,7</sup>.

In line with technical developments, a new version (CMDfact 3)<sup>8</sup> required for a manual structural analysis module extension (CMDmanu)<sup>9</sup> was released in 2010. This was the first software capable of *separately recording* examination findings and performing an *integrated analysis* of the two examinations.

The software architecture and user interface had to be completely redeveloped in order to integrate other examinations. The result was CMDfact 4, which made the leap to Windows 10 and was the first software to run natively on Mac OS 10.8<sup>10</sup> (Fig 1). One of the most important changes, however, was the addition of a timeline – a graphical user interface depicting the history of a patient's findings and diagnoses. This allows the clinician to quickly review information about the course of development of the patient's symptoms and treatment at any time. New modules for temporomandibular dysfunction (TMD) screening (CMDcheck)<sup>11</sup>, structured pain analysis (CMDpain), and functional movement analysis (CMDtrace)<sup>12</sup> are already available, and others are being developed.



**Fig 1** CMDfact 4, the current version of the software, displays the findings of the individual examinations on a timeline. Each appointment is represented by a bar, and each icon on the bar represents an examination. The icons are placed on the bars by drag and drop and are opened by double-clicking.

**Abb. 1** CMDfact stellt in der aktuellen Version 4 die verschiedenen Einzelbefunde in einer Zeitleiste (Timeline) dar. Darin entspricht jeder Termin einem Balken und jedes darin enthaltene Icon einer Untersuchung. Die Icons kommen per Drag and Drop in die Balken und werden jeweils per Doppelklick geöffnet.

The individual examination steps and the conditions for their digitalized implementation are described in the following sections.

## TMD screening

TMD screening is a short examination designed to determine whether there are objective signs of TMD without the use of complicated technical instruments. CMD short examination is a short TMD screening tool, the development of which was based on the Brief Functional Examination designed by Krogh-Poulsen<sup>13,14</sup>. The examination proposed by Krogh-Poulsen provides a list of findings but not proof of suitability<sup>15</sup>. In order to refine this symptoms library, we conducted a clinical randomized controlled trial at the University Medical Center Hamburg-Eppendorf to determine which symptoms and which combinations of symptoms make it possible to determine whether the diagnosis of TMD can be established by clinical functional analysis. The study revealed that TMD patients do not differ from those without TMD in terms of the frequency of *individual* TMD characteristics. Instead, TMD patients typ-

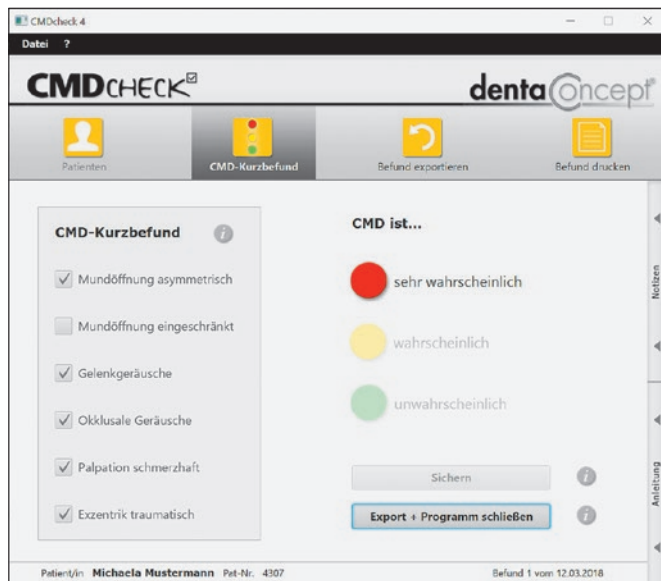
wicklung. Nachfolgend sind daher die einzelnen Untersuchungsschritte und ihre Umsetzung unter den Bedingungen der Digitalisierung beschrieben.

## CMD-Screening

Das CMD-Screening dient dazu, im Rahmen einer kurzen Untersuchung ohne aufwendige technische Hilfsmittel festzustellen, ob es begründete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Craniomandibulären Dysfunktion (CMD) gibt. Hierfür eingeführt ist der „CMD-Kurzbefund“, den die Autoren dieses Beitrags basierend auf der Grundlage der „Kleinen Funktionsanalyse“ nach Krogh-Poulsen entwickelt haben<sup>13,14</sup>. Er hatte lediglich eine Auflistung von Befunden vorgeschlagen, aber keinen Nachweis der Eignung veröffentlicht<sup>15</sup>. Die Autoren entwickelten diese Befundsammlung weiter, indem sie mittels einer randomisierten klinischen kontrollierten Studie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf ermittelten, welche der genannten Befunde und in welcher Kombination die Abschätzung möglichen, ob bei einer klinischen Funktionsanalyse die Diagnose einer CMD gestellt würde. Wie sich herausstellte, unterscheiden sich die an einer CMD erkrankten Patienten nicht von gesunden Probanden im Hinblick auf die Häufigkeit einzelner Merkmale. Charakteristisch war stattdessen, dass CMD-Patienten typischerweise mehrere „positive“ Befunde aufwiesen. Daraus ergab sich als Auswertungsstrategie, nach der Anzahl „positiver“ Befunde CMD-Patienten von anderen zu unterscheiden<sup>16-18</sup>.

Digital umgesetzt ist diese Untersuchung in Form der Software CMDcheck (dentaConcept), mittlerweile in der Version 4.2. Die Software läuft für sich allein („stand alone“) oder als Modul für die Software-Suite CMDfact. Den Kern von CMDcheck bildet die Programmseite CMD-Kurzbefund mit den sechs Befunden sowie deren Auswertung in Form einer Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, mit der die Diagnose einer craniomandibulären Dysfunktion bei einer nachfolgenden klinischen Funktionsanalyse gestellt würde. Die Grundlage jener Auswertung ist die o.g. Studie (Abb. 2).

Neben der Befunderfassung ist eine Anleitung in die Software integriert. In kurzen Videoclips mit ergänzenden Erläuterungen wird darin die Erhebung der einzelnen Befunde illustriert und ihre Bewertung geschildert. Diese Integration stellt sicher, dass das Befundsystem und das Schulungsmaterial aufeinander abgestimmt sind. Zudem ermöglicht die Technik, jederzeit unmittelbar aus der



**Fig 2** A digital version of CMD short examination (CMD-Kurzbefund), the TMD screening test used in Germany, is integrated in the CMDcheck software.

**Abb. 2** CMD-Screening mit dem CMD-Kurzbefund, digital bereitgestellt in der Software CMDcheck.

Befundumgebung eine inhaltliche Unterstützung aufzuru-  
fen (Abb. 3).

Möglich ist zudem ein Export des erhobenen Befundes mitsamt der Auswertung und etwaigen Notizen. In Deutschland ist für die Befundübermittlung von Spezialsoftware an die Praxisverwaltungssoftware (PVS) die übliche Schnittstelle VDDSmmedia etabliert. Diese ist so definiert, dass nur Bilder übermittelt werden, die der Zahnarzt dann in der PVS als Freitext befundet. Eine Übergabe von Diagnosen an die Praxisverwaltungssoftware ist hingegen technisch nicht vorgesehen – hier jedoch sinnvoll. Um die Ergebnisse dennoch in die PVS exportieren zu können ist in CMDcheck eine Exportfunktion mit der Wahl verschiedener Exportformate realisiert (Dateiablage als Text oder formatierter Text (\*.RTF) sowie Export formatierten Textes über die Zwischenablage). In der Regel ist der Export über die Zwischenablage die Methode der Wahl. Im nächsten Schritt wechselt man dann in die PVS und fügt dort den Befund und dessen Auswertung mit einem Tastaturbefehl (STRG) in die laufende Kartei ein – das geht mit jeder Software, unter Windows und Mac-OS. So ist später sichergestellt, dass die betreffenden Befunde korrekt in der Behandlungshistorie stehen (Abb. 4).



**Fig 3** CMDcheck contains a context-sensitive tutorial that provides one-click access to content explaining the individual examination steps. The tutorial can also be used for team training.

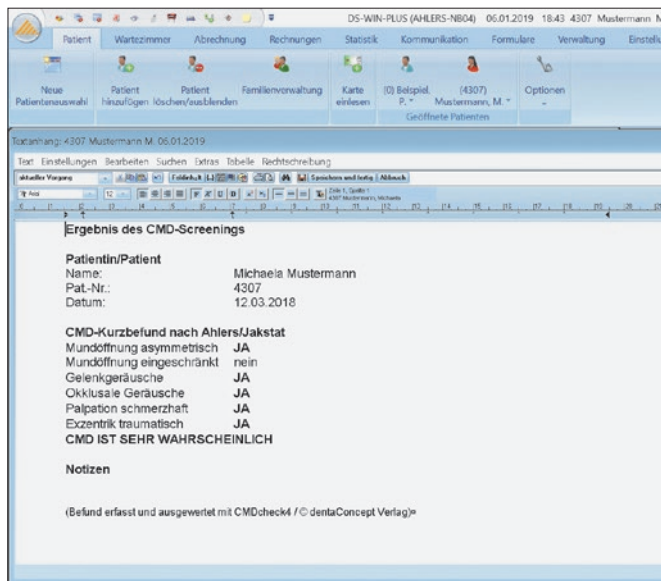
**Abb. 3** CMDcheck enthält eine kontextsensitive Anleitung, diese erläutert mit einem Klick die Untersuchungsschritte und eignet sich zudem als Lernprogramm zur Schulung des Teams.

ically have *multiple* 'positive findings.' Therefore, we developed an analytical strategy to distinguish TMD patients from others based on the number of positive findings<sup>16-18</sup>.

The software used for the digital implementation of this examination is CMDcheck (dentaConcept), which is now available in Version 4.2. CMDcheck can be run as standalone software or as a module of the CMDfact software suite. A core element of CMDcheck is the CMD-Kurzbefund page featuring a list of six findings and their evaluation via a probability assessment, with which the diagnosis of TMD can be established during a later clinical functional analysis. The aforementioned study is the basis for the interpretation of the results (Fig 2).

In addition to gathering findings, the software provides user instructions. Short video clips with supplemental information illustrate how to gather and evaluate the individual findings. This ensures agreement between the 'Findings' system and the training materials. The technology also enables the user to access content-related support directly from the 'Findings' environment at any time (Fig 3).

Users may also export the gathered findings along with their interpretation and notes. VDDSmmedia is the most commonly used interface for transferring findings data from spe-



**Fig 4** Data export from CMDcheck to the practice management software (PMS), in this case, Dampsoft DS-Win.

**Abb. 4** Export aus CMDcheck in die Praxisverwaltungssoftware (hier Dampsoft DS-Win).

cial software to practice management software (PMS) systems in Germany. This setup permits the transmission of images only, the interpretation of which must be entered as free text in the PMS by the dentist. A transfer of diagnoses to the PMS is not technically possible but would be useful here. To make it possible to export findings to the dental PMS, CMDcheck developers added an export function that allows the user to select different export formats (documents can be stored as text or rich text format [\*.rtf] files, and formatted text content can be exported via the clipboard). Exporting via the clipboard is the generally preferred method. After copying the summary and interpretation of findings to the clipboard, the user switches to the PMS and pastes this data into the current file by using a keyboard shortcut (CTRL). This can be done with any software that runs on Windows or Mac OS. The copy-and-paste method ensures that the entered findings are transferred correctly to the treatment history (Fig 4).

The ability to import a copy of the findings is important because of changes in the legal situation in Germany following a decision of the Munich Higher Regional Court in 2017<sup>19</sup>. As a consequence, TMD screening using CMD short examination (CMD-Kurzbefund) must be performed before dental prosthetic treatment; it is now considered state-of-the-art dentistry and is thus the responsibility of the dentist. In the opinion of the Higher Regional Court, it does not suffice to simply note that TMD screening was performed. The dentist is expected to

Dies ist wichtig, weil die Rechtslage durch ein Urteil des OLG München aus dem Jahre 2017 verändert wurde<sup>19</sup>. Seither gehört ein CMD-Screening in Form des CMD-Kurzbefundes vor jeder Behandlung mit Zahnersatz zum aktuellen Stand der Zahnheilkunde und damit zu den Obliegenheiten des Zahnarztes. Nach Auffassung des Oberlandesgerichtes reicht es nicht, nur die Durchführung des CMD-Screenings zu notieren. Erwartet wird eine Erfassung der Einzelbefunde und des Ergebnisses der Auswertung. Also gehört in die Kartei eigentlich ein Hinweis auf die in CMDcheck gespeicherten Befunde. Aber die Exportfunktion ist dank der Idee von Dr. Jan Behring aus Hamburg so ausgereift, dass man in CMDcheck mit einem Klick die Daten in die Zwischenablage kopieren und CMDcheck schließen kann. In der PVS braucht es dann nur den Tastaturbefehl STRG, um den gesamten Befund direkt in die PVS einzufügen. Parallel besteht zudem die Möglichkeit, den Befund - mitsamt eventuell vorhandener Notizen - auf einem in der Software hinterlegten Befundbogen auszudrucken.

Da die Software aufgrund der Rechtslage so wichtig ist und die üblichen Praxisverwaltungssoftware-Programme den CMD-Kurzbefund nicht enthalten, ist CMDcheck 4 in der Einzelplatzversion Freeware, also gratis herunterzuladen und zu verwenden. Alternativ ist eine servergestützte Vollversion auf Grundlage einer SQL-Datenbank verfügbar. Mitgeliefert wird die preisgekrönte Open Source-Lösung MariaDB (MariaDB Foundation). Alternativ einsetzbar ist MySQL (Oracle, Hamburg), das den gleichen Award in den Jahren zuvor jeweils gewann. Möglich ist auch die Verwendung von Microsoft SQL (Microsoft, München), das auch in Röntgensoftware Verwendung findet – zur Abgrenzung sind daher die Ports für den Administrator auswählbar.

## Klinische Funktionsanalyse

Die klinische Funktionsanalyse bildet die Grundlage der funktionsanalytischen Diagnostik-Kaskade. Sie enthält im Kern die Palpation der Kau- und Hilfsmuskulatur sowie der Kiefergelenke, die Auskultation von Gelenkgeräuschen und die Inspektion der Unterkiefermobilität in der Vertikalen und Horizontalen sowie eine orientierende Inspektion der Okklusion zur Erfassung von Okklusionshindernissen bzw. Non-Okklusion in Statik und/oder Dynamik. Hinzu kommen bei Bedarf zwei Reaktionstests, der Resilienz-Test nach Gerber sowie der Provokationstest nach Krogh-Poulsen<sup>20</sup>. Diesen Untersuchungsumfang beschreibt seit 1988

der klinische Funktionsstatus der DGFDT. Da in der deutschen Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) in der Fassung von 1988 in der Leistungsposition GOZ 800 (jetzt: GOZ 8000) hierauf Bezug genommen wurde, ist dieser in der Praxisverwaltungssoftware oft integriert – als ausfüllbares Formblatt.

Eine Lösung, die darüber hinaus gehende Vorteile im Sinne der Digitalisierung ermöglicht, haben die Autoren dieses Beitrags 2002 mit der Software CMDfact zuerst veröffentlicht. In der neuen modularen Version CMDfact 4 ist der preisgekrönte klinische Funktionsstatus der Autoren als Modul CMDstatus enthalten. Die verschiedenen Abschnitte der Untersuchung sind in jeweils einem Menü abgebildet und so auf einen Blick zu erfassen.

Inhaltlich entspricht CMDstatus dem Funktionsstatus der DGFDT. Ergänzende Befundoptionen erfassen die Intensität des Gelenkgeräusches, um auch laute Gelenkgeräusche erfassen zu können, die für Patienten einen erheblich größeren Krankheitswert darstellen (Abb. 5).

Patentiert ist die Befundmatrix für die Erfassung der vertikalen Öffnungsbewegung für das Messinstrument „CMDmeter“, mit dem die Mobilität am Patienten gemessen wird<sup>21</sup>. Eine klinische Studie an der Universität Leipzig konnte zeigen, dass diese Erfassung der Öffnungsbewegung zu valideren Daten führt. Zudem ist das Vorgehen einfacher umsetzbar<sup>22</sup>. Genau diese Art der Erfassung des Bewegungsverlaufes ist in CMDstatus realisiert (Abb. 6).

Die Chancen der Digitalisierung sind anschaulich realisiert bei der Erfassung der Palpationsbefunde: Hier löst das Anklicken der Einzelbefunde automatisch kontext-sensitiv eine farbige Illustration der Einzelbefunde aus, wiederum farblich differenziert in Missempfindungen (rosa) und Schmerzen (rot). So entsteht für Anwender und Patienten eine visuelle Landkarte der geweblichen Überlastung – soweit diese per Palpation erfassbar sind (Abb. 7).

Auch in CMDstatus ist eine kontextsensitive Anleitung integriert. Diese stellt alle Befunde in Videofilmen oder Fotos dar. Teilweise werden diese ersetzt durch Animationen, welche die Ursachen von Kiefergelenkgeräuschen illustrieren. Diese eignen sich zudem zur Erläuterung der Geräuschursachen gegenüber Patienten – wenn diese schon während der Befundung erfahren möchten, wo die Ursachen liegen.

Die Befunde der klinischen Funktionsanalyse übergibt CMDstatus an den zentralen CMDfact DiagnosePilot zur integrierten Auswertung – sofort oder später (s. unten).

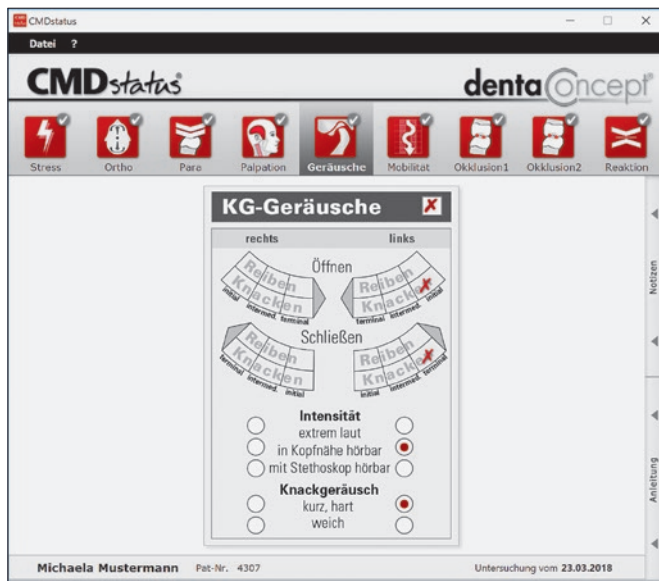
document and interpret the individual findings. Therefore, a copy of the findings stored in CMDcheck must be placed in the patient file. Thanks to an innovation by Dr. Jan Behring from Hamburg, the export function of CMDcheck is now sophisticated enough for the user to simply copy the data to the clipboard with one click, and close CMDcheck. Then, after switching to the PMS, the user only has to press the CTRL key to paste all of the findings directly into the PMS. The user can also print out the copied findings (including any notes that may have been added) on a report form generated by the software.

As this software is so important in view of the legal situation, and since the usual dental PMS programs do not include CMD short examination, a freeware version of CMDcheck 4 is available to single users, who can download and use it for free. A server-supported full version with an SQL database is also available, which includes the award-winning MariaDB open-source database solution (MariaDB Foundation). MySQL (Oracle, Hamburg, Germany), which previously won the same award, can be used as an alternative open-source database. It is also possible to use Microsoft SQL (Microsoft, Munich, Germany); this program is also used in radiograph software, and thus allows for the configuration of administration ports.

## Clinical functional analysis

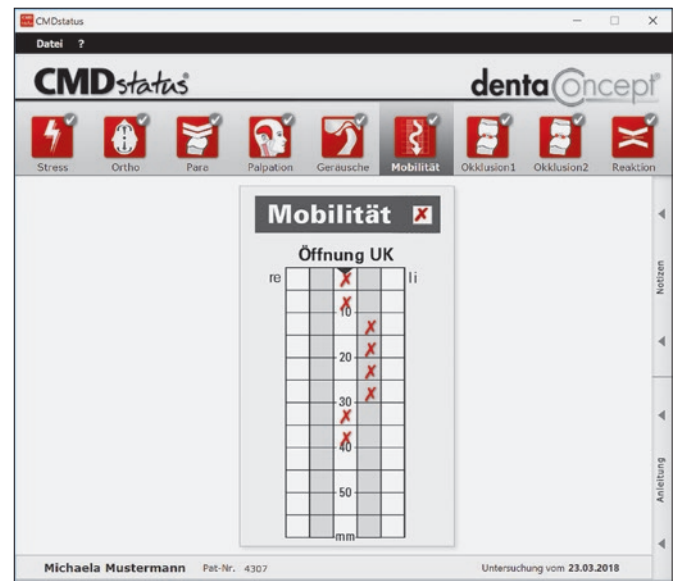
Clinical functional analysis is the foundation of the diagnostic cascade of functional analysis. Key elements are the palpation of the masticatory and accessory muscles and the temporomandibular joints (TMJs), auscultation of joint noises, tests of vertical and horizontal mobility of the mandible, and a gross assessment of the occlusion to detect possible occlusal interferences or nonocclusion in static and/or dynamic occlusion. The Gerber resilience test and the Krogh-Poulsen provocation test may be performed as additional reaction tests, if needed<sup>20</sup>. In 1988, the German Society for Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT) introduced the Clinical Functional Status (CFS) procedure, which comprises this battery of tests. As the CFS has been listed in the German Schedule of Fees for Dentists (GOZ) since 1988 (originally as billing item number GOZ 800, now GOZ 8000), many dental PMS programs include it and provide a fillable report form for CFS results.

CMDfact, a software solution that provides the additional benefits of digitalization, was developed by the authors and first described in an article published in 2002. The latest version of the software (CMDfact 4) includes a module (CMDstatus) for the award-winning CFS examination. The module



**Fig 5** Clinical functional analysis: In CMDstatus, joint noises are captured in a special findings matrix based on the path of mouth opening movement.

**Abb. 5** Klinische Funktionsanalyse: In CMDstatus werden die Gelenkgeräusche in einer speziellen Befundmatrix erfasst, die an den Verlauf der Öffnungsbewegung angelehnt ist.



**Fig 6** The CMDstatus findings matrix used to record the course of mouth opening movement from the frontal perspective agrees with that of CMDmeter.

**Abb. 6** Die Befundmatrix in CMDstatus für die Erfassung des Verlaufes der Mundöffnungsbewegung in der Frontalperspektive stimmt mit der des CMDmeter überein.

organizes the different parts of the CFS examination into separate menus for quick access.

The content of the CMDstatus module corresponds to that of the CFS examination proposed by the DGFDT. Additional findings options of CMDstatus capture data on the intensity of joint noises for the identification of loud joint noises, which patients perceive as more problematic (Fig 5).

It has a patented diagnostic findings matrix for assessment of vertical opening movement with CMDmeter, a tool for the patient-based measurement of mandibular mobility<sup>21</sup>. A clinical study conducted at the University of Leipzig demonstrated that this measurement method leads to higher data validity and is easier to perform<sup>22</sup>. CMDstatus utilizes precisely this method to capture the movement path (Fig 6).

The benefits of digitalization become clear when recording palpation findings: when the user clicks on the individual palpation findings, the context-sensitive software automatically generates a color-coded illustration of the individual findings, which are differentiated as discomfort (pink) and pain (red). This generates a visual map of tissue stress zones (to the extent that they were detected by palpation) for user and patient viewing (Fig 7).

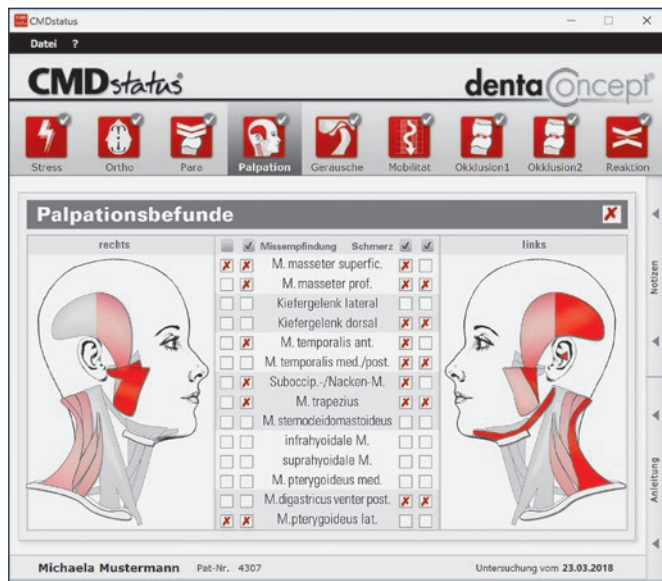
## Tests auf psychische Co-Faktoren

In einem eigenen Abschnitt von CMDstatus integriert ist die Auswertung von Tests auf psychische Co-Faktoren. Hier besteht in der aktuellen Version die Auswahl zwischen zwei verschiedenen Fragebögen (Abb. 8):

- dem Fragebogen Stressbelastung, basierend auf der Life-Event-Scale nach Holmes und Rahe<sup>23</sup>: Hier wird der summarische Wert aus der Auswertung dieser Skala als Indiz für die Stressbelastung aus Lebensereignissen in CMDstatus erfasst<sup>24</sup>
- dem Fragebogen Belastungsfaktoren, der auf der Depression Anxiety Stress Scale (DASS) beruht, in der deutschen Fassung von den Autoren qualifiziert übersetzt<sup>25</sup>. Der DASS erfasst die namensgebenden drei Skalen getrennt und ermöglicht insofern eine differenzierte Auswertung und ist dabei durch entsprechende Validierungsstudien abgesichert<sup>26</sup>.

Die Tests auf psychische Co-Faktoren sind allerdings nicht Bestandteil der klinischen Funktionsanalyse, sondern eine eigenständige Untersuchung. Aus Gründen der Untersu-





**Fig 7** CMDstatus color codes the intensity of the palpation test findings, making the distribution of findings visible at a glance (pink: discomfort, red: pain).

**Abb. 7** CMDstatus stellt die Intensität der erhobenen Palpationsbefunde farblich dar und erschließt so die Verteilung der Befunde visuell auf einen Blick (Rosa: Missempfindung, Rot: Schmerz).



**Fig 8** Tests for psychological cofactors: data captured with the German version of the Holmes and Rahe Social Readjustment Rating Scale (SRRS) of stressful life events (Fragebogen Stressbelastung) and/or the Depression Anxiety Stress Scales (DASS, Fragebogen Belastungsfaktoren).

**Abb. 8** Tests auf psychische Co-Faktoren: Erfassung der Ergebnisse aus dem Fragebogen Stressbelastung (Live-Event-Scale nach Holmes und Rahe) und/oder aus dem Fragebogen Belastungsfaktoren (DASS).

chungsergonomie sind sie mit im Modul CMDstatus enthalten – inhaltlich aber davon abgegrenzt. Zusätzlich ist im ausgedruckten Befundbogen ein entsprechender Hinweis enthalten.

### Tests auf orthopädische Co-Faktoren

Das Gleiche gilt für die Tests auf orthopädische Co-Faktoren. Auch diese sind aus redaktionellen Gründen im Programmmodul CMDstatus mit enthalten, bilden aber einen eigenen Untersuchungspunkt, der je nach Bedarf genutzt wird oder frei bleibt. Auch diese Untersuchung ist hinterher eben im ausgedruckten Befundbogen in einer eigenen gesonderten Rubrik enthalten und mit durch den entsprechenden Abgrenzungshinweis abgedeckt.

Inhaltlich enthält die Untersuchung mehrere Einzeltests, die prüfen, inwieweit orthopädische Co-Faktoren die Entstehung und den Unterhalt einer CMD fördern oder verursachen<sup>27-30</sup>. Im Fokus stehen dabei die Körperhaltung und die Funktion der HWS, jeweils mit klarem Bezug auf die Kieferfunktion, wie es das Zahnheilkundegesetz

CMDstatus developers also included a context-sensitive Help application providing explanatory video clips or images for all examination findings. In some cases, there are animations illustrating the causes of TMJ sounds. They are good for explaining the causes of TMJ noises to patients who ask about this during the examination.

CMDstatus sends the findings gathered in the clinical functional analysis examinations to the central CMDfact DiagnosePilot module for (immediate or later) integrated data analysis (see below).

### Tests for psychological cofactors

Tests for psychological cofactors are integrated in a separate section of the CMDstatus program. The current version of the software provides two questionnaires to choose from (Fig 8):

- The German version of the Holmes and Rahe Social Readjustment Rating Scale (SRRS) of stressful life events (Fragebogen Stressbelastung)<sup>23</sup>: CMDstatus uses the sum of SRRS scores for each stressful life event as an indicator of the stress load from life events<sup>24</sup>.

- The German version of the Depression Anxiety Stress Scales (DASS), which was professionally translated by the authors ('Fragebogen Belastungsfaktoren')<sup>25</sup>. As the DASS measures the three eponymous states (depression, anxiety, and stress) separately, it makes it possible to perform a differentiated assessment, and has been validated based on scientific evidence<sup>26</sup>.

Please note that tests for psychological cofactors are not part of clinical functional analysis, but form part of independent studies. They are included in the CMDstatus module for ergonomic reasons but are contextually separate. A note explaining this is included on the printed report form.

## Tests for orthopedic cofactors

The same applies to tests for orthopedic cofactors. They, too, are included in the CMDstatus module for ergonomic reasons but are not part of the clinical functional analysis. They are provided as an independent menu item for voluntary use at the clinician's discretion. The results of these tests are also printed in a separate section of the report form, and are accompanied by a corresponding note to this effect.

This menu item consists of several individual tests to determine the extent to which orthopedic cofactors promote or cause the development or maintenance of TMD<sup>27-30</sup>. As required by the German Dentistry Act, these tests clearly focus on posture and cervical spine function as these relate to jaw function. Users unfamiliar with these tests can consult the Help menu, which provides texts and videos explaining the individual parts of the examination. More detailed information can be found in the corresponding chapter of the accompanying textbook<sup>31</sup>.

## Manual structural analysis

Manual structural analysis is a collection of individual tests that are all based on 'manual medicine' techniques that allow more in-depth differentiation of structures in the masticatory muscle and TMJ area<sup>32</sup>.

A DGFDT report form for manual structural analysis was also introduced in 2012. This served, first and foremost, as a technical guide informing clinicians which findings to gather for manual structural analysis. This report form is still lacking in the dental PMS systems of many small and even some major PMS providers. Consequently, dentists have had to

verlangt. Wer sich damit nicht auskennt, kann auf die Anleitung zurückgreifen, welche die Bestandteile der Untersuchung in Videofilmen und Texten erläutert. Darüber hinaus gehende Informationen sind im inhaltlich darauf abgestimmten Lehrbuchkapitel beschrieben<sup>31</sup>.

## Manuelle Strukturanalyse

Die manuelle Strukturanalyse bezeichnet ein Konvolut von Einzeltests, welche allesamt auf Techniken aus der „manuellen Medizin“ beruhen und eine weitere Differenzierung der Strukturen im Bereich der Kaumuskulatur sowie der Kiefergelenke ermöglichen<sup>32</sup>.

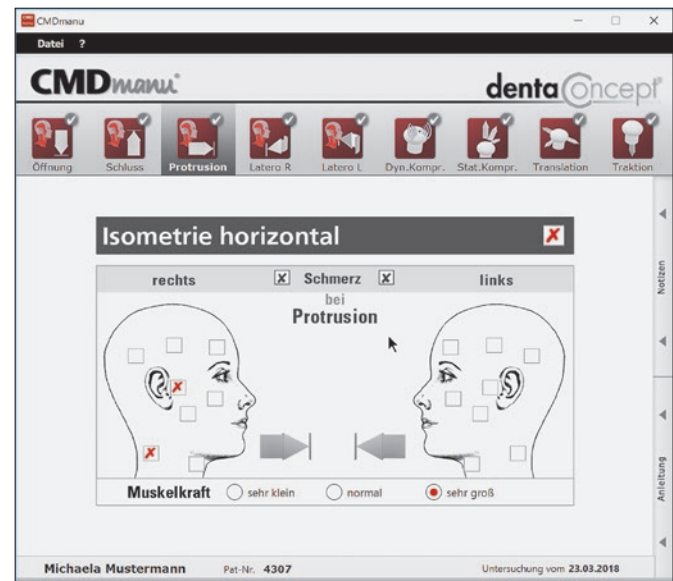
Auch für diese Untersuchung gibt es seit 2012 einen Befundbogen der DGFDT. Dieser war wichtig, um in erster Linie eine fachliche Orientierung zu vermitteln, was in dieser Untersuchung für Befunde erhoben werden sollten. Viele – auch große – Praxisverwaltungssoftware-Anbieter haben diesen Befundbogen bisher nicht in ihre Programme aufgenommen. Zahnärzte müssten daher den Befundbogen der DGFDT herunterladen, von Hand durch Ankreuzen und Freitextangaben ausfüllen und dann wieder einscannen.

Dabei eignet sich die manuelle Strukturanalyse besonders für die Digitalisierung, weil hier Tests in spezifischen Richtungen erfolgen, aber Schmerzen in unterschiedlichen Lokalisationen als Reizantwort auftreten können. Dies ist dadurch bedingt, dass der Schmerz unmittelbar im belasteten Muskelbauch auftreten kann oder als „übertragener Schmerz“ („referred pain“) außerhalb dessen. Wird eine solche Information als sprachliche Befundmitteilung in Freitextform erfasst, so lässt sie sich nur digital verarbeiten, wenn zunächst eine Texterkennung und anschließend eine Textinterpretation erfolgt.

Um die Vorteile der Digitalisierung auszunutzen war daher die Einhaltung der einleitend beschriebenen Vorgehensweise erforderlich. Umgesetzt ist diese in der Software CMDmanu<sup>33</sup> (dentaConcept), ebenfalls einem Modul der Softwaresuite CMDfact. Diese Aufteilung in einzelne Module schafft die Möglichkeit, je nach klinischer Situation „nur“ eine klinische Funktionsanalyse durchzuführen – zum Beispiel im Zusammenhang mit einer geplanten restaurativen Behandlung. Alternativ besteht die Möglichkeit, zusätzlich die Befunde einer manuellen Strukturanalyse zu erheben. Zum Beispiel im Zusammenhang mit einer schmerzhaften CMD, zu Behandlungsbeginn oder als Verlaufskontrolle.

**Fig 9** The CMDmanu software has a specially adapted user interface with regionally arranged checkpoint options for the documentation of muscle findings from the isometric load test as part of the Manual Structural Analysis battery. These are deposited in load direction in the area of potentially painful muscles.

**Abb. 9** Zur Erfassung der Muskelbefunde aus der isometrischen Belastungsprüfung im Rahmen der manuellen Strukturanalyse in der Software CMDmanu dient eine speziell angepassten Benutzeroberfläche mit nach Regionen geordneten Ankreuzoptionen; diese sind in der Software bei der Belastungsrichtung in dem Bereich potenziell schmerzhafte Muskeln hinterlegt.



Inhaltlich sind die Untersuchungen der Muskulatur des craniomandibulären Systems in den ersten fünf Menüpunkten behandelt. Dabei bildet je ein Menüpunkt eine Belastungsrichtung ab (Abb. 9). Der Zahnarzt lässt hierfür die Patienten in die durch die dreidimensionalen Pfeile dargestellte Position gegen den zahnärztlichen Widerstand die Muskulatur anspannen und registriert nach entsprechender Belastungsdauer, an welcher Stelle der Patient Schmerzen wahrgenommen hat. Die typischerweise hierbei auftretenden Schmerzpunkte sind anklickbar. Somit kann die zahnmedizinische Fachangestellte die Befunddokumentation komplett übernehmen, sodass der Zahnarzt seine Aufmerksamkeit dem Patienten widmen kann.

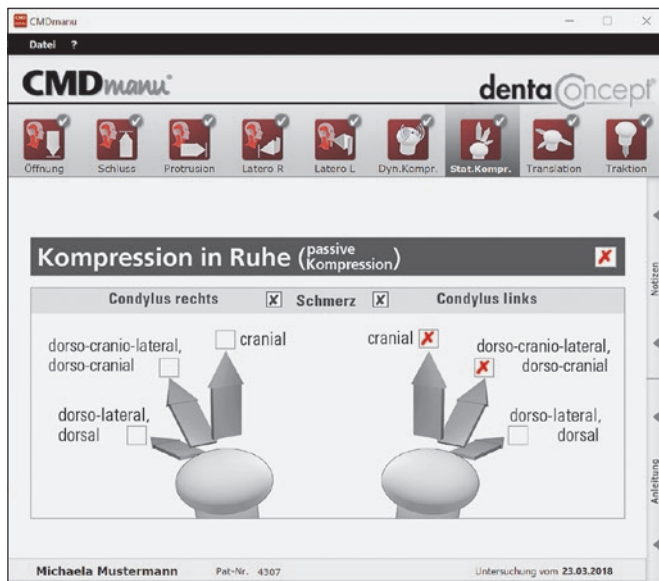
Die Untersuchung der Kiefergelenke unter Belastung ist in den rechten vier Menüpunkten abgebildet. Auch dort ist jeweils eine Belastungsart einem Menüpunkt vorbehalten, darunter die dynamische Kompression, die statische Kompression (Kompression in Ruhe, Abb. 10) sowie die Belastungsprüfung in der Horizontalen (Translation) und die Prüfung der Elastizität der Gelenkkapseln (diagnostische Traktion).

Auch im CMDmanu ist eine Kontext-sensitive Anleitung integriert (Abb. 11). Auch hier ist jeweils mit einem Klick eine strukturierte Anleitung erreichbar, die durch die Kombination eines erläuternden Textes und eines selbsterklärenden Filmes die Art der Untersuchung illustriert. Zusätzlich sind rechts unten Hinweise zur inhaltlichen Vertiefung enthalten.

download the DGFDT report form, fill it out by hand by ticking boxes and entering free-text information, and then scanning and uploading the completed form. Manual structural analysis is particularly well suited for digitalization because the individual tests go in specific directions, but pain provoked by various triggers may appear in a different location. This is due to the fact that the pain can occur directly in the belly of the affected muscle or outside of it, as referred pain. If such information is recorded linguistically as free text, text recognition with subsequent text interpretation is required for its digital processing.

Therefore, to exploit the benefits of digitalization in manual structural analysis, it was necessary to follow the procedure described in the introduction. This is realized by the developers of CMDmanu (dentaConcept)<sup>33</sup>, another module of the CMDfact software suite. Thanks to the modular design of the software, the user can elect to perform clinical functional analysis only, depending on the clinical situation, for example, in the context of restorative treatment planning. Alternatively, users have the option to perform manual structural analysis to collect additional findings before the start of treatment or over the course of follow-up, for example, for assessment of patients with painful TMD or CMD, respectively.

Regarding the module content, the first five menu items are used to examine the muscles of the craniomandibular system. Each menu item covers one specific stress direction (Fig 9). While applying resistance, the dentist instructs the patient to tense the muscles against resistance in the position shown by the three-dimensional (3-D) arrows for the speci-



**Fig 10** CMDmanu records the findings from the TMJ stress tests in a simple matrix, which displays the stress directions three-dimensionally.

**Abb 10** Die Befunde aus den Belastungsprüfungen der Kiefergelenke erfasst CMDmanu ankreuzbar in einer möglichst einfachen Befundmatrix, welche die Belastungsrichtungen dreidimensional visualisiert.

fied stress duration, and then records the pain locations indicated by the patient. Common pain point locations are 'clickable.' The entire process of documenting these findings can therefore be delegated to a trained dental assistant. The dentist, in turn, can focus on the patient.

The four menu items on the right are used to examine TMJ disorder and function under stress. Each menu item covers one of the following stress tests: Compression in Motion (Dynamic Compression); Compression at Rest (Static Compression) (Fig 10); Stress in the Horizontal Direction (Transaction); and Joint Capsule Elasticity (Diagnostic Traction).

CMDmanu also has a context-sensitive tutorial (Fig 11) that gives the user one-click access to a structured guide containing a combination of explanatory texts and self-explanatory videos illustrating all the examination types and procedures required for the analysis. References to more in-depth information are listed in the bottom right corner.

The findings gathered with CMDmanu – like those collected with CMDstatus – are automatically dispatched to CMDfact DiagnosePilot for integrated data analysis (see below).



**Fig 11** CMDmanu also has a context-sensitive tutorial with explanatory videos describing how to perform the individual examination steps.

**Abb. 11** Auch CMDmanu enthält eine kontextsensitive Anleitung zur Durchführung der einzelnen Untersuchungsschritte mit erläuternden Videos.

Die Befunde aus dem CMDmanu werden – wie die Befunde aus CMDstatus – automatisch zur integrierten Auswertung dem CMDfact DiagnosePilot übermittelt (s. unten).

**Bitte Seitenzahl oder  
Abbildungsnummer angeben!**

## Bewegungsaufzeichnung zur Artikulatorprogrammierung

Eine Untersuchungstechnik, bei der die digitale Datenverarbeitung sich schon heute durchgesetzt hat, ist die computergestützte Aufzeichnung der kondylären Unterkieferbewegung zur Artikulator-Programmierung.

Zuvor wurden zur Pantographie oder Achsiographie mechanische Registrierinstrumente mit Schreibetiketten aus Pappe oder Papier genutzt, auf denen Bleistifte eine Bewegung nachzeichnen. Durch die Arbeiten von Meyer und Dal Ri wurde diese Konfiguration erstmals durch eine elektronische Befunddatenakquisition ersetzt, die allerdings mit dem Druck auf Papier mittels damals üblichen Plotter endete. Mittlerweile ist an deren Stelle die komplett digitale Befunddatenspeicherung getreten und in der Gebührenordnung durch eine eigene Leistungspositi-



**Fig 12** Cadiax Compact 2 (Gamma Dental) electronic movement recording system (photo © Ahlers).

**Abb. 12** Registriersystem Cadiax Compact 2 (Gamma Dental, Klosterneuburg, Österreich), Foto: Ahlers.



**Fig 13** Jaw Motion Analyzer (Zebris/Schütz Dental) system (photo © Ahlers)

**Abb. 13** Registriersystem Jaw Motion Analyzer (Zebris / Schütz Dental), Foto: Ahlers.

on abgebildet. Aktuell sind dabei vier verschiedenen Technologien am Markt etabliert:

Messung auf Basis des Prinzips der Spannungsteilung paraaxial:

- Cadiax Compact<sup>2</sup> (Abb. 12)
- Cadiax 4 (beides Gamma-Dental, Klosterneuburg/Wien, Österreich)

Optoelektronische Messdatenaufzeichnung paraaxial:

- Freecorder BlueFox (DDI, Dortmund)

Ultraschall-gestützte Messdatenaufzeichnung pericranial:

- Jaw Motion Analyzer (Zebris, Isny/Schütz Dental, Roßbach) (Abb.13)
- AQR Axioquick Recorder (SAM Präzisionstechnik, Gauting/München)
- ARCUSdigma (KaVo, Biberach)

Optoelektronische Messdatenaufzeichnung pericranial:

- JMA Optic (Zebris, Isny/Schütz Dental, Roßbach)

Alle Systeme bestehen aus einem elektronischen Messsystem und einer gerätespezifischen Software zur Signalwandlung und Speicherung der Bewegungsdaten. Zusätzlich enthält die Software jeweils die Auswertungs-

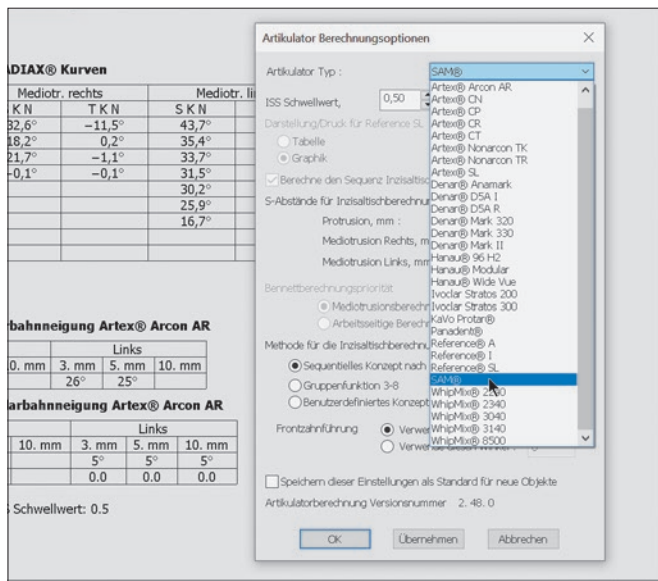
## Movement analysis for articulator programming

Computer-aided recording of condylar movements for articulator programming is an examination technique for which digital data processing has already established itself.

Previously, pantography or axiography was performed using mechanical registration systems in which styluses traced the movements on graph paper or cardboard. Based on the work of Meyer and Dal Ri, these mechanical systems were replaced by the first electronic axiography system, the novelty of which ended with the printing of the tracings on paper with an old-fashioned plotter. This, in turn, has been replaced by fully digital movement recording and storage, which has its own unique GOZ billing item number. Four established movement recording technologies are currently on the market:

Voltage division-based electronic movement recording (paraxial).

- Cadiax Compact 2 (Fig 12) (Gamma Dental, Klosterneuburg, Vienna, Austria).
- Cadiax 4 (Gamma Dental).



**Fig 14** Conversion of the motion sequences to the geometries of different articulators using the Cadiax 8.04 software (Gamma Dental).

**Abb. 14** Umrechnung der Bewegungsverläufe auf die Geometrien verschiedener Artikulatoren am Beispiel der Software Cadiax 8.04 (Gamma Dental).

Optoelectronic movement recording (paraxial).

- Freecorder BlueFox (DDI, Dortmund, Germany).

Ultrasound-based electronic movement recording (pericranial).

- Jaw Motion Analyzer (Zebris, Isny/Schütz Dental, Roßbach, Germany) (Fig 13).
- AQR Axioquick Recorder (SAM Präzisionstechnik, Gauting/Munich, Germany).
- ARCUSdigma (KaVo, Biberach, Germany).

Optoelectronic movement recording (pericranial).

- JMA Optic (Zebris, Isny/Schütz Dental, Roßbach, Germany).

Each comprises an electronic movement recording system with device-specific software for signal conversion and movement data storage. The software also has the evaluation functions required to determine the correct settings for the selected individual articulator/facebow combination based on the recorded condylar movements<sup>34</sup>. The system software does this by matching the individual movement sequences with the corresponding geometrical data from the articulators<sup>35</sup>. This makes it possible to switch to a different articulator system after obtaining the movement recording. The Cadiax and Jaw Motion Analyzer systems have a large number of selectable articulators that covers virtually the entire range of currently available articulators (Fig 14).

The practicability of these movement recording systems is essentially determined by the quality of the user interface and user guidance of the device software. Therefore, ease of use and compatibility for the analysis of functional move-

funktionen, welche erforderlich sind, um auf Grundlage der aufgezeichneten kondylären Bewegung für die gewählte Kombination Gesichtsbogen/individueller Artikulator die passenden Einstellparameter zu ermitteln<sup>34</sup>. Hierfür bildet die Gerätsoftware die individuellen Bewegungsverläufe auf die geometrischen Daten der Artikulatoren ab<sup>35</sup>. So ist es möglich, selbst nach der Bewegungsaufzeichnung das eingesetzte Artikulator-System zu wechseln. Die Systeme Cadiax und Jaw Motion Analyzer decken mit der Anzahl der auswählbaren Artikulatoren praktisch alle aktuell angebotenen Artikulatoren ab (Abb. 14).

Die praktische Anwendung der Registriersysteme wird wesentlich durch die Benutzeroberfläche und Benutzerführung der Gerätesoftware geprägt. Deren Handhabung sowie Kompatibilität zur Auswertung der funktionellen Bewegungsanalyse sollten daher in eine Entscheidung zwischen den verschiedenen Registriersystemen einfließen.

## Funktionelle Bewegungsanalyse

Als ergänzende funktionsdiagnostische Untersuchungstechnik ist in den letzten Jahren die funktionelle Bewegungsanalyse entwickelt worden. Kern dieser Untersuchung ist die Befundung kondylärer Bewegungsverläufe zur Bewertung des funktionellen Zustandes des craniomandibulären Systems.

Wesentliche Entwicklungsschritte in der Systematik der Auswertung waren die Festlegung der möglichen Befundausprägungen in einem Workshop der DGFDT (2012) und die nachfolgende Veröffentlichung als „Diagnostic Criteria for Dysfunction“ (DCD) im Jahre 2013<sup>36</sup>. Dann folgte 2014 ein System für die Umsetzung in der Praxis, an deren Entwicklung die Autoren dieses Beitrags wesentlich beteiligt waren. Die Entwicklung wurde mit dem Alex-Motsch-Preis der DGFDT 2015 prämiert<sup>37,38</sup>. Das Vorgehen ist in der Leitlinie Instrumentelle Funktionsanalyse, Abschnitt I, ausführlich beschrieben und als diagnostisches Verfahren formell anerkannt<sup>39</sup>.

Ursprünglich erfolgte die Dokumentation der funktionellen Bewegungsanalyse auf der Grundlage eines gesonderten Befundbogens. Das führte unter dem Aspekt der Digitalisierung allerdings zu einem Medienbruch, weil zunächst Daten elektronisch aufgezeichnet, dann aber auf einem Formblatt handschriftlich befundet werden. Die resultierenden Schlussfolgerungen wiederum mussten anschließend als Auswertung zusätzlich in die Praxissoftware getippt und der Befundbogen zur Dokumentation eingescannt werden. Die Befunde und Schlussfolgerungen werden so zwar dokumentiert, stehen aber nicht digital für eine integrierte Informationsverarbeitung zur Verfügung.

Auch hier ermöglichte die Digitalisierung absehbar eine Verbesserung: In Weiterentwicklung des Befundbogens „Instrumentelle Bewegungsanalyse“<sup>40</sup> wurde dafür ein spezielles Softwaremodul für die instrumentelle Bewegungsanalyse entwickelt: CMDtrace (to trace, nachverfolgen). Wie bei den Modulen CMDstatus und CMDmanu werden auch hier jeweils getrennte Abschnitte der Untersuchung ab in einzelnen Menüpunkten abgebildet. CMDtrace ist aber in seiner Grundfläche kleiner und dockt immer am rechten Bildschirm an. Links daneben bleibt so Platz für die geräteabhängige Software der computergestützten Registriersysteme<sup>12</sup>.

Praktisch kann der Zahnarzt in CMDtrace zunächst in den Menüs „Instrument/Indikation“ die Informationen zum Instrumentarium und zur Indikation anklicken, statt sie wie bisher aufwendig von Hand zu notieren oder in die Praxissoftware einzugeben. Das gleiche gilt für die Angaben zur Aufzeichnung paraokklusal oder periokklusal sowie zu den Rahmenbedingungen der Aufzeichnung (Menü „Setup“). Es folgt die Angabe der posterioren Referenzposition, aus der heraus der Unterkiefer die Bewegung beginnt, sowie zur Art der registrierten Bewegungen (Menü „Start“). Ohne diese Informationen ist es unmög-

ment analysis data should be considered when choosing between different electronic movement recording systems.

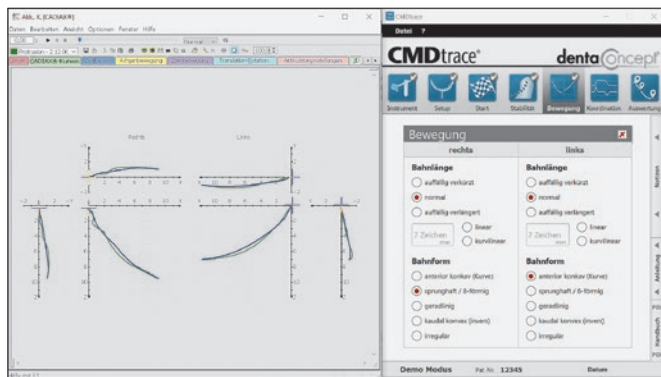
## Functional movement analysis

Functional movement analysis was recently developed as a supplementary functional diagnostic examination technique. It consists mainly of assessing condylar movements to evaluate the functional status of the craniomandibular system.

Major steps toward making this a systematic analysis were the definition of relevant diagnostic criteria at a DGFDT consensus workshop in 2012 and their publication as Diagnostic Criteria for Dysfunction (DCD) in 2013<sup>36</sup>. The authors of this article played an important part in developing a system for their practical implementation, which was introduced in 2014. The DGFDT's Alex Motsch Prize was awarded for this work in 2015<sup>37,38</sup>. Section 1 of the S2k Guideline on Instrumental Functional Analysis in Dentistry provides a detailed description of the method, which is now a formally recognized diagnostic procedure<sup>39</sup>.

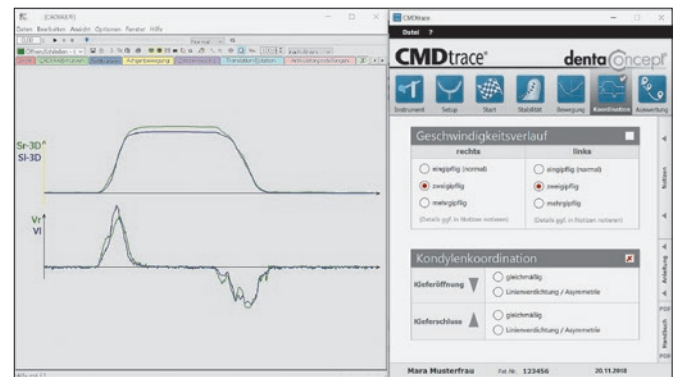
Functional movement analysis findings were originally documented on a separate report form. When transitioning to digitalization, however, this resulted in the problem of media discontinuity because digital systems process electronically recorded data and not handwritten data on report forms. Consequently, someone had to type the summary and interpretation of findings into the PMS and scan the report form itself for documentation purposes. The findings and conclusions were then documented but not available in a digital format suitable for integrated data processing. As expected, digitalization has improved this situation. CMDtrace, a special software module for instrumented analysis of jaw movements, has been developed which provides an electronic report form for Instrumental Movement Analysis<sup>40</sup>. Like the CMDstatus and CMDmanu modules, it contains separate menu items for each individual part of the examination. CMDtrace has a smaller footprint, however. In addition, it always docks on the right-hand side of the screen, leaving space on the left for the computer-aided movement recording system's device-dependent software<sup>12</sup>.

With CMDtrace, the dentist must simply open the Instrument/Indication menu and click on the desired instrument and indication instead of having to go through the time-consuming process of writing this information down by hand or entering it into the PMS. The same applies to selecting the recording specifications (paraocclusal or periocclusal) and the general settings for recording (setup menu). The next step is



**Fig 15** Functional movement analysis of computer-assisted instrumental movement recording findings performed using the device-specific Cadiax 8.04 software in the sagittal plane (left side of the image). To the right of this is an analysis performed using the manufacturer-independent CMDtrace software (different patient).

**Abb. 15** Funktionelle Bewegungsanalyse mit der computergestützten instrumentellen Bewegungsaufzeichnung in der gerätespezifische Software Cadiax 8.04 in der Sagittalen (linker Bildteil); rechts daneben die Auswertung in der herstellerunabhängigen Software CMDtrace (andere Patientin!).



**Fig 16** Functional motion analysis of computer-assisted instrumental movement recording findings (Cadiax 8.04) with the time-path diagram (left) described by the authors<sup>38</sup>. To the right of this is a functional movement analysis performed using the CMDtrace software with a special findings matrix (different patient).

**Abb. 16** Funktionelle Bewegungsanalyse einer computergestützten instrumentellen Bewegungsaufzeichnung (Cadiax 8.04) mit einem von den Autoren beschriebenen Zeit-Weg-Diagramm<sup>38</sup> (links), rechts daneben die funktionelle Bewegungsanalyse in der Software CMDtrace mit einer speziellen Befundmatrix (erneut andere Patientin!).

to enter the posterior reference position from which mandibular movement begins, and the type of movements to be recorded (start menu). Without this information, it would be impossible to perform context analysis of the condylar movement recordings. Therefore, it is helpful to be able to simply check the corresponding boxes with this information on the report form. The software guides the user through the sequence of steps. Completed steps are visibly checked off the page header lists on the menu tabs.

The results of the functional movement analysis are then interpreted, based on the following four evaluation criteria:

- Stability of the reference position: How reliably does the mandible return to the reference position after jaw movement?
- Movement capacity: Does the movement capacity deviate from the normal range, and if so, in which direction and how far?
- Movement path: Are there any deviations from the normal movement path, and if so, what type? (Fig 15)
- Coordination of jaw movement: Is condylar jaw movement normal or are there signs of mild, moderate or severe limitation of movement? (Fig 16)

The individual examination findings on which the analyses are based are recorded in the corresponding menus. In con-

tion, condylar movement recordings are content-wise to be evaluated. Already with the o.g. report form it was therefore helpful, these information can be simply checked. In the software the user is guided through the sequence of steps. Completed steps are visible in the side header on the menu tabs as „checked“.

The following actual evaluation of the functional movement analysis is oriented to the following four criteria:

- Stability of the reference position: How reliably is the reference position repositioned from the jaw movement?
- Movement capacity: Does the movement capacity deviate from the normal spectrum? If yes, in which direction and how far?
- Movement path: Are there characteristic deviations from the physiological movement path? If yes, to which? (Abb. 15)
- Coordination of jaw movement: Is the condylar jaw movement physiological, or are there signs of a slight or even significant restriction? (Abb. 16)

The individual examination findings on which the analyses are based are recorded in the corresponding menus. In con-



## Bitte Seitenzahl oder Abbinungsnummer angeben!

Unterschied zur Erfassung von Freitext in der Kartei sind hier die Befunde wie im zugrunde liegenden Befundbogen komplett durchstrukturiert, mit anklickbaren Optionen und hinterlegten logischen Regeln (ja/nein, und/oder). Der Anwender arbeitet diese wie einen Fragenkatalog ab und kann zudem bei Unklarheiten die Anleitung konsultieren (s. unten). Die Vorteile solcherart geführter Auswertungen sind vollständige Befunde und eindeutige Festlegungen, die als digitale Daten für die weitere Verarbeitung bereitstehen.

Eine Funktion zur Erfassung von Notizen im Freitext ist zudem aus jeder Programmseite kontextsensitiv aufrufbar. Auch erleichtert die Digitaltechnik die Arbeit, indem sie automatisch Zwischenüberschriften über den Notizen einfügt. Die Digitalisierung ermöglicht CMDtrace auch eine erste Auswertung. Hierbei überprüft die Software, inwieweit den zuvor erhobenen Befunden Auffälligkeiten hinsichtlich der vorgenannten vier Auswertungskriterien zugeordnet sind. CMDtrace bereitet diese Zuordnung vor, speichert sie aber nicht selbstständig in die Datenbank. Dies kann nur der Zahnarzt auslösen, nachdem er diese Auswertung geprüft und gegebenenfalls verändert hat. Erst nach dieser Freigabe wird die Auswertung auch in den digitalen Befundbogen „Instrumentelle Funktionsanalyse“ gedruckt (Abb. 17). Zudem besteht die Möglichkeit, diese strukturierte Zusammenfassung des Ergebnisses der instrumentellen Bewegungsanalyse mit einem Befehl (STRG+V) in die Patientenakte zu exportieren. Im Fall einer externen Anforderung lassen sich die Befunde zudem als Befundbogen ausdrucken.

## Auswertung des Schmerzverlaufes

Neben Funktionseinschränkungen sind Schmerzen eines der typischen Symptome der CMD. Eine strukturierte Auswertung der Schmerzintensität im Behandlungsverlauf wäre hilfreich, würde aber die manuelle Führung eines Schmerzprotokolls erfordern. Übliche Praxisverwaltungssoftware stellt solch eine Funktion normalerweise nicht bereit. Die Lücke füllt das Softwaremodul CMDpain. Hierin wird Schmerzintensität initial und dann bei jedem nachfolgenden Untersuchungstermin mittels einer visuellen Analogskala für die Hauptbeschwerden erfasst. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, einzelne Schmerzorte gesondert zu erfassen (Abb. 18).

Bei wiederholter Erfassung der Schmerzintensität an den verschiedenen Schmerzorten im Behandlungsverlauf



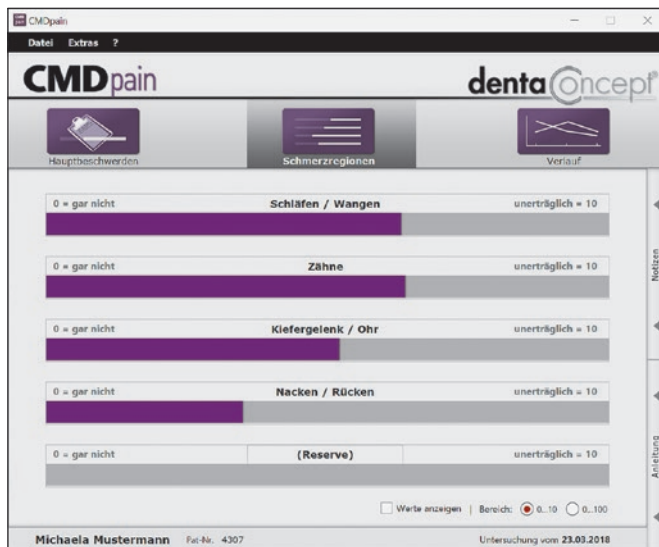
Fig 17 Analysis of functional movement analysis findings gathered using CMDtrace.

Abb. 17 Auswertung der funktionellen Bewegungsanalyse in CMDtrace.

trast to recording free text entries on a patient chart, the user selects the examination findings from a set of clickable options with logical rules (yes/no, and/or) following the structure of the underlying examination report form. As in an electronic questionnaire, the user completes a list of questions and can consult the Help menu if he or she is uncertain about any item (see below). The main advantage of this guided data analysis is that the data gathered in the process is complete, clearly defined, and stored in a digital format ready for further processing.

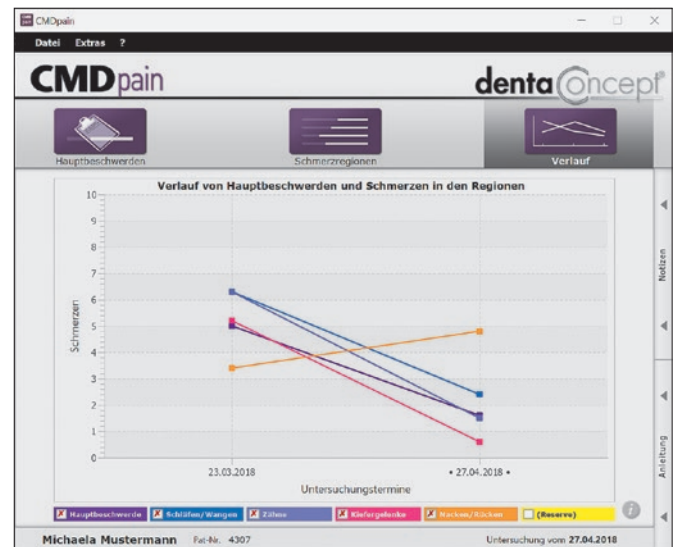
A 'notes' function allows the user to add free text entries via a context-sensitive menu on each program page. The digital technology facilitates this task by automatically inserting subheadings above the notes.

Digitalization also enables CMDtrace to perform an initial interpretation. The software does this by identifying abnormal findings by category based on the four evaluation criteria specified earlier. The initial interpretation generated by



**Fig 18** Initial pain intensity data captured with CMDpain, locally differentiated by region.

**Abb. 18** Erfassung der initialen Schmerzintensität in CMDpain, nach Regionen lokal differenziert.



**Fig 19** Example of a pain over time graph automatically generated by CMDpain.

**Abb. 19** Beispiel für eine automatisch erstellte Schmerzverlaufsgrafik in CMDpain.

CMDtrace is not stored in the database independently; it is not stored before the dentist has checked it and made any necessary changes. The final version is incorporated in the digital Instrumental Function Analysis report form after approval by the dentist (Fig 17). The user can also export this structured summary and interpretation of Instrumental Movement Analysis findings to the patient chart by using the shortcut CTRL+V. A hard copy of the findings report can be printed as needed (eg, for third parties).

## Analysis of pain over time

Functional limitations and pain are the hallmarks of TMD and CMD, respectively. A structured analysis of pain intensity over the course of treatment would be helpful, but it usually requires handwritten entries in a pain diary. Conventional PMS does not usually provide such a function. The CMDpain software module fills this gap. Pain intensity scores (visual analog scale) for the main symptoms are entered into CMDpain at baseline and at each follow-up visit. The software can also capture individual pain locations separately (Fig 18).

As pain intensity scores for the different pain locations are entered at different timepoints, the software generates a digital data model in the background. A pain diagram illustrating

entsteht so im Hintergrund ein digitales Datenmodell. Dieses ermöglicht das automatische Fortschreiben eines Schmerzdiagramms, das die Entwicklung der Gesamtschmerzen und einzelner Schmerzregionen auf einen Blick sichtbar macht (Abb. 19).

In der Praxis ist diese Funktion sehr hilfreich, wenn zum Beispiel ein Schmerz im Bereich der Kaumuskulatur unter der zahnärztlichen Funktionstherapie erfolgreich zurückgeht, dafür aber Nackenschmerzen zunehmen oder gar neu entstehen. Dies ist dann Ausdruck der Tatsache, dass der Zahnarzt erfolgreich eine muskuläre Relaxierung im Kauorgan erreicht hat und nun die ursprüngliche Problemursache in der Nackenmuskulatur zutage tritt. Diese Information fällt durch das automatisch fortgeschriebene Schmerzprotokoll von selbst auf. Ohne diese Differenzierung wäre das Ergebnis der zahnärztlichen Behandlung ein Misserfolg (in der Summe „keine Schmerzreduktion“). Das digital generierte Schmerzprotokoll ermöglicht hingegen eine Aufklärung der Zusammenhänge und die Weiterführung der erfolgreichen zahnärztlichen Funktionstherapie durch den Orthopäden.

## Diagnosestellung

Nachdem die Befunde aus den verschiedenen Untersuchungen in den einzelnen Untersuchungsmodulen erfasst wurden liegen sie nun in der Datenbank für weitere Auswertungen als zusätzlicher Mehrwert bereit. Im Vordergrund steht dabei die strukturierte Zuordnung der Befunde zu den möglichen Diagnosen.

Inhaltliche Voraussetzung hierfür ist ein entsprechendes Diagnosesystem. Ein solches wurde 2001 von einer multizentrischen Arbeitsgruppe der Universitäten Hamburg, Leipzig, Düsseldorf, Berlin und Greifswald entwickelt und im Nachgang veröffentlicht<sup>41,42</sup>. Mittlerweile hat die DGFDT dieses Diagnosesystem übernommen. Es hat sich hierzulande durchgesetzt und in der Praxis bewährt. Die Grundstruktur dieses Diagnosesystems beruht in der Aufteilung der Diagnose CMD in die drei Hauptgruppen Myopathie, Arthropathie und Okklusopathie. Jene Hauptgruppen wiederum sind in einzelne Diagnosen untergliedert<sup>7</sup>.

Im ersten Schritt besteht zunächst die Möglichkeit, auszuwählen, welche Untersuchungen überhaupt in die Auswertung einbezogen werden sollen (Abb. 20). Daraufhin werden die Daten in den DiagnosePilot geladen. Zur Auswertung sind im DiagnosePilot die verschiedenen Diagnosen untereinander aufgeführt und jeweils einzeln anklickbar (Abb. 21). Zudem besteht die Möglichkeit, per Mausklick festzulegen, ob die Diagnose allein für das rechte oder linke Kiefergelenk bzw. die rechte oder linke Kau-muskulatur zutrifft. Die Möglichkeit, Diagnosen anzuklicken, stellt in der Praxis eine erhebliche Erleichterung dar.

Die Digitalisierung ermöglicht als zusätzliche Funktion eine kontextsensitive Zuordnung der Einzelbefunde zu den verschiedenen Diagnosen. Praktisch überstreicht der Zahnarzt hierfür im DiagnosePilot mit der Maus auf der linken Bildschirmseite die einzelnen Diagnosen. Dabei werden kontextsensitiv auf der rechten Seite die zuvor in den verschiedenen Modulen bei dem individuellen Patienten erhobenen Einzelbefunde den links angewählten Diagnosen zugeordnet. Die einzelnen Befunde werden dabei zusätzlich inhaltlich gewichtet angezeigt:

- Leitsymptome sind besonders prägend für die Gesamtsituation und stehen daher ganz oben „passende Befunde“ stützen die entsprechenden Diagnosen und sind im Fach darunter angeordnet.
- „nicht passende Befunde“ sprechen gegen die entsprechende Einstufung und stehen im Feld ganz unten.

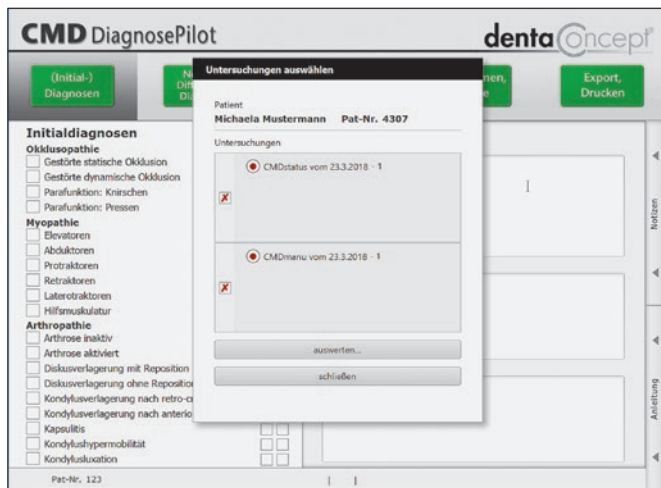
the time course of overall pain and pain at the individual locations over time is thus created and automatically updated (Fig 19).

This function can be very helpful in practice, for example, in cases where masticatory muscle pain decreases in response to dental functional therapy, but the patient develops increasing or new neck pain problems. In this case, after treatment had successfully relaxed the patient's masticatory muscles, it became obvious that neck muscle tension was the underlying cause of the problem. The automatically updated pain protocol makes this conclusion self-evident. Without such differentiated information, the dental treatment outcome would be classified as a failure ('no pain reduction'). In this case, the digitally generated pain protocol would make it possible to identify these associations, and the patient would continue the successful course of dental functional therapy under the supervision of an orthopedist.

## Establishing the diagnosis

Once the various examination findings have been entered in the individual examination modules, they are stored in the database. This creates added value because this information is available for further analysis. The main goal is to identify possible diagnoses based on a structured analysis of diagnostic criteria. The prerequisite for this is a diagnostic system with the appropriate content. The system developed by a multicenter working group from the universities of Hamburg, Leipzig, Dusseldorf, Berlin, and Greifswald and published in 2001 meets these requirements<sup>41,42</sup>. This diagnostic system was later adopted by the DGFDT. It is now a practice-tested and established method in Germany. The basic structure of this diagnostic system is based on the division of the diagnosis CMD into three main subgroups: myalgia of masticatory muscles (myopathies); joint diseases (arthropathies); and occlusal disharmonies (occlusopathies). Each subgroup is further divided into individual diagnoses<sup>7</sup>.

In the first step, the user selects which examinations to include in the computer-aided analysis (Fig 20). The data is then uploaded into DiagnosePilot. Different diagnoses can be individually selected from a list for evaluation in DiagnosePilot (Fig 21). The user can also indicate by mouse click whether to perform the diagnosis for the right or left TMJ alone or for the right or left masticatory muscle alone. The ability to click on diagnoses instead of having to write or type them by hand is a considerable simplification of work in practice.



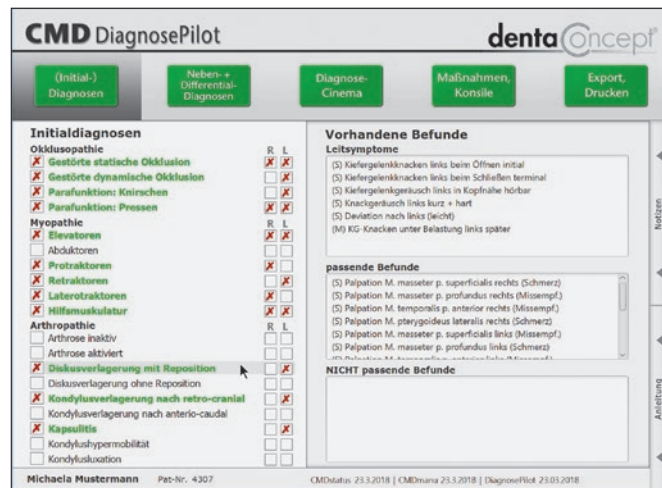
**Fig 20** Selection of findings data on which the later integrated data analysis with DiagnosePilot will be based. The user can click to select and unselect different examination types. If an examination is repeated on multiple dates, the user can toggle between the different examination dates. The most recent date is preselected by the software.

**Abb. 20** Auswahl der Befunde, auf denen die nachfolgende integrierte Auswertung im DiagnosePilot beruhen soll (Die Optionen ermöglichen die Wahl und Abwahl einzelner Untersuchungsarten und bei mehreren Untersuchungen gleicher Art die Auswahl zwischen den Untersuchungsterminen; die jüngste ist jeweils vorausgewählt).

In an additional function, digitalization makes it possible to match the patient's symptoms and examination findings with different diagnoses in a context-sensitive manner. To do this, the dentist hovers the mouse over the individual diagnoses on the left side of the screen in DiagnosePilot. The examination findings entered in the different modules during the various examinations are then displayed on the right and are linked to the corresponding diagnoses on the left in a context-sensitive manner. In addition, the individual findings are weighted in terms of their content as follows:

- 'Cardinal symptoms' are especially characteristic of the diagnosis and are therefore placed at the top of the list.
- 'Matching findings' support the diagnosis and are listed in the middle field.
- 'Nonmatching findings' are inconsistent with the diagnosis and are listed in the bottom field.

A letter is placed in front of each individual finding to indicate the examination module in which the finding was recorded. In this context, the dentist makes the decision regarding the classification of the diagnosis by mouse click. This is illustrated in the examples that follow below.



**Fig 21** When you hover the mouse over one of the selectable diagnoses shown on the left in the DiagnosePilot, the captured findings are displayed on the right in the fields labeled 'Cardinal symptoms', 'Matching findings', and 'Nonmatching findings'.

**Abb. 21** Wenn im DiagnosePilot links die Maus über eine der auswählbaren Diagnosen streicht werden rechts in den Datenfeldern „Leitsymptome“, „passenden Befunde“ und „nicht passende Befunde“ die entsprechenden individuellen Befunde angezeigt.

Ein Buchstabe vor dem jeweiligen Befund gibt zudem an, aus welchem Untersuchungsmodul der Befund stammt. Vor diesem Hintergrund trifft dann der Zahnarzt die Entscheidung über die zutreffende Diagnose per Mausclick. Das folgende Beispiel mag dies veranschaulichen.

#### **Im vorliegenden Fall spricht für die Diagnose Diskusverlagerung mit Reposition:**

Im Modul CMDstatus (klinische Funktionsanalyse):

- initiales Gelenkknacken links
- Abweichung im Bewegungsverlauf in der Frontalen.

Im Modul CMDtrace (funktionelle Bewegungsanalyse):

- abweichender kondylärer Bewegungsverlauf
- eingeschränkte funktionelle Koordination

#### **Im vorliegenden Fall spricht zudem für die Diagnose einer Kapsulitis:**

Im Modul CMDmanu (manuelle Strukturanalyse):

- positiver Befund bei der Belastungsprüfung des linken Kiefergelenkes.

Im Modul CMDstatus (klinische Funktionsanalyse):

- positiver Palpationsbefund posterior des Kiefergelenkes links.

Im Beispiel sprechen also jeweils zwei Befunde aus unterschiedlichen Untersuchungen für die jeweilige Diagnose. Im DiagnosePilot wird dies auf einen Blick erkennbar und sichert die Einschätzung ab. Es gibt jedoch auch Situationen, in denen die vollständige Diagnose von einer Zusatzuntersuchung abhängt. Die Palpation des Kiefergelenkes von posterior ist kein besonders sensitiver Befund. Wäre mithin der Palpationsbefund posterior des Kiefergelenkes links „negativ“, so hinge die korrekte Diagnose Gelenkguss allein vom Befund aus der Manuellen Strukturanalyse und seiner korrekten Einordnung ab. Bei herkömmlichem Vorgehen kann dem Zahnarzt solche ein Zusammenhang aufgrund der Vielzahl zu verarbeitenden Informationen auch einmal entgehen. Die Ordnungsfunktion des DiagnosePilot als digitaler Schaltzentrale hilft, hier den Überblick zu behalten. Eine erste Studie zur Qualität Computer-assistiert- oder im traditionellen Vorgehen ausgewerteter Untersuchungen zeigt, dass die Qualität beim digitalen Vorgehen signifikant besser war<sup>43</sup>.

Wie das vorliegende Beispiel zeigt, verändert sich die Diagnose mit der Anzahl der Befunde, welche der Diagnosestellung zugrunde liegen. Erforderlich ist es daher, nach neuen Befunden die Diagnose zu aktualisieren. Bei analogem Vorgehen ist dies jedoch sehr aufwendig. Die Digitalisierung bringt auch hier eine Erleichterung, indem die Software die Befunde aus den verschiedenen Untersuchungsmodulen zusammenführt und den einzelnen Diagnosen integriert zuordnet. In der Timeline sind diese Aktualisierungen zudem transparent an den grünen Icons erkennbar (siehe Abb. 1).

## Patientenkommunikation

Nachdem der Zahnarzt seine diagnostischen Festlegungen durch Anklicken der zutreffenden Diagnosen getroffen hat, ermöglicht die Digitalisierung den Zugriff auf diese Information für die Patientenkommunikation (Abb. 22).

Hierfür ist im DiagnosePilot ein DiagnoseCinema integriert, welches zu den Diagnosen, die der Zahnarzt gestellt hat, automatisch animierte Trickfilme bereitgestellt werden (Abb. 23). Entwickelt wurden es von Priv.-Doz. Dr. Christoph Runte aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Universität Münster. Mit Hilfe der Filme kann der Zahnarzt dem Patienten seine Diagnosen erklären. Deswegen sind die klar und kurz und nicht vertont – es würde dem Zahnarzt die Chance nehmen, selbst zu kommunizieren.

### Findings suggestive of TMJ disc displacement with reduction:

CMDstatus (clinical functional analysis) findings:

- Initial clicks on the left.
- Deviation of the movement path in the frontal plane.

CMDtrace (functional movement analysis) findings:

- Irregular condylar movement path.
- Impaired functional coordination.

### This patient also has findings suggestive of capsulitis:

CMDmanu (manual structural analysis) findings revealed:

- Positive stress test of the left TMJ.

CMDstatus (clinical functional analysis) findings:

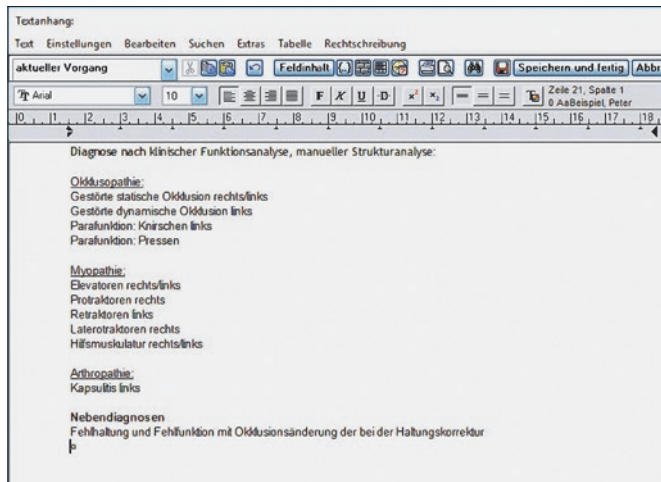
- Positive palpation findings posterior of the left TMJ.

In the earlier example, two findings each from different examinations suggest the respective diagnoses. DiagnosePilot enables the user to view this information at a glance and secures the evaluation. In some cases, however, the full diagnosis hinges on one additional examination. Palpation of the posterior aspect of the TMJ is not a particularly sensitive test. Therefore, if the palpation test of the left TMJ is negative, a correct diagnosis of joint effusion would depend solely on the manual structural analysis finding and its correct interpretation. With the conventional technique, such a relationship might be overlooked by the dentist due to the plethora of information to be processed. DiagnosePilot's control function serves as a digital control center that helps the dentist to keep track of all the information. A first review of studies on the quality of computer-aided diagnosis versus traditional diagnosis of TMD showed that computer assistance results in significantly better diagnostic quality<sup>43</sup>.

As shown in the earlier example, the diagnosis changes with the number of findings underlying the diagnostic assessment. Therefore, it is necessary to update the diagnosis after obtaining new findings. The analog technique for doing this can be very time consuming. Digitalization also makes this work easier. Firstly, the software amalgamates findings data from the different examination modules and integrates them into individual diagnoses. Secondly, it uses green icons to transparently indicate updates to the findings data (see Fig 1).

## Patient communication

After the dentist completes diagnostic decision making by clicking on the appropriate diagnosis or diagnoses, digitalization allows the user to access this information for patient communication purposes (Fig 22).



**Fig 22** Initial diagnoses exported to the PMS (in this case, Dampsoft DS-Win).

**Abb. 22** Initialdiagnosen in die Praxisverwaltungssoftware (hier Dampsoft DS-Win) exportiert.

Diagnose-Cinema is the application integrated in DiagnosePilot for this purpose. Once the dentist has specified a diagnosis, Diagnose-Cinema automatically provides animated cartoons about the diagnosis (Fig 23). These animations were developed by Dr. Christoph Runte, a private docent at the Polyclinic for Prosthodontics of the University of Münster. The short films are designed as communication tools for the dentist to show and explain the diagnosis to the patient. The animations are not only clear and concise, but are also silent because if there were dialog or music, the dentist would be unable to communicate with the patient viewing the video. The user can click to enlarge the video. It is also possible to project the video onto a second screen on the treatment unit using the PC's graphic card functions (Fig 24).

In our experience, this creates a noticeable change in the dentist-patient relationship: before the examination, patients typically perceive their complaints as hard to grasp and unsettling. The structured computer-aided diagnostic process and digital visualization tools give patients a better understanding of their condition. Once patients understand the condition and recognize the dentist's efforts to explain it to them, they ask, "Okay, so what can we do about it?"

DiagnosePilot also has an application for this as well as for the collection of data from any further diagnostic or therapeutic measures planned. This information is summarized together with the diagnosis or diagnoses in the diagnostic report.

ren. Hierfür lassen sich die Filme zusätzlich vergrößern bzw. mit den Funktionen der Grafikkarte des PC auf einen zweiten Bildschirm an der Behandlungseinheit übertragen (Abb. 24).

Nach den Erfahrungen der Autoren bewirkt dies eine spürbare Veränderung im Arzt-Patienten-Verhältnis: Vor der Untersuchung ist die Beschwerdesituation für den Patienten typischerweise schlecht „greifbar“ wirkte verunsichernd. Durch den digital strukturierten Ablauf und die digital aufbereitete Visualisierung kehrt sich dies in ein verständliches Geschehen um. Der Hilfe suchende Patient versteht die Situation – und das ärztliche Bemühen, sie verständlich zu machen, und fragt: „Ok, was können wir tun?“

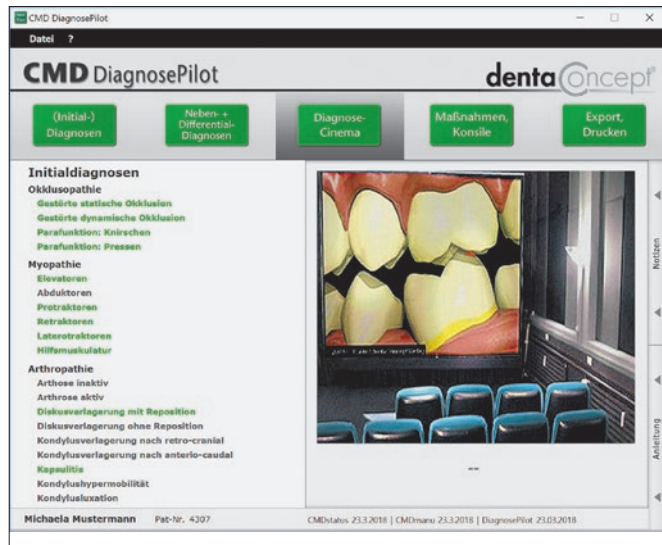
Auch dafür hält der DiagnosePilot eine Funktion bereit und ermöglicht die Erfassung der geplanten weiterführenden diagnostischen oder therapeutischen Maßnahmen. Gemeinsam mit den Diagnosen werden diese zudem im Diagnostik-Report zusammengefasst.

## Ausblick

Die in diesem Beitrag geschilderten Techniken der Digitalisierung sind nach 15-jähriger Entwicklung mittlerweile so ausgereift, dass sie die Behandlungstätigkeit in der Praxis strukturieren und erleichtern.

Da die Qualität der Diagnostik mit der Breite der digital erfassten Informationen steigt erscheint es wünschenswert, die Datenbasis um zusätzliche Befundarten zu erweitern. Besondere Vorteile für die Bewertung der Gesamtsituation verspricht dabei die zusätzliche Erfassung des Zahnverschleißgrades. Auch die digitale Einbindung anamnestischer Informationen würde die Datenqualität weiter verbessern. Praktisch von großem Nutzen wäre zudem der Rückgriff auf die digitalen erfassten Informationen zur halbautomatischen Erstellung von Untersuchungsberichten.

Auf der Seite der Auswertung wäre es zudem theoretisch möglich, auf Grundlage einer Berechnung des Anteils tatsächlicher an den möglichen „positiven“ Befunden für eine entsprechende Diagnose die Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen der Diagnose zu berechnen. Hypothetisch (sic!) denkbar wäre sogar, im Sinne der Schwarmintelligenz die auch Diagnosedstellung anderer Zahnärzte auszuwerten und als Empfehlung bereitzustellen. Datenschutzrechtliche Vorbehalte stehen dem entgegen. Ob sie davon abgesehen grundsätzlich wünschenswert sind oder nicht,



**Fig 23** The diagnoses established in DiagnosePilot are automatically marked in the Diagnose-Cinema section, which explains the (initial) individual diagnoses with the help of short 3-D animations.

**Abb. 23** Im DiagnosePilot werden die gestellten Diagnosen im Programmteil Diagnose-Cinema automatisch markiert und ermöglichen die Erläuterung der individuellen (Initial-) Diagnosen mittels kurzer 3-D-Trickfilme.



**Fig 24** Each animated video in Diagnose-Cinema explains a different diagnosis. The video shown here explains TMJ disc displacement with reduction.

**Abb. 24** Jeder Trickfilm im Diagnose-Cinema erläutert die jeweilige Diagnose, hier als Beispiel die Discusverlagerung mit Reposition.

müssen wir Zahnärzte in Zukunft klären. Hierfür bieten sich die Jahrestagungen der DGFDT an. In der Zwischenzeit freuen sich die Autoren über Zuschriften und Vorschläge für Weiterentwicklungen.

### Offenlegungserklärung

*Die Autoren wurden eingeladen, diesen Beitrag zu verfassen. Die Autoren haben in den vergangenen Jahren Fortbildungskurse für die Zahnärztekammer Hamburg und die Akademie Praxis und Wissenschaft durchgeführt und dabei Instrumente zur elektronischen Bewegungsaufzeichnung verschiedener Hersteller (Gamma Dental, Zebris) leihweise eingesetzt. Es besteht aber kein Beratungsmandat und es wurden auch keinerlei Studien finanziell unterstützt. Die Autoren des Artikels haben zudem die im Beitrag beschriebenen Softwaremodule zur Digitalisierung der Funktionsdiagnostik zuerst selbst entwickelt und später mitentwickelt (Autorenvertrag).*

### Outlook

After 15 years of development, the digitalization techniques described in this article have matured into effective systems that structure and facilitate treatment work in dental practice.

Since diagnostic quality increases with the range of data that is digitally collected, expanding the database to include additional types of findings data would be desirable. Additionally, captured tooth wear severity data would be particularly helpful when making overall assessments. Digital capture of patient history data would further improve data quality. The ability to use digitally collected information for the semiautomatic generation of examination reports would also be of great value.

Regarding data analysis, it should be theoretically possible to calculate the probability of a given diagnosis based on the ratio of actual to possible positive findings for the diagnosis. Hypothetically, it should be possible to use a swarm intelligence algorithm to analyze the diagnoses established by other dentists and make them available as recommendations. However, data protection laws prevent this.

That being said, it is up to us dentists to decide whether or not this would be desirable for the future. DGFDT annual meetings provide a good platform to discuss these issues. Until then, we welcome all comments and suggestions regarding future developments.

## Disclaimer

*The present article is an invited paper. The authors have carried out various training courses for the Hamburg Chamber of Dentists and the Academy for Practice and Science using electronic jaw motion recording systems from different manufacturers (Gamma Dental, Zebri) on a loan basis in recent years. However, they did not do so as contract consultants and none of their studies have been financially supported by the manufacturers. The software modules for the digitalization of dental functional diagnostics described in this article were the original invention of the authors, who later worked as codevelopers (author agreement).*

## References

- Cairns AW, Bond RR, Finlay DD, et al. A decision support system and rule-based algorithm to augment the human interpretation of the 12-lead electrocardiogram. *J Electrocardiol* 2017;50:781–786.
- Rautaharju PM. Eyewitness to history: Landmarks in the development of computerized electrocardiography. *J Electrocardiol* 2016;49:1–6.
- Smulyan H. The Computerized ECG: Friend and Foe. *Am J Med* 2019;132:153–160.
- Hauschild A, Chen SC, Weichenthal M, et al. To excise or not: impact of MelaFind on German dermatologists' decisions to biopsy atypical lesions. *J Dtsch Dermatol Ges* 2014;12:606–614.
- Wollina U, Burroni M, Torricelli R, et al. Digital dermoscopy in clinical practise: a three-centre analysis. *Skin Res Technol* 2007;13:133–142.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDfact – Klinische Funktionsanalyse für Windows 1.2. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2002.
- Ahlers MO, Jakstat HA. Computer assistance in clinical functional analysis. *Int J Comput Dent* 2002;5:271–284.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDfact – Klinische Funktionsanalyse für Windows 3.02. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDmanu – Manuelle Strukturanalyse für Windows (Ergänzungsmodul zur Software CMDfact 3). Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDfact – Klinische Funktionsanalyse für Windows und Mac 4.0. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2017.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDcheck – CMD-Kurzbeurteilung nach Ahlers/Jaksta. 4.15. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2015. (Modul kompatibel zu CMDfact 4.0.)
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMDtrace – Funktionelle Bewegungsanalyse für Windows und Mac. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2018.
- Ahlers MO, Pichlmeier U, Maghsudi M, Jüde HD, Platzer U (eds). Clinical Validation of 8 Parameters for CMD-Screening. *Accademia Italiana di Conservativa (AIC), Académie de Dentisterie Adhésive, Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ), Academie of Operative Dentistry European Section (AODES), Svensk Förening för Cariologi (SFC), Schweizerische Vereinigung für Präventive und Restaurative Zahnmedizin (SVPR), Sociedad Espanola des Odontologie Conservadora (SEOC): VII Congress "ConsEuro 2000"; 11.03.2000–13.03.2000; Bologna, Italy.*
- Maghsudi M. Untersuchung zur Validität und diagnostischen Aussagekraft der 'kleinen Funktionsanalyse' nach Krogh-Poulson als Screening-Test für kranio-mandibuläre Dysfunktionen. [Med. Dissertation] Hamburg, Germany: Universität Hamburg, 2001.
- Jüde H-D, Kühl W, Roßbach A. Einführung in die zahnärztliche Prothetik, ed 2. Cologne, Germany: Deutscher Ärzte-Verlag, 1979:370.
- Ahlers MO, Jakstat HA. Indikationsstellung per Screening: CMD-Kurzbeurteilung. In: Ahlers MO, Jakstat HA (eds). *Klinische Funktionsanalyse; Manuelle Strukturanalyse; Interdisziplinäre Diagnostik*. dentaConcept Arbeitsbücher, ed 4. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011:155–170.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMD-screening mit dem CMD-Kurzbeurteilung. *ZWR: Das Deutsche Zahnärzteblatt* 2015;124:102–106.
- Ahlers MO, Jakstat HA. CMD-screening mit dem CMD-Kurzbeurteilung. *Quintessenz* 2015;66:1399–1409.
- Oberlandesgericht (OLG) München Urteil vom 18.01.2017 Az.: 3 U 5039/13. Das Screening hinsichtlich einer craniomandibulären Dysfunktion vor einer prothetischen Therapie ist ärztlicher Standard. Munich, Germany: Bayerische Staatskanzlei, 2017.
- Ahlers MO, Freesmeyer WB, Göz G, et al. Klinische Funktionsanalyse (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie in der DGZMK). *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2003;58:383–384.
- Ahlers MO, Jakstat HA, inventors; Ahlers MO, Jakstat HA, assignee. Längenmessinstrument zur Beurteilung klinischer Funktionsbefunde des Kauorgans. Germany patent 100 44 736 A1. 2002 10.10.2002.
- Heine S. Zur Beurteilung der Mundöffnungsbewegung in Abhängigkeit der verwendeten Hilfsmittel und dem Erfahrungsstand der Untersucher [Med. Dissertation]. Leipzig, Germany: Universität Leipzig, 2003.
- Holmes TH, Rahe RH. The social readjustment rating scale. *J Psychosom Res* 1967;11:213–218.
- Ahlers MO, Jakstat HA, cartographers. Fragebogen Streßbelastung (2) [dentaConcept Formblätter, CMD Basis-Set]. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2000.
- Nilges P, Korb J, Essau C, Ahlers MO, Jakstat HA. Fragebogen Belastungsfaktoren (DASS). Hamburg, Germany: dentaConcept, 2012.
- Nilges P, Essau C. Depression, anxiety and stress scales: DASS – A screening procedure not only for pain patients[in German]. *Schmerz* 2015;29:649–657.
- Wolff H-D. Gestörte Halswirbelsäule mit Gesichts- und Kopfschmerzen – orthopädische manualmedizinische Aspekte. In: Siebert GK (ed). *Gesichts- und Kopfschmerzen – Ein interdisziplinärer Überblick für Mediziner, Zahnmediziner und Psychologen*. München, Germany: Hanser, 1992:316–346.
- de Wijer A, Steenks MH, Bosman F, Helders PJ, Faber J. Symptoms of the stomatognathic system in temporomandibular and cervical spine disorders. *J Oral Rehabil* 1996;23:733–741.
- de Wijer A, Steenks MH, de Leeuw JR, Bosman F, Helders PJ. Symptoms of the cervical spine in temporomandibular and cervical spine disorders. *J Oral Rehabil* 1996;23:742–750.
- Seedorf H, Toussaint R, Jakstat H, et al. Zusammenhänge zwischen Wirbelsäulen-Funktion, Beckentiefstand und kranio-mandibulärer Dysfunktion. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:700–703.



31. Danner HW. Orthopädische Einflüsse auf die Funktion des Kauorgans. In: Ahlers MO, Jakstat HA (eds). *Klinische Funktionsanalyse; Manuelle Strukturanalyse; Interdisziplinäre Diagnostik*. dentaConcept Arbeitsbücher, ed 4. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011: 433–473.
32. Ahlers MO, Jakstat HA. Manuelle Strukturanalyse. In: Ahlers MO, Jakstat HA (eds). *Klinische Funktionsanalyse; Manuelle Strukturanalyse; Interdisziplinäre Diagnostik*. dentaConcept Arbeitsbücher, ed 4. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011:285–316.
33. Ahlers MO, Jakstat HA. CMDmanu 4 – Manuelle Strukturanalyse für Windows (Ergänzungsmodul zur Software CMDfact 4), ed 4. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2017.
34. Schierz O, Klinger N, Schön G, Reissmann DR. The reliability of computerized condylar path angle assessment. *Int J Comput Dent* 2014;17:35–51.
35. Bernhardt O, Küppers N, Rosin M, Meyer G. Comparative tests of arbitrary and kinematic transverse horizontal axis recordings of mandibular movements. *J Prosthet Dent* 2003;89:175–179.
36. Hugger A, Hugger S, Ahlers MO, Schindler HJ, Türp JC, Kordaß B. Movement function of the mandible: a concept for structuring criteria for analysis and for standardizing computer-aided recordings (expert statement for developing Diagnostic Criteria for Dysfunction)/Die Bewegungsfunktion des Unterkiefers: Konzept zur Strukturierung von Analysekr iterien und zur Standardisierung bei der computerunterstützten Aufzeichnung (Stellungnahme im Rahmen der Erarbeitung von Diagnostischen Kriterien für Dysfunktion). *J Craniomandib Funct* 2013;5:41–53.
37. Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA, et al. Motion analysis of the mandible: concept for standardized evaluation of computer-aided recording of condylar movements. *J Craniomand Func* 2014;6:293–312.
38. Ahlers MO, Bernhardt O, Jakstat HA, et al. Motion analysis of the mandible: guidelines for standardized analysis of computer-aided recording of condylar movements. *Int J Comput Dent* 2015;18:201–223.
39. Utz KH, Hugger A, Ahlers MO, et al. S2k guideline (extended version) instrumental functional analysis in dentistry. *J Craniomand Func* 2016;8:185–236.
40. Ahlers MO, Jakstat HA, Hugger A, Türp JC, Bernhardt O, Kordaß B. *Befundbogen Instrumentelle Bewegungsanalyse (BA)*. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2013.
41. Ahlers MO, Jakstat HA, Freesmeyer WB, Simonis A, Hugger A, Meyer G. Vorschlag eines modernen Diagnoseschemas zur therapiespezifischen Erfassung von Anamnesen und Befunden bei CMD. 34 Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) in der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK); Bad Homburg. Düsseldorf: Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) in der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK), 2001.
42. Jakstat HA, Ahlers MO. Initialdiagnosen bei CMD. In: Ahlers MO, Jakstat HA (eds). *Klinische Funktionsanalyse; Manuelle Strukturanalyse; Interdisziplinäre Diagnostik*. dentaConcept Arbeitsbücher, ed 4. Hamburg, Germany: dentaConcept, 2011:329–364.
43. Becker K, Jakstat HA, Ahlers MO. Quality improvement of functional diagnostics in dentistry through computer-aided diagnosis: a randomized controlled trial. *Int J Comput Dent* 2018;21:281–294.



**M. Oliver Ahlers, Priv.-Doz. Dr. med. dent**  
 Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik  
 Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
 Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

**Holger A. Jakstat, Prof. Dr. med. dent.**  
 Vorklinische Propädeutik und Werkstoffkunde  
 Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und  
 Werkstoffkunde Department für Kopf- und  
 Zahnmedizin, Universitätsmedizin Leipzig

**Oliver Ahlers**

#### Address/Adresse

M. Oliver Ahlers, Priv.-Doz. Dr. med. dent., CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf, Falkenried 88 (CiM), Haus C, 20251 Hamburg und Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf; E-Mail: Ahlers@uke.de