



Online-Wissenstest
zu diesem Beitrag
siehe Seite 1507



Lukasz Katzer
ZA

CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf
Falkenried 88 (CiM, Haus C)
20251 Hamburg
E-Mail: lukasz.katzer@cmd-centrum.de

Agnieszka Tarkowska
ZÄ

CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf

M. Oliver Ahlers
Priv.-Doz. Dr. med. dent.

Spezialist für Funktionsdiagnostik und
-therapie (DGFD)
CMD-Centrum Hamburg-Eppendorf
und
Poliklinik für Zahnerhaltung und
Präventive Zahnheilkunde
Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Kaufunktionsmessung

Indizes

Kaufunktion, Kaueffizienz, Mastikation, Kaufunktionseinschränkung

Zusammenfassung

Bei der Rehabilitation des funktionsgestörten Patienten in der zahnärztlichen Praxis steht eine Reduktion des Leitsymptoms „Schmerz“ im Vordergrund der zahnärztlichen Behandlungsmaßnahmen. Der Erkennung oder Verbesserung einer funktionell eingeschränkten Kaufähigkeit als zentraler Aufgabe des Kauorgans kommt bislang hingegen eine überaus untergeordnete Rolle zu. Dabei stehen mittlerweile verschiedene Verfahren zur Erfassung der Kaufunktion zur Verfügung. Der Beitrag stellt drei ausgewählte Messmethoden vor: den klassischen Zerkleinerungstest, den Farbdurchmischungstest und den Farbänderungstest. Für alle Prüfverfahren existieren verschiedene Auswertungsmethoden, die beschrieben werden. Außerdem erfolgt eine Einschätzung der Vor- und Nachteile und bestehender Hemmnisse, die bisher einen Praxiseinsatz erschwert haben.

Einleitung

In der zahnärztlichen Funktionsdiagnostik stehen heute unterschiedliche Verfahren zur Analyse und Erfassung von dysfunktionellen Störungen des Kauorgans zur Verfügung. Einige von ihnen beruhen allein auf Fragebögen und deren Auswertung sowie der Evaluation der Ergebnisse (z. B. Graded Chronic Pain Scale [GCPS], Depression Anxiety Stress Scale [DASS]), während bei anderen körperliche nicht instrumentelle Untersuchungsmethoden zum Einsatz kommen, deren Befunde in der Regel auf Formblättern erfasst und heute darauf aufbauend ausgewertet werden (klinische Funktionsanalyse, manuelle Strukturanalyse). Für die weiterführende Diagnostik gibt es verschiedene Verfahren, die aufgrund der erforderlichen speziellen Untersuchungsinstrumente unter der Bezeichnung „instrumentelle Funktionsdiagnostik“ zusammengefasst werden (u. a. Kieferrelationsbestimmung, Kondylenpositionsanalyse, Okklusionsanalyse, Bewegungsanalyse, Elektromyogra-



phie, Biofeedback). Bei Bedarf kommen zudem bildgebende Verfahren zur Anwendung, wobei insbesondere die Magnetresonanztomographie für die Beurteilung der intraartikulären Weichgewebe hilfreich ist.

Die genannten Verfahren haben sich heute je nach ärztlicher Kompetenz und Ausstattung sowohl zur Eingangsdiagnostik als auch zum Monitoring und zur Bewertung des Therapieerfolges in den zahnärztlichen Praxen etabliert. Der Fokus der Funktionstherapie liegt hier in der Regel auf einer Beseitigung oder Reduktion akuter und chronischer Schmerzzustände des kranio-mandibulären Systems sowie der Wiederherstellung der Funktion des Kauorgans, wobei die Gewährleistung einer unbehinderten Mobilität des Unterkiefers und eines ausgeglichenen Okklusionsgefühls der Patienten im Vordergrund steht.

Eine weitere Problematik, von der Personen mit Funktionsstörungen berichten und von der ein erheblicher Leidensdruck ausgehen kann, stellt die Einschränkung ihrer Kaufunktion dar. Mit einer herabgeminderten Fähigkeit zur Nahrungszerkleinerung geht aus Patientensicht häufig ein Verlust an (mundgesundheitsbezogener) Lebensqualität einher^{7,11}. Eine eingeschränkte Kaufunktion kann allerdings auch zu weiteren weitreichenden Folgen für den Gesamtorganismus führen, die aufgrund des häufig schleichenden Fortschreitens oft zunächst unerkannt bleiben.

Bedeutung der Kaufunktion für den Gesamtorganismus

Orale Beschwerden bzw. eine reduzierte Anzahl natürlicher Zähne können die Lebensmittelauswahl verändern^{1,12}. Das Kauen weniger fester Nahrung hat dann wiederum unter Umständen eine schlechtere mastikatorische Auslastung, ein geringeres Sättigungsgefühl und eine verringerte Anregung des Energiestoffwechsels zur Folge¹⁷. In Tierversuchen und bei Beobachtungen von Naturvölkern ergab sich zudem eine Relation zwischen der Ausbildung des Gesichtsschädels sowie der Entstehung von dentalen und skelettalen Anomalien und dem Kauen ausreichend fester Nahrung^{3,25}. Darüber hinaus werden in der Wissenschaft Zusammenhänge

zwischen der Kaufunktion und kognitiven Verarbeitungsprozessen untersucht. Hierbei konnten Studien eine Korrelation zwischen eingeschränkter Kaufunktion sowie geringer Lern- und Merkfähigkeit im Alter aufzeigen¹⁸. Beispielhaft sei eine tierexperimentelle kontrollierte prospektive Studie erwähnt, bei welcher der Einfluss der Kaufunktion auf die räumliche Merkfähigkeit von Mäusen beim Durchlauf durch ein Wasserlabyrinth untersucht wurde. Versuchstiere, denen die letzten Molaren entfernt worden waren, schnitten hierbei schlechter als die Kontrolltiere ab. Nach künstlicher Wiederherstellung der ursprünglichen Abstützung verbesserte sich die Merkfähigkeit kontinuierlich und erreichte nahezu das Niveau der Kontrolltiere. Dies verdeutlicht, welche Bedeutung die Kaufunktion für den Gesamtorganismus besitzt²⁴.

Da die Nahrungszerkleinerung eine der zentralen Aufgaben des Kausystems darstellt, ist es verwunderlich, dass bislang kein Messverfahren zur Beurteilung der Kaufunktion Einzug in die alltägliche Praxisroutine gehalten hat. Um Kaufunktionseinschränkungen zu erkennen, stehen schon heute unterschiedliche validierte fragebogengestützte Auswertungssysteme zur Verfügung (Mandibular Function Impairment Questionnaire [MFIQ]²¹, Jaw Functional Limitation Scale [JFLS]¹⁶ etc.). Diese führen dazu, dass sich Patienten mit ihrer Kaufähigkeit auseinandersetzen und auf eine unbewusste Problematik aufmerksam gemacht werden. Eine subjektiv als zufriedenstellend wahrgenommene Kaufunktion kann allerdings auch ein falsch-negativer Befund sein, da Studien zeigen, dass Selbstwahrnehmung und objektive Messung deutlich voneinander differieren können². Um Patienten mit einer bewussten Kauproblematik gut zu helfen, aber auch um Personen zu erkennen, die sich mit einer Kauleistungseinschränkung „arrangiert“ haben, sind daher Messverfahren erforderlich, welche den Status der Kaufunktion im Sinne der Zerkleinerungs- bzw. Durchmischungsleistung objektiv erfassen können. Dies ermöglicht ein Monitoring des Behandlungsverlaufs und gibt Aufschluss darüber, ob das Therapieziel einer Verbesserung der Kaufunktion erreicht werden konnte.

Siebverfahren als Goldstandard

Heute existieren zahlreiche Messverfahren, mit denen sich die Kauleistung eines Individuums untersuchen lässt. In diesem Zusammenhang stellt das Siebverfahren wissenschaftlich den Goldstandard dar^{6,14}. Hierbei werden entweder natürliche oder künstliche Testkörper vom Patienten in einer definierten Anzahl von Kauzyklen zerkleinert und daraufhin mit mehreren Sieben unterschiedlicher Porengröße gesiebt. Anschließend wird das Gewicht der Partikel innerhalb jedes einzelnen Siebes gemessen und die durchschnittliche Partikelgröße errechnet. Anhand dieser erfolgt die Beurteilung, welchem Niveau die Kauleistung des Patienten zuzuordnen ist. Aufgrund der technischen Komplexität und der Dauer der Messung hat das Verfahren bisher aber keine Anwendung außerhalb der Forschung gefunden.

Um auch dem praktisch tätigen Kollegen Zugang zu geeigneten Verfahren zu ermöglichen, werden nachfolgend diejenigen Methoden vorgestellt, die nach Auffassung der Autoren in Zukunft auch im Praxisalltag nutzbar sein könnten. Vereinfacht dargestellt lassen sich drei unterschiedliche Messverfahren unterscheiden: der Zerkleinerungstest, der Farbdurchmischungstest und der Farbänderungstest.

Zerkleinerungstest

Um die Kauleistung zu messen, wurden in der Forschung unterschiedliche Materialien verwendet, welche die Patienten in einer definierten Anzahl von Kauzyklen zerkauen mussten. Anfangs kamen natürliche Testkörper wie Nüsse oder Karotten zum Einsatz. Diese bergen allerdings den Nachteil, nicht einheitlich zu sein, und schränken die Reproduzierbarkeit von Messungen ein. Aus diesem Grund wurde trotz der geschmacklichen Vorzüge solcher Substrate auf künstliche Testkörper in Form von Silikonwürfeln mit einer Kantenlänge von 5,6 mm zurückgegriffen, die im Rahmen der Studien selbst aus Optosil Comfort Putty (Fa. Heraeus Kulzer, Hanau) hergestellt wurden (Abb. 1 und 2). Für die Nutzung bei Patienten mit starker Kaufunktions Einschränkung (z. B. Totalprothesenträger) wurde ein weiches

Abb. 1
Optosil Comfort Putty und Activator Universal Plus (Fa. Heraeus Kulzer, Hanau)



Abb. 2
Testwürfel aus Optosil Comfort Putty



Material entwickelt (Optocal). Hierfür wird Optosil als Grundsubstanz in einer festgelegten Zusammensetzung mit weiteren Stoffen vermischt^{5,20}. In der Folge werden nach einer definierten Anzahl von Kauzyklen die Kauprodukte ausgespuckt und dann über eine Kaskade von Sieben mit immer kleiner werdender Wabengröße geleitet, wobei eine quantitative Bestimmung der Verteilung erfolgt.

Neben der beschriebenen Siebmethode und der Ermittlung der durchschnittlichen Partikelgröße lässt sich Letztere auch unter Zuhilfenahme eines Scanners und eines entsprechenden Scanprogramms bestimmen⁴. Hierbei werden die Partikel auf einer Unterlage mit einem Pinsel verteilt und dann mittels eines handelsüblichen Flachbettscanners (1.200 dpi) eingescannt. Die Auswertung der Partikelgröße erfolgt mit Hilfe eines kostenlosen Bildverarbeitungsprogramms (Image J, entwickelt von *Wayne Rasband*, National Institutes of Health, Bethesda, USA; Internet: www.imagej.net) und anschließender Berechnung innerhalb eines Kalkula-



tionsprogramms. Diese Methode erleichtert den gesamten Messvorgang erheblich, da der apparative Aufwand vereinfacht wird und sich auch die Dauer der Messung deutlich verringert (von ca. 50 auf 10 Minuten)⁴. Die Methode ist bereits wissenschaftlich validiert und als der Siebmethode ebenbürtig eingestuft worden⁴. Der Umgang mit dem Scanprogramm und die Auswertung müssen allerdings erst erlernt werden. Ein genaues Protokoll zur Vorgehensweise bei der Auswertung wäre hilfreich. Wenn Optocal-Testwürfel benötigt werden (z. B. bei Prothesenträgern), müssen sie zunächst aus mehreren Komponenten in der Praxis eigenhändig erstellt werden, was einen erhöhten Aufwand bedeutet.

Farbdurchmischungstest

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Kaufunktion stellt der Farbdurchmischungstest mit zwei Kaugummis oder Paraffinwachswürfeln unterschiedlicher Farbe dar. Hierbei wird in einer definierten Anzahl von Kauzyklen ein Testkörper durchmischt und anschließend der Durchmischungsgrad bestimmt¹³. Dies kann entweder visuell¹⁹ oder durch Einscannen und Auswertung mit einem speziell zu diesem Zweck entwickelten Scanprogramm (ViewGum) erfolgen⁸. Die visuelle Beurteilung eignet sich zur Identifizierung von Kaufunktionseinschränkungen¹⁹. Durch die fünfstufige Einteilung¹⁹ ist allerdings nur eine geringe Differenzierung unterschiedlicher Niveaus von Kaufunktionseinschränkungen möglich (Abb. 3). Zudem weist diese Methode eine niedrigere Reliabilität als die digitale Auswertung mittels ViewGum auf.

In beiden Fällen wird der Patient zunächst gebeten, das Kaugummi mit einer festgelegten Anzahl an Kauzyklen (Empfehlung aus vorliegenden Studien¹⁹: 20) zu durchmischen und dann in einen Verschlussbeutel aus transparentem Polyethylen zu spucken. Der Kaugummibolus wird darin zu einer 1 mm flachen Schicht platt ausgerollt und in der Folge mit Hilfe eines Flachbettscanners (Auflösung 1.200 dpi) nacheinander von beiden Seiten eingescannt. Im Anschluss an das Laden der beiden Bilder in das Scanprogramm werden der Vordergrund (Kaugummi) und der Hintergrund (PE-Folie) mittels gelber und roter Markierung (Abb. 4) voneinander getrennt. Nun berechnet das Programm die Farbtöne des Kaugummis und somit den Durchmischungsgrad. Für diese Messmethode werden neben den Kaugummis unterschiedlicher Farben somit nur ein geeigneter Flachbettscanner und das gratis im Internet erhältliche Programm ViewGum⁸ (www.dhal.com/viewgumindex.htm) zur Auswertung benötigt.

Schwierigkeiten bestehen allerdings in Bezug auf die Verfügbarkeit der unterschiedlichen Kaugummifarben. Die für die Studien verwendeten Kaugummis „Sour Berry“ (blau) und „Fancy Fruit“ (pink) der Produktmarke Hubba Bubba (Fa. Wrigley, Unterhaching) sind teils nicht mehr auf dem deutschen Markt erhältlich. Alternativ könnte auf andere Farben oder die Kaugummis sonstiger Hersteller zurückgegriffen werden. Dies müsste dafür aber zunächst wissenschaftlich validiert werden. Erforderlich ist in jedem Fall die Verfügbarkeit zweier Kaugummis mit stark differierenden Farbtönen, um den Vermischungsgrad eindeutig bestimmen zu können⁸. Der Zeitaufwand dieser Messmethode gestaltet sich ähnlich wie beim Scanvorgang der Optosil/Optocal-

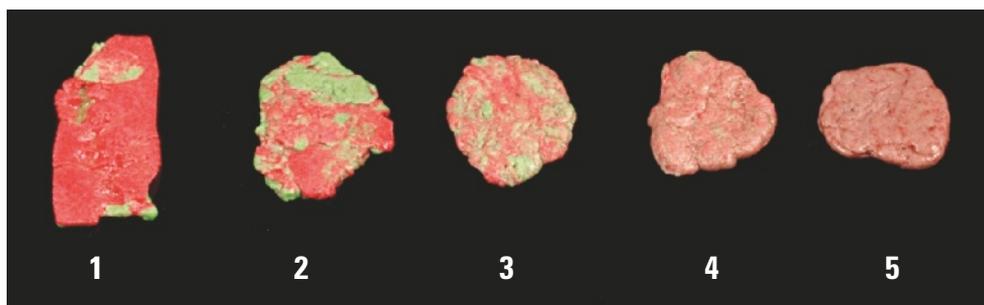


Abb. 3 Fünfstufige Einteilung zur Bestimmung der Durchmischung
(1 = nicht durchmischt,
2 = wenig durchmischt,
3 = moderat durchmischt,
4 = gut durchmischt,
5 = vollständig durchmischt)



Abb. 4 ViewGum-Oberfläche; Trennung des Vordergrundes (Kaugummi) vom Hintergrund (Folie) mittels gelber und roter Markierung

Würfel. Eine niederländische Studie hat gezeigt, dass mit Hilfe der Methode zuverlässig Kaufunktionseinschränkungen erkannt werden können, die Differenzierung zwischen unterschiedlichen Kaufunktionsniveaus aber schlechter ausfällt als bei der Zerkleinerungsmethode²³.

Farbänderungstest

In Japan wurde ein Messverfahren entwickelt, welches die Kauleistung anhand der Farbänderung eines diagnostischen Kaugummis bestimmt¹⁵. Beim Kauen des speziell für diesen Zweck angefertigten Produktes (Masticatory Performance Evaluating Gum Xylitol, Fa. Lotte, Tokio, Japan) kommt es zu einer chemischen Reaktion, bei welcher das Kaugummi die Farbe von grün über gelb zu rot ändert (Abb. 5 und 6). Aufgrund



Abb. 5 Farbänderungskaugummi Masticatory Performance Evaluating Gum Xylitol



Abb. 6 Farbverlauf des Farbänderungskaugummis bei 0 bis 140 Kauzyklen



Abb. 7 Farbskala zur visuellen Bestimmung der Farbe. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von *Yohei Hama* und *Manabu Kanazawa*



Abb. 8 Messung der Kaugummifarbe mit Hilfe eines Colorimeters (CR-13, Fa. Konica Minolta, Tokio, Japan). Abdruck mit freundlicher Genehmigung von *Yohei Hama* und *Manabu Kanazawa*

der unterschiedlichen Farbnuancen des Kaugummis entsteht ein breites Farbspektrum, das für eine gute Differenzierbarkeit sorgt. Zur Prüfung der Kauleistung wird das Kaugummi wie bei den beiden bereits genannten Verfahren in einer festgelegten Anzahl von Kauzyklen (Empfehlung: 60 für Vollbezahnte⁹) zerkaut und anschließend flach ausgerollt.

Auch bei diesem Verfahren existieren zwei Methoden der Auswertung. Einfacher ist die Farbvergleichstechnik, denn hier wird die Farbe des durchgekauten diagnostischen Kaugummis lediglich mit einer mehrstufigen Farbskala¹⁰ verglichen (Abb. 7). Alternativ steht eine vergleichsweise genauere technische Messmethode zur Verfügung, bei welcher der a^* -Wert des $L^*a^*b^*$ -Farbraums mittels Colorimeter bestimmt wird (Abb. 8). Hier

für werden die Farben in der Mitte sowie an den vier Rändern des Kaugummis gemessen und die a^* -Werte anschließend gemittelt. Die Präzision der Messung ist bei Nutzung des Colorimeters sehr hoch und erlaubt aufgrund des großen Farbspektrums, welches das Kaugummi einnehmen kann, eine hohe Differenzierbarkeit⁹.

Die hohe Differenzierbarkeit der Messmethode mit dem Colorimeter lässt darauf schließen, dass hiermit auch geringe Unterschiede bei Vorher-nachher-Vergleichen aufgedeckt werden können. Hingegen empfiehlt sich die Nutzung der Farbskala vermutlich eher zum Screening oder bei stärkeren Kaufunktionsunterschieden. Die Anwendung beider Methoden ist technisch so ausgelegt, dass sie bei entsprechender Ausstattung direkt im Behandlungszimmer erfolgen kann. Da ein Scannen und Einpflegen der Bilder wegfällt, ist der Zeitaufwand geringer als bei den beiden zuvor beschriebenen Methoden. Dokumentiert wird in diesem Fall der jeweilige Messwert. Die Kosten für die Anschaffung eines Colorimeters sind allerdings hoch (je nach Gerät ca. 1.150 bis 2.500 EUR). Zudem gestaltet sich die Beschaffung des diagnostischen Kaugummis in der EU schwierig, da es bislang nur in Japan erhältlich ist.

Schlussfolgerungen

Bei den drei vorgestellten Methoden handelt es sich um Messverfahren, die nach Bereitstellung der technischen Infrastruktur und einer qualifizierten Schulung des mitwirkenden Personals einen überschaubaren zeitlichen Aufwand erfordern. Sie stellen zudem an die Patienten keine zu hohen Anforderungen, sind für das Personal leicht zu erlernen und könnten somit auch in den Praxisalltag integriert werden.



Tab. 1 Bewertung der Eigenschaften der drei unterschiedlichen Messverfahren im Hinblick auf die Praktikabilität aus Autorensicht

Messmethode	Zerkleinerungstest	Farbdurchmischungstest	Farbänderungstest
Differenzierfähigkeit	hoch	moderat	hoch
Testkörper	17 Silikonwürfel mit 5,6 mm Kantenlänge [insgesamt ca. 3 cm ³] (Optosil Comfort oder Optocal)	je zwei unterschiedlich farbige flache Kaugummistreifen (z. B. Hubba Bubba, Format 30 x 18 x 1,5 mm)	ein Kaugummistreifen (Masticatory Performance Evaluating Gum Xylitol)
Materialverfügbarkeit	in Deutschland erhältlich, Silikonwürfel müssen in der Praxis selbst hergestellt werden	bislang genutztes Produkt Hubba Bubba „Sour Berry“ wurde in Deutschland vom Markt genommen	in Japan auf Anfrage erhältlich (Fa. Lotte)
Zeitaufwand (ca.)	10 Minuten mit Messung und Auswertung	2 Minuten bei visueller Bestimmung, 10 Minuten mit Messung und Auswertung	2 Minuten bei Messung mit Farbskala, 5 Minuten bei Nutzung des Colorimeters
benötigte Instrumente	Flachbettscanner (Auflicht), PC, Software	Flachbettscanner (Auflicht), PC, Software	Farbskala (Fa. Lotte) oder Colorimeter (z. B. Konica Minolta CR10/CR13)
Auswertung	Auswertung mit Bildbearbeitungsprogramm „Image J“ (Freeware) und Kalkulationsprogramm (z. B. MS Excel)	visuelle Beurteilung (Abb. 5) oder Scanprogramm und Software ViewGum (Freeware)	Vergleich mit Farbskala oder Farbmessung mit Colorimeter (Abb. 6)
Materialkosten/Messung	ca. 0,13 EUR (ca. 40 EUR für eine Packung [900 cm ³])	ca. 0,12 EUR (ca. 7 EUR für zwei Packungen [je 180 cm Streifen])	ca. 1,78 EUR (5000 Yen [ca. 37 EUR] zzgl. 7000 Yen [ca. 52 EUR] Versandkosten [zzgl. Zollgebühren] für eine Packung [50 Stück])

Alle drei Verfahren eignen sich zum Screening und zur Erfassung von Kauffunktionseinschränkungen. Eine höhere Differenzierbarkeit des Kaufunktionsniveaus erlauben die Zerkleinerungsmethode mit Silikonwürfeln und die Farbänderungsmethode mit einem speziellen Kaugummi. Diese beiden Verfahren sind daher vermutlich auch eher für Vorher-nachher-Vergleiche im Therapieverlauf oder zur Messung kleinerer Veränderungen der Kauffunktion geeignet. Hierzu liegen allerdings noch keine Studien vor. Es stellt sich jedoch die Frage, ob beide Verfahren aufgrund des unterschiedlichen Messprinzips (Zerkleinerung versus Durchmischung) gleichermaßen für alle Anwendungsgebiete (Totalprothese, implantatgestützte Versorgung, kranio-mandibuläre Dysfunktion, Abrasionsgebiss) geeignet sind. Die Ergebnisse einer Studie²² deuten aber auf eine positive Korrelation zwi-

schen Zerkleinerungs- und Durchmischungsfähigkeit hin.

Der apparative Aufwand sollte bei allen vorgestellten Methoden die Anwendung zumindest in spezialisierten Praxen ermöglichen. Die Auswertung gelingt nach Einschätzung der Autoren am leichtesten bei der Nutzung des Farbänderungskaugummis und der Analyse per Farbskala oder Colorimeter. Am anspruchsvollsten in der Durchführung scheint die Auswertung für das optische Scannen der zerkleinerten Silikonpartikel zu sein (Überblick siehe Tab. 1). Die Hauptproblematik, welche einen unmittelbaren Einsatz dieser Tests im Praxisalltag erschwert, besteht in der Beschaffung bzw. Herstellung der benötigten Testkörper für die unterschiedlichen Messverfahren. Geeignete Kaugummis für den Farbdurchmischungstest werden vermutlich in Zukunft auch in der EU wieder erhältlich sein. In diesem Fall ist aber



zunächst eine erneute Validierung erforderlich. Für das Zerkleinerungsverfahren wäre es wünschenswert, dass vorgefertigte Silikonwürfel produziert werden, denn dies würde Kaufunktionsmessungen in der Praxis deutlich erleichtern.

Generell eröffnete die Verfügbarkeit eines der Verfahren in der Praxis die Möglichkeit, die Kaufunktion bzw. Kauleistung von Patienten zu objektivieren. Dies könnte vor und nach restaurativen Behandlungen erfolgen, um angesichts der Unterschiede zwischen subjektivi-

ver und objektiver Erfassung im Fall von Beschwerden zu prüfen, ob diese berechtigt sind. Zudem ließe sich durch die Messung bei Patienten mit subjektiven Einschränkungen prüfen, ob Letztere wirklich gegeben und erhoffte Verbesserungen realistisch sind. So wäre es möglich, sinnlose invasive Behandlungen zu vermeiden. In der Forschung könnten die Messverfahren helfen, mehr über die Eignung bestimmter Okklusionsgestaltungen zu lernen.

Literatur

- Bradbury J, Thomason JM, Jepson NJ et al. Perceived chewing ability and intake of fruit and vegetables. *J Dent Res* 2008;87:720-725.
- Carlsson GE. Masticatory efficiency: the effect of age, the loss of teeth and prosthetic rehabilitation. *Int Dent J* 1984;34:93-97.
- Ciochon RL, Nisbett RA, Corruccini RS. Dietary consistency and craniofacial development related to masticatory function in minipigs. *J Craniofac Genet Dev Biol* 1997;17:96-102.
- Eberhard L, Schindler HJ, Hellmann D, Schmitter M, Rammelsberg P, Giannakopoulos NN. Comparison of particle-size distributions determined by optical scanning and by sieving in the assessment of masticatory performance. *J Oral Rehabil* 2012;39:338-348.
- Eberhard L, Schneider S, Eiffler C, Kappel S, Giannakopoulos NN. Particle size distributions determined by optical scanning and by sieving in the assessment of masticatory performance of complete denture wearers. *Clin Oral Investig* 2015;19:429-436.
- Edlund J, Lamm CJ. Masticatory efficiency. *J Oral Rehabil* 1980;7:123-130.
- Fueki K, Yoshida E, Igarashi Y. A structural equation model relating objective and subjective masticatory function and oral health-related quality of life in patients with removable partial dentures. *J Oral Rehabil* 2011;38:86-94.
- Halazonetis DJ, Schimmel M, Antonarakis GS, Christou P. Novel software for quantitative evaluation and graphical representation of masticatory efficiency. *J Oral Rehabil* 2013;40:329-335.
- Hama Y, Kanazawa M, Minakuchi S, Uchida T, Sasaki Y. Properties of a color-changeable chewing gum used to evaluate masticatory performance. *J Prosthodont Res* 2014;58:102-106.
- Hama Y, Kanazawa M, Minakuchi S, Uchida T, Sasaki Y. Reliability and validity of a quantitative color scale to evaluate masticatory performance using color-changeable chewing gum. *J Med Dent Sci* 2014;61(1):1-6.
- Ikebe K, Hazeyama T, Morii K, Matsuda K, Maeda Y, Nokubi T. Impact of masticatory performance on oral health-related quality of life for elderly Japanese. *Int J Prosthodont* 2007;20:478-485.
- Joshipura KJ, Willett WC, Douglass CW. The impact of edentulousness on food and nutrient intake. *J Am Dent Assoc* 1996;127:459-467.
- Liedberg B, Owall B. Oral bolus kneading and shaping measured with chewing gum. *Dysphagia* 1995;10:101-106.
- Manly RS, Braley LC. Masticatory performance and efficiency. *J Dent Res* 1950;29:448-462.
- Matsui Y, Ohno K, Michi K, Hata H, Yamagata K, Ohtsuka S. The evaluation of masticatory function with low adhesive colour-developing chewing gum. *J Oral Rehabil* 1996;23:251-256.
- Ohrbach R, Larsson P, List T. The jaw functional limitation scale: development, reliability, and validity of 8-item and 20-item versions. *J Orofac Pain* 2008;22:219-230.
- Oka K, Sakurae A, Fujise T, Yoshimatsu H, Sakata T, Nakata M. Food texture differences affect energy metabolism in rats. *J Dent Res* 2003;82:491-494.
- Ono Y, Yamamoto T, Kubo KY, Onozuka M. Occlusion and brain function: mastication as a prevention of cognitive dysfunction. *J Oral Rehabil* 2010;37:624-640.
- Schimmel M, Christou P, Herrmann F, Muller F. A two-colour chewing gum test for masticatory efficiency: development of different assessment methods. *J Oral Rehabil* 2007;34:671-678.
- Slagter AP, Bosman F, van der Bilt A. Communion of two artificial test foods by dentate and edentulous subjects. *J Oral Rehabil* 1993;20:159-176.
- Stegenga B, de Bont LG, de Leeuw R, Boering G. Assessment of mandibular function impairment associated with temporomandibular joint osteoarthritis and internal derangement. *J Orofac Pain* 1993;7:183-195.
- Sugiura T, Fueki K, Igarashi Y. Comparisons between a mixing ability test and masticatory performance tests using a brittle or an elastic test food. *J Oral Rehabil* 2009;36:159-167.
- Van der Bilt A, Mojot J, Tekamp FA, Abbink JH. Comparing masticatory performance and mixing ability. *J Oral Rehabil* 2010;37:79-84.
- Watanabe K, Ozono S, Nishiyama K et al. The molarless condition in aged SAMP8 mice attenuates hippocampal Fos induction linked to water maze performance. *Behav Brain Res* 2002;128:19-25.
- Waugh LM. Influence of diet on the jaws and face of the American Eskimo. *J Am Dent Assoc* 1937;24:1640-1647.