

# Funktionelle Interdependenzen zwischen Kieferlage und motorischer Kontrolle von Haltung und Bewegung

## Absteigende Funktionsketten

### Hintergrund

Bisherige Studien zu der vorliegenden Thematik beurteilen primär den medizinischen anstelle des bewegungswissenschaftlichen Aspekts, der die Steuerung und Regelung der motorischen Kontrolle der Körperhaltung und Bewegung inklusive der dazugehörigen funktionellen Veränderungen der Bewegungskoordination beinhaltet. Bis heute wurde aus der Kombination der Fachbereiche Bewegungswissenschaft und Zahnmedizin keine Übersicht über Auswirkungen von (provozierten) Fehlfunktionen des kranio-mandibulären Systems (CMS) auf die motorische Kontrolle des Menschen und umgekehrt über die (provozierten) Auswirkungen von Fehlhaltungen des Haltungs- und Bewegungssystems auf das CMS publiziert. In der vorliegenden Arbeit soll auf die Auswirkungen absteigender Funktionsketten eingegangen werden. Es bleibt späteren Abhandlungen vorbehalten, sich mit den Effekten aufsteigender Funktionsketten zu beschäftigen und – im Sinne der Verkettung – den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeiten zu sowohl aufsteigender als auch absteigender sich gegenseitig beeinflussender Ketten den Raum zu geben.

### Methodik

Durch die Unterteilung der Einzelstudien in 2 Gruppen findet eine systematische organisierte Veränderung des Steh- und Gehverhaltens der Probanden statt, wobei die zielgerichteten Absichten der jeweiligen Intervention, die messtechnisch erfasst werden sollen, vorab durch das jeweilige Studiendesign festgelegt worden sind. Da die gewandelte sensomotorische Leistung des Organismus nicht direkt zu messen ist, werden über zuvor bestimmte Parameter Rückschlüsse auf die veränderten motorischen Steuerungs- und Funktionsprozesse gezogen. So ist es möglich, die Auswirkungen der Haltungs- und Bewegungsänderungen zu dokumentieren, die mit unterschiedlichen Messmethoden erfasst worden sind.

Die Vermessung der Unterkieferbewegungen in Relation zum Oberkiefer (sowohl statisch als auch dynamisch) erfolgt mittels der elektronischen Positionsanalyse und der Bewegungsanalyse (Abb. 1, 2).

Eine statische lichteptometrische Rückenvermessung sowie eine dynamische Ultraschallabstandsmessung von Hautverschiebungen dienen der Erfassung der Rückenoberfläche bzw. der Wirbelsäulenstellung (Abb. 3).

Hinsichtlich der plantaren Druckverteilung werden sowohl eine Druckmessplatte als auch ein Innenschuhmesssystem

eingesetzt, während die Aufzeichnung der Haltungsregulation mittels einer statischen und dynamischen Druckmessplatte aufgezeichnet wird (Abb. 4, 5).

Sowohl bei den absteigenden als auch bei den aufsteigenden Funktionsketten werden 3 unterschiedliche Probandenkollektive untersucht. Hierbei handelt es sich um Erwachsene,

- die sich selbst als gesund beschreiben bzw.
- die als Athleten ein hohes Leistungsspektrum ihres Körpers aufweisen oder
- bei denen therapeutische Maßnahmen, wie z. B. die Therapie einer kranio-mandibulären Dysbalance oder die Notwendigkeit der Implantation



**Abb. 1** ▲ Dreidimensionale Vermessung der Unterkieferbewegungen mit „zebris“. (Mit freundl. Genehmigung von Daniel Heil)

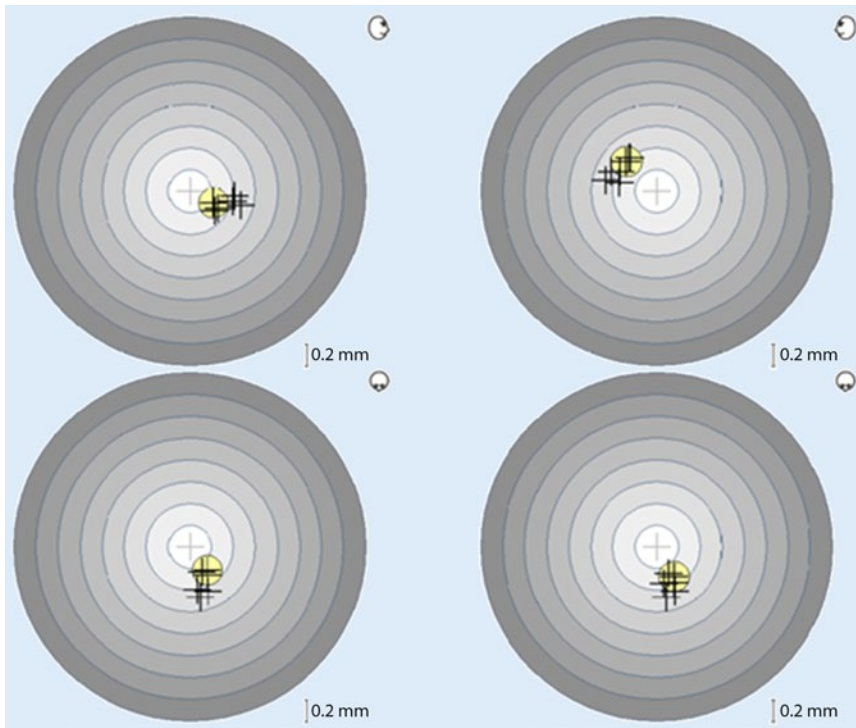


Abb. 2 ▲ Elektronische Kondylenpositionsanalyse

eines künstlichen Hüft- oder Kniegelenks unerlässlich sind.

## Manipulation der Okklusion

### Sensomotorisches System

Das sensomotorische System, das das sensorische Wahrnehmungssystem mit dem motorischen System der Bewegungssteuerung über den Thalamus verbindet, regelt aktiv die Körperhaltung unter zentraler Steuerung. Informationen über Lage- und Stellungsänderungen bestimmter Körperteile im Raum registrieren die Subsysteme des sensomotorischen Systems [1, 19, 30] und leiten sie an das zentrale Nervensystem weiter. Über sensible Rezeptoren, die unter anderem in Gelenken (wie z. B. Golgi-Mazzoni-Körperchen), Muskeln (wie z. B. Muskelspindeln), Kapseln (z. B. Ruffini-Körperchen), Sehnen (wie z. B. Golgi-Sehnenorgane) und der Haut (wie z. B. Vater-Pacini-Körperchen) eingelagert sind, werden Informationen von Eigenbewegungen des Körpers wahrgenommen, wie beispielsweise die Erfassung der Gelenkwinkelstellung oder Spannungs- und Längenveränderungen der Muskulatur. Im zentralen Nervensystem werden alle afferenten Informationen zusammen-

gefasst, sodass über efferente Signale eine situationsadäquate motorische Steuerung der Bewegung möglich ist. In diesem Zusammenhang bilden zentrales und peripheres Nervensystem eine funktionelle Einheit.

### » Körperhaltung und -bewegung stehen unter fortwährender Kontrolle

Körperhaltung und -bewegung stehen folglich unter fortwährender Kontrolle, sodass mittels der Muskulatur permanente Korrekturen der aktuellen Position oder das Umsetzen neuer Aktionen garantiert werden können [1, 19, 20].

Eine kranio-mandibuläre Dysfunktion (CMD) bzw. eine temporär provozierte Bissposition sind nur 2 mögliche Situationen, an die sich der menschliche Organismus individuell und adäquat mithilfe aller Subsysteme des sensomotorischen Systems kurz- oder auch langfristig anpassen muss. Diese Zusatzbelastungen können mittels erhöhter Muskelaktivität und gesteigertem Energieverbrauch ausgeglichen werden.

Durch die Steuerung von neurophysiologischen Regelkreisen mitsamt Rück-

kopplungsmechanismen wird über das zentrale Nervensystem eine Anpassung an die hervorgerufenen okklusalen Veränderungen umgesetzt. Inwiefern sich diese theoretischen Grundzüge in der praktischen Umsetzung bestätigen oder widerlegen lassen, ist innerhalb der Studien um die Forschergruppe von Ohlendorf und Kopp experimentell überprüft worden. Hinsichtlich der absteigenden Funktionsketten sind 7 Untersuchungen anzuführen. Zunächst wird in 3 Untersuchungen bei gesunden Erwachsenen der Einfluss einer symmetrischen bzw. asymmetrischen temporären Okklusionssperrung auf die posturale Kontrolle, die plantare Druckverteilung, die Oberkörperstatik sowie die funktionelle Wirbelsäulenstellung analysiert (Querschnittstudien). Das wesentliche Ergebnis der posturalen Kontrolle ist eine verringerte frontale Auslenkung des „center of pressure“ (CoP) bei Positionierung der Watterolle in der rechten Prämolarenregion gegenüber der Ruhelage. Eine entsprechende Reduzierung in der sagittalen Ebene fällt geringer aus und ist statistisch nicht nachweisbar. Ebenso ist die Belastungsverteilung zwischen Rück- und Vorfuß sowie zwischen linkem und rechtem Fuß durch die induzierten Bissituationen nicht signifikant verändert. Demnach beeinflusst der Aufbiss die Lastverteilung des Körpers insgesamt nur wenig. Bezüglich der plantaren Druckverteilung zeigen die Resultate, dass sich der Maximaldruck der linken zentralen Ballenregion erhöht, wenn gegenüber der Ruhelage die Okklusion durch eine Watterolle linksseitig oder symmetrisch gesperrt wird. Es kommt zu einer Gewichtsverlagerung auf den linken medialen Vorfuß. Zudem steigt die Krafrate des rechten Fußes bei rechtsseitiger, linksseitiger, symmetrischer und frontaler okklusaler Sperrung (Watterolle) gegenüber der Ruhelage. Bezüglich des linken Fußes ist dies nur bei der rechts- und linksseitigen Okklusionssperrung zu registrieren. Bei der maximalen Interkuspitation im Vergleich zur Ruhelage ist eine gesteigerte Krafrate auf beiden Füßen nachzuweisen. Eine Veränderung des prozentualen Verhältnisses zwischen dem Abbrems- und Beschleunigungsvorgang der vertikalen Bodenreaktionskraft ist jedoch nicht eingetreten. Demgegenüber ist bei allen

Vergleichen ein signifikanter Unterschied bei der Verweildauer beider Füße am Boden erfolgt. Generell ist diese gesunken, wobei sich nur die Kontaktzeit des linken Fußes bei maximaler Interkuspidation gegenüber der Ruhelage verlängert hat. Diese Effekte sind anscheinend auf eine schnellere Gehgeschwindigkeit zurückzuführen, die durch die okklusalen Einflüsse hervorgerufen wird. Der gewohnte Rhythmus kann nicht aufrechterhalten werden, sodass sich mit veränderter Gehgeschwindigkeit über die Messplatte fortbewegt wurde [20].

### Provozierte Okklusionssperre

Eine systematische temporär provozierte Okklusionssperre (1 bzw. 2 mm Silikonplättchen; **Abb. 6**) ruft hinsichtlich der Oberkörperstatik auch Veränderungen hervor. Insbesondere Reduzierungen der Schulterrotation werden deutlich.

Bei einer rechtsseitigen Okklusionsblockade mit einem 2 mm dicken Silikonplättchen oder bei einer Sperrung sowohl der linken als auch der rechten Gebisshälfte mit einem 1 mm dicken Plättchen sind statistische Veränderungen der Schulterrotation nachzuweisen. Des Weiteren verringert sich die Beckenrotation bei einer rechtsseitigen 1-mm-Sperrung. Eine Änderung der Wirbelsäulenform oder der Torsion ist nicht erfolgt. Gleiches ist für die Höhe der Marker im Schulter- und Beckenbereich der Fall. Diese Veränderungen sind immer im Vergleich zur neutralen Körperhaltung bei Ruhelage zu registrieren [16].

Eine temporäre Manipulation der Okklusion mittels 4 mm dicken Silikonplättchen im Bereich der Prämolaren und der Frontzähne führt im Vergleich zur habituellen Okklusion zu einer messbaren Abweichung der funktionellen Wirbelsäulenstellung sowohl während des Stehens als auch während des Gehens.

### » Es kommt zur messbaren Abweichung der funktionellen Wirbelsäulenstellung

In beiden Messreihen kommt es durch die Okklusionsblockade zu einer Veränderung hin zu einer linksseitigen Lateral-

Manuelle Medizin 2014 · 52:509–520 DOI 10.1007/s00337-014-1157-6  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

D. Ohlendorf · S. Kopp

## Funktionelle Interdependenzen zwischen Kieferlage und motorischer Kontrolle von Haltung und Bewegung. Absteigende Funktionsketten

### Zusammenfassung

**Hintergrund.** Fehlfunktionen des kranio-mandibulären Systems wirken sich auf die motorische Kontrolle des Menschen aus. Umgekehrt haben Fehlhaltungen des Haltungs- und Bewegungsapparats Auswirkungen auf das kranio-mandibuläre System. Diese z. T. durch Mundschutz oder Aufbissbehelf induzierten bzw. modifizierten Wechselwirkungen wurden in verschiedenen Studien untersucht.

**Material und Methode.** Es wurden okklusale Veränderungen experimentell mithilfe von Plättchen oder im Sportbereich durch Mundschutz simuliert bzw. Fehlokklusionen durch einen Aufbissbehelf (Schiene) korrigiert. Dabei wurden sowohl gesunde Probanden als auch Athleten bzw. Personen, die einer therapeutischen Maßnahme bedürfen, in die Studien einbezogen. Gemessen wurde jeweils die Auswirkung auf Motorik, Statik und Mus-

keltonus innerhalb der betroffenen Körpersysteme. Auch wurden verschiedene Schienenarten und Mundschutze vergleichend evaluiert.

**Schlussfolgerung.** Vielfältige Wechselwirkungen regulatorischer und kompensatorischer Art wurden in unterschiedlichen Konstellationen dokumentiert. Durch die Manipulation der Okklusion kann sowohl die Körperhaltung als auch die Körperstatik in relevanter Weise verändert werden. Dies kann therapeutisch genutzt werden bzw. sollte bei der Anwendung von Mundschutzen im Sportbereich Beachtung finden.

### Schlüsselwörter

Mundschutze · Kranio-mandibuläres System · Wirbelsäule · Bewegungsapparat · Kiefergelenk

## Functional interdependency between jaw position and motor control of posture and movement. Descending sequence of functions

### Abstract

**Background.** Malfunctions of the craniomandibular system have an effect on the motor control of humans. Conversely, abnormal positioning of the postural and movement system has an effect on the craniomandibular system. These reciprocal effects which can be partially induced or modified by mouth guards or occlusal appliances have been investigated in various studies.

**Material and methods.** Occlusal alterations were experimentally simulated using pads or in sports using mouth guards and malocclusions were corrected using occlusal splints. Healthy subjects as well as athletes and persons in need of therapeutic measures were included in the studies. In each case the effects on the motoric, static and muscle tone

were measured within the affected body system. Various types of splint and mouth guards were also compared.

**Conclusion.** A multitude of reciprocal effects of a regulatory and compensatory art were documented in different constellations. By manipulation of the occlusion, the body posture and body static can be altered in a relevant way. This can be used therapeutically and should be taken into consideration when using mouth guards in sports.

### Keywords

Mouth guards · Stomatognathic system · Spine · Musculoskeletal system · Temporomandibular joint

flexion und Torsion sowie zu einer Extension insbesondere im Hals- und Beckenbereich der Wirbelsäule. Die Veränderung der Oberkörperhaltung ist jedoch trotz unterschiedlicher Positionierung der okklusalen Interferenzen gleich und damit positionsunabhängig. Des Weiteren sind innerhalb der 3 gemessenen Wirbelsäulensegmente unterschiedliche Verände-

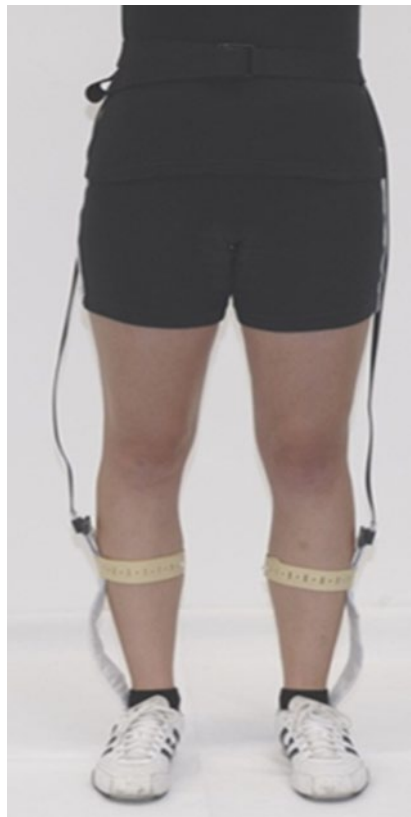
rungen zu registrieren. Neben den grundsätzlichen Abweichungen gegenüber der Oberkörperhaltung der neutralen Referenzmessung sind die Reaktionen in jedem Wirbelsäulensegment in Abhängigkeit von der Positionierung der Silikonplättchen unterschiedlich. Sowohl kontrals als auch ipsilaterale Reaktionen sind in jedem Wirbelsäulenabschnitt zu erkennen,



**Abb. 3** ▲ Dreidimensionale Wirbelsäulenvermessung

die jedoch keine eindeutigen Rückschlüsse auf Wechselwirkungen zwischen der Platzierung der Silikonplättchen und der Wirbelsäulenhaltung zulassen. Es ist folglich kein kausaler Zusammenhang zwischen Silikonplättchenposition und ipsi- oder kontralateraler Wirbelsäulenveränderung zu erkennen [18, 22].

Ein ähnliches Design wie bei gesunden Erwachsenen liegt in den beiden folgenden Studien bei Leistungssportlern vor, in denen im Rahmen von Querschnittstudien der Einfluss einer kurzzeitigen Bissperrung auf die posturale Kontrolle, die plantare Druckverteilung und die Oberkörperstatik analysiert wurde ([12, 17]; nicht veröffentlichte Daten). Innerhalb einer Längsschnittstudie wird der Einfluss eines Aufbissbehelfs bei CMD-Patienten auf die Oberkörperstatik untersucht [12]. Die letzten beiden Untersuchungen befassen sich mit den Effekten von Sportmundschutzen bei Feldhockeyspielern und Boxern im Bezug auf die funktionelle Wirbelsäulenstellung und die plantare Druckverteilung bei sportspezifischen und -unspezifischen Bewegungssequenzen.



**Abb. 4** ▲ Innenschuhmesssystem

### Beeinflussung der Statik

Aus den Resultaten, auf die im Nachfolgenden noch weiter eingegangen wird, lässt sich zusammengefasst schlussfolgern, dass sich infolge einer Okklusionsstörung die Beeinflussung der Oberkörperstatik im Allgemeinen und der funktionellen Wirbelsäulenstellung im Speziellen, aber auch der posturalen Kontrolle sowie der plantaren Druckverteilung durch einen hochkomplexen Mechanismus einstellt. Dieser ist auf skeletale, muskuläre, fasziale und neuroanatomische Vernetzungen des CMS mit anderen Körpersystemen zurückzuführen. Jede Abweichung der Kondylenposition bzw. der Kontaktbeziehung zwischen den Ober- und Unterkieferzähnen führt zu einem veränderten neurophysiologischen Informationsmuster und einer angepassten entsprechenden Steuerung der eingebundenen Muskulatur samt ihrem Faziensystem. Ziel ist die Sicherung der Kieferlage und Kiefergelenkstellung über die Steuerungselemente der Muskulatur, die Muskelspindeln und Golgi-Sehnenapparate [1, 19, 20, 23]. Dadurch, dass die

Muskelspindeln der Kaumuskulatur mit dem N. trigeminus interagieren, werden bereits kleinste okklusale Veränderungen registriert, was durch eine 5-mal höhere Anzahl an sensiblen Rezeptoren in der Kaumuskulatur gegenüber anderen Muskeln unterstützt wird [2, 20, 24].

Wissenschaftliche Untersuchungen unterstützen diese theoretischen Annahmen [25, 26, 27, 29]. Während Christensen et al. [25] bei einem unilateralen Okklusionshindernis von 0,24 mm eine signifikante Reduktion der kontralateralen Masseteraktivität nachweisen können, belegen Roßbach und Tschernitschek [26], dass bei einer einseitigen Nonokklusion eine größere Muskelaktivität auf der kontralateralen abgestützten Seite vorliegt. Obert et al. [29] zeigen signifikante Auswirkungen einer unilateralen Okklusionsblockade mit 0,3 bzw. 0,6 mm Zinnfolie auf die Lendenwirbelsäulenstellung beim Gehen. Ferner beweist Obert et al. [28, 29] einen eindeutigen Zusammenhang zwischen einer gestörten Okklusion und Veränderungen der funktionellen Wirbelsäulenstellung bzw. des maximal möglichen Wirbelsäulenbewegungsausmaßes. Während des Gehens sind direkt nach Eingliederung eines Okklusionshindernisses Kompensationsbewegungen in Form einer Extension sowie Lateralflexion und Torsion innerhalb aller Wirbelsäulensegmente eingetreten. Bei der Durchführung von Bewegungen zur Erfassung der maximalen Beweglichkeit (Ventrolflexion, Dorsalflexion, Lateralflexion nach rechts und links, Rotation nach rechts und links) ist durch eine einseitige Okklusionsbeeinflussung das Bewegungsausmaß in allen Bereichen nahezu gestiegen. Innerhalb beider Messreihen konnte jedoch kein einheitliches Reaktionsmuster hinsichtlich der Hindernisseite bzw. keine verstärkte Ausprägung aufgrund einer gesteigerten Hindernishöhe (von 0,3 mm auf 0,6 mm Zinnfolie) nachgewiesen werden. Folglich können zwar keine Kausalitäten entlang einer linearen Wirkungskette formuliert, jedoch theoretische Rückschlüsse auf Veränderungen gezogen werden. Ihnen liegen hochkomplexe Mechanismen der Reizweiterleitung und Reizverarbeitung zugrunde, die durch Tonusveränderungen der stabilisierenden Kopf- und Rumpfmuskulatur

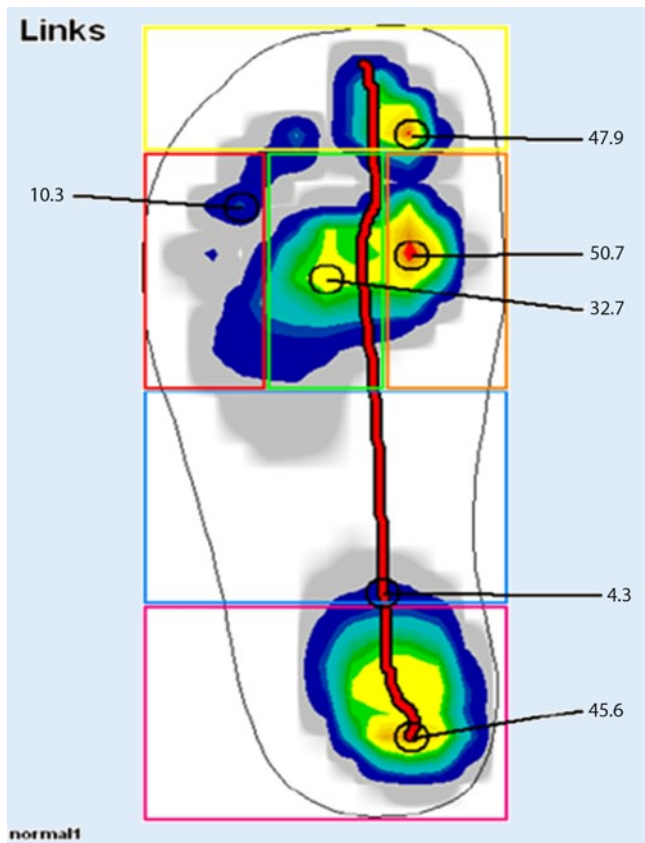


Abb. 5 ◀ Schema der plantaren Druckverteilung

unter Berücksichtigung des Faszien-systems umgesetzt werden. Ferner sind individuelle Komponenten, wie z. B. die örtliche Beißkraft, der Zahnstatus bzw. die okklusale der die physiologische Seitigkeit, zu berücksichtigen. Dadurch erklären sich die Autoren die z. T. immens divergierenden Reaktionen der einzelnen Probanden, was die Formulierung einer grundlegenden Kausalität erschwert.

### Kompensatorische Reaktion des kranio-mandibulären Systems

Dass kompensatorische Reaktionen des Bewegungssystems auf temporäre okklusale Hindernisse von 2 und 4 mm Sperrung Ausdruck vielfältiger Regulationsprozesse zwischen dem CMS und anderen Körperregionen sind, bestätigen zudem die Resultate einer Untersuchung von Ohlendorf et al. [18] hinsichtlich der funktionellen Wirbelsäulenstellung beim Gehen und Stehen. Eine stärkere Okklusionsblockade von 4 mm ruft ähnliche Reaktionen der funktionellen Wirbelsäulenstellung im Stehen aber auch beim Gehen hervor. Wie bei Obert [28] ist auch hier keine eindeutige Aussage über den

Einfluss der jeweiligen Silikonplättchenposition auf die Wirbelsäulensegmente möglich, sodass ipsi- oder kontralaterale Wirbelsäulenveränderungen entsprechend der Plättchenplatzierung als kritisch zu betrachten sind. Innerhalb der 3 Wirbelsäulensegmente sind zwar generelle Unterschiede zu erkennen, die jedoch gemäß der Positionierung der Silikonplättchen differieren. Die unterschiedliche Beweglichkeit der einzelnen Bewegungssegmente ist zudem aufgrund anatomischer und folglich auch biomechanischer Unterschiede variabel. So besitzt die HWS eine insgesamt große Beweglichkeit durch die Möglichkeit zur Rotation, Dorsalextension, Lateralflexion sowie aller Kombinationen, wohingegen die BWS einen geringeren Bewegungsumfang hat. Eine Drehung des Rumpfes basiert nahezu ausschließlich auf einer Rotation zwischen den unteren Brustwirbeln. Im Bereich der LWS ist dagegen die Rotation stark eingeschränkt [30, 31]. Der Tonus der Muskulatur aber auch der der Faszen ist in diesem Zusammenhang bei der Beweglichkeit einzelner Wirbelsäulensegmente ebenfalls relevant.

Durch den Einsatz des Okklusionshindernisses, das temporär die Bissposition verändert, erfolgen unabhängig (ob beim Gehen oder Stehen) untypische Muskelzüge sowie asymmetrische Muskelanspannungen im Bereich des CMS.

### » Okklusionshindernisse erzeugen asymmetrische Muskelanspannungen

Bei dieser Vermutung muss davon ausgegangen werden, dass immer ein ansatzweise ausgeglichenes muskuläres Verhältnis der CMS-Muskulatur bei den Probanden ohne Anzeichen einer CMD (Studien 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 4, 5) vorliegt.

Hier wirken sich ungleiche Muskelzüge auch auf topographisch angrenzende Strukturen entsprechend aus und führen z. B. zu einer Schiefelage des Kopfes. Anpassungen der Bipupillarlinie in der Horizontalebene sowie veränderte Informationen des Gleichgewichtsorgans liegen diesbezüglich nahe. Da neben dem Gleichgewichtsorgan auch die Augen bestrebt sind, eine horizontale Ebene einzuhalten, erfolgt mittels eines okulomotorischen Reflexes eine Anpassung an diese Horizontale. Um dies zu kompensieren kommt es zu einer Tonussteigerung der CMS-Muskulatur sowie der angrenzenden Kopf- und Halsmuskulatur. Zu den Muskeln des Halses zählen die oberflächlichen Halsmuskeln, die infrahyale Muskulatur, die Skalenusgruppe sowie die prävertebrale Muskulatur. Von besonderer Wichtigkeit ist hierbei der M. sternocleidomastoideus, der seinen Ursprung am Sternum und der Klavikula hat und zum Processus mastoideus des Os temporale sowie zur Linea nuchalis superior des Os occipitale zieht [1, 2, 32–35]. Zudem gibt es nach von Piekraz [36] 2 Arten der Kopfanpassung, die axiale Kopf-Nacken-Stellung (Kopfextension) und eine nach vorne gerichtete kaudale Anpassung, bei der sich neben der Muskelaktivität auch die Arthrokinematik der HWS ändert. In diesem Zusammenhang führen afferente Informationen aus dem CMS bzw. der kraniozervikalen Region zu Anpassungen in Form einer Schiefelage des Kopfes mit entsprechend asymmetrischer Beteiligung der Kau- und Halsmuskulatur sowie der Abweichung der Bipupillar-



**Abb. 6** ◀ Provozierte Bissperrung rechts um 1 mm

linie in der Horizontalen und einer Beeinflussung des Gleichgewichtsorgans. Während der eingenommenen Position projizieren Gleichgewichtsrezeptoren afferent Lageimpulse zu den Vestibulariskernen, wobei zeitgleich propriozeptive Impulse aus dem Rückenmark zur Registrierung neuer Positionen des Körpers im Raum ins Zentralnervensystem geleitet werden. Über sog. spinovestibuläre Fasern aus dem Hals- und Rumpfbereich wird die Stellung des Kopfes im Vergleich zum übrigen Körper analysiert. Dies wird durch die Aktivierung des N. accessorius unterstützt, da einige Fasern den M. sternocleidomastoideus und den M. trapezius versorgen [1, 20]. So kann eine veränderte okklusale Situation neben einer veränderten Kopfhaltung auch die Körperposition beeinflussen.

Die Anpassung an diese okklusalen Strukturen vollzieht der Körper ökonomisch und funktionell über selbstregulierende Kontrollmechanismen. Hierbei haben der gemischte Hirnnerv V (N. trigeminus, sensible Gesichts- und motorische Kaumuskelversorgung), die Formatio reticularis aufgrund ihrer extrapyramidalen Motoriksteuerung und der Nucleus olivaris inferior zwecks seiner Beteiligung an der Koordination bedeutende Funktionen. Die neuroanatomischen Zusammenhänge zwischen den trigeminalen Strukturen und der Steuerung und Regelung der Körperhaltung sind somit erkennbar. Diese Verbindungen äußern sich u. a. in einer Veränderung der Muskellänge.

Der gesamte menschliche Organismus muss aufgrund der Summation aller Afferenzen neu reguliert werden. Bei der effektiven motorischen Umsetzung dieser Informationen kommt es neben einer Projektion ins Kleinhirn und in die Augenmuskelkerne auch zu einer Beeinflussung

der Motoneurone des Hals- und oberen Thorarkalmarks. Des Weiteren werden  $\alpha$ - und  $\mu$ -Motoneurone des gesamten Rückenmarks der entsprechenden Muskeln angesteuert, wobei die Efferenzen aus dem Nucleus vestibularis lateralis stammen und den Traktus vestibulospinalis lateralis bilden [1, 20]. Demnach ist eine Veränderung in der Peripherie, wie beispielsweise ein temporär eingesetztes Okklusionshindernis, in der Lage, den muskulären Tonus des ganzen Körpers entlang descendenter Funktionsketten zu beeinflussen, wodurch sich eine Hypotonie der Extensoren oder eine Hypertonie der Flexoren ergeben kann. Diesbezüglich sind die tonischen Bestandteile der Motorik durch die „[...] gegen die Erdschwerkraft gerichtete Aktivität, aus der Aufrechterhaltung eines allgemeinen Aktivierungstonus, aus der die Bewegung begleitenden Haltungsregulation sowie aus länger wirkenden, nicht gravitationsbedingten Zuströmen aus der Peripherie“ [37] maßgeblich beeinträchtigt.

Nicht nur temporäre spontane Veränderungen der CMS-Situation sind in der Lage Unterschiede in der motorischen Kontrolle von Haltung und Bewegung auszulösen, sondern auch ein Training der Muskulatur dieser Region. So belegen Herget et al. [63, 64] positive Effekte einer Face-Former-Therapie. Durch diese myofunktionelle Therapie wird eine geradere Kopf- und Nackenhaltung antrainiert. Über die Aufrichtung der Kopfhaltung während des Trainings erfolgt gleichfalls eine Streckung der Wirbelsäule. Auf diese Weise werden beispielsweise die Kau- und Schluckmuskeln sowie weitere mimische Muskeln durch eine Stimulation des M. orbicularis oris in Aktivität versetzt. Dies führt wiederum zu einer zusätzlichen Anspannung der Mus-

kulatur im Kopf-/Halsbereich. Demzufolge hat das Training auch auf weiter kaudal gelegene Muskelgruppen Einfluss, sodass bei dem Übungsprogramm nicht nur die Muskeln des kraniozervikalen Systems synchron trainiert werden.

Diesen theoretischen Annahmen zur Folge erklärt es sich, dass einseitige kompensatorische Bewegungsverhalten in Statik und Dynamik bei gesunden Menschen aufgrund der hohen Sensibilität im CMS deutlich werden und die Abweichungen im Bewegungssystem so schnell messtechnisch sichtbar werden [13, 16, 18]. Dies wird auch anhand einer HWS- und BWS-Extension sowie Derotation durch Positionierung der Kondylen in zentrischer Relation [7, 8, 9, 16] mittels eines Sportsmundschutzes bei gesunden Leistungssportlern sichtbar. Hinsichtlich der funktionellen Wirbelsäulenstellung während statischer und dynamischer hockeyspezifischer und -unspezifischer Bewegungsabfolgen (bei weiblichen Feldhockeyspielern) aber auch bei boxspezifischen und -unspezifischen Bewegungssequenzen (bei weiblichen und männlichen Boxern) sind Veränderungen nachzuweisen. Dadurch, dass in den beiden Untersuchungen v. a. in der funktionalen Wirbelsäulenstellung im kontralateralen Seitenvergleich kaum Veränderungen einer Messbedingung aufgetreten, sondern vielmehr ipsilaterale Unterschiede bei der Gegenüberstellung verschiedener Messbedingungen zu verzeichnen sind, scheint der Mundschutz ursächlich für eine Haltungsänderung im Bereich der funktionellen Wirbelsäulenstellung zu sein. Dies ist möglicherweise durch die Anspannung der Muskulatur sowie einen ausgelösten Druck auf die Frontzähne nach posterior erklärbar.

### Studien zu verschiedenen Mundschutzen und Aufbissbehelfen

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Hockeyspieler [7, 16] wird deutlich, dass die Körperhaltung beim aufrechten Stand ohne Tragen eines Mundschutzes bei allen Feldhockeyspielerinnen nahezu gleich ausgeprägt ist. Gleiches ist zudem in den hockeyspezifischen Bewegungen, wie der Ausgangsstellung, dem Führen oder dem

Dribbeln, zu erkennen. Die meisten funktionellen Veränderungen der Wirbelsäulenstellung sind diesbezüglich im BWS-Bereich registrierbar.

Bedingt durch die hockeyspezifische Schlägerhaltung (die rechte Hand umfasst den Schläger tiefer als die linke Hand) ist eine Lateralflexion kombiniert mit einer Torsion des Oberkörpers nach rechts insbesondere im BWS-Bereich unabdingbar. Somit befindet sich die rechte Schulter tiefer als die linke.

### » Unter Einfluss des Mundschutzes wandelt sich die Körperausgangsstellung

Durch den Einfluss des Mundschutzes (insbesondere durch den individuell hergestellten Mundschutz) wandelt sich v. a. im BWS-Bereich die Ausgangsstellung im Sinne einer Derotation und einer Körperaufrichtung.

Bezüglich der funktionellen Wirbelsäulenstellung ist eine ähnliche Beobachtung beim Boxen zu verzeichnen [8, 9]. Die Körperhaltung in der boxspezifischen Ausgangsposition ohne Tragen eines Sportmundschutzes ist bei allen Boxern gleich: Eine Lateralflexion kombiniert mit einer Torsion des Oberkörpers nach links im HWS-Bereich und nach rechts im BWS-Bereich. Im LWS-Segment liegt eine linksseitige Lateralflexion zusammen mit einer rechtsseitigen Torsion vor. Diese Stellung ist notwendig, insofern das linke Bein vor dem rechten steht (Linksauslage; alle Probanden dieser Studie). Folglich befindet sich die rechte Schulter weiter kaudal als die linke [38]. Diese boxtypische Körperhaltung ist bereits bei Nachwuchsboxern ausgeprägt, in der der Kopf leicht vorgeschoben und die Brustwirbelsäule kyphosiert ist [39]. Durch den Einfluss eines Sportmundschutzes, insbesondere des individuell angefertigten Mundschutzes, reduziert sich die Torsion der Boxerausgangsstellung v. a. im HWS- und BWS-Bereich bei gleichzeitiger Extension dieser Segmente. Diese Position wirkt jedoch der boxspezifischen Körperhaltung geringfügig entgegen, da bei den Offensiv- und Defensivbewegungen eine linksseitig geneigte und rotierte HWS sowie eine linksseitige Lateralflexion und entgegengesetz-

te Torsion im BWS- und LWS-Bereich zu beobachten sind. Obwohl die Bewegungsrichtung durch Tragen beider Mundschutze bestehen bleibt, kommt es zu einer Extension in allen 3 Wirbelsäulensegmenten. Dies lässt vermuten, dass eine linksseitige Lateralflexionsbewegung der Wirbelsäule in entgegengesetzte Richtung der rechten Belastungsseite erfolgt, damit die rechte Schlaghand optimale Bewegungen durchführen kann. Denn wie bereits bei den hockeyspezifischen Bewegungen, ist auch bei der Schlagdurchführung beim Boxen eine spezielle Bewegungskette zu beobachten, die sich über folgende Bewegungskette erstreckt „anterior geneigte und angespannte Hals-Schulter-Nackenregion – Brustwirbelsäule – gebeugte Armhaltung bis hin zur Handposition“.

In beiden Studien sind insbesondere im HWS- und BWS-Bereich eine Extension und Derotation durch Tragen eines individuell hergestellten Mundschutzes in zentrischer Kondylenposition erkennbar. Dies wirkt der spezifischen Grundaussgangsstellung beider Sportarten tendenziell eher entgegen, da sowohl beim Feldhockey als auch beim Boxen eine nach anterior geneigte Körperhaltung eingenommen wird.

Gefestigt wird diese Annahme insbesondere durch die Resultate der plantaren Druckverteilung in der Untersuchung mit den Boxern [8, 9], da durch den Mundschutz eine Gewichtsverlagerung innerhalb der boxspezifischen Offensivbewegungen nach posterior eingetreten ist. Bedingt durch typische Schlagabfolgen während des Boxens ist eine gleichmäßige Belastung der Fußsohle nicht möglich. Bei den Hockeyspielerinnen [7] hingegen ist beim Laufen und Stehen eine ausgeglichene Rechts-Links-Balance durch den individuellen Mundschutz zu verzeichnen. Diese asymmetrische Belastung kann sich entlang einer kaudal-kranialen Folgekette bis in das CMS auswirken, wobei der individuelle Mundschutz dem entgegenwirkt und eine gleichmäßige Veränderung beider Kieferrelationen bewahrt. Veränderungen im Faszienystem sind somit denkbar, die zu einer veränderten Körperspannung führen und die Belastung in Richtung Vorfuß auslösen [40].

Folglich ist es möglich, dass sich diese Veränderungen der Körperhaltung auf

die Präzision der spieltechnischen Ausführung der Hockey- bzw. Boxschläge auswirken.

In diesem Zusammenhang liegt die Diskrepanz dieser Resultate darin, dass durch das Tragen des individuell angepassten Mundschutzes zwar eine bessere Oberkörperstatik während der sportartspezifischen und -unspezifischen Bewegungssequenzen zu verzeichnen ist, da scheinbar geringere negative Einflüsse von kranial auf den Bewegungsapparat einwirken, dies jedoch den negativen Auswirkungen einer sportartspezifischen günstigen Bewegungsposition gegenüber steht.

Neben diesen beiden Studien mit Leistungssportlern beim Tragen eines individuell angefertigten Mundschutzes haben Ohlendorf et al. [10] bei männlichen Hockeyspielern einer 1. Bundesligamannschaft statische Untersuchungen hinsichtlich der dreidimensionalen Oberkörperstatik mit gleichem Untersuchungsdesign, nämlich neutrale Bissposition

- ohne Tragen eines Mundschutzes,
- mit Tragen eines konfektionierten sowie
- mit Tragen eines individuell hergestellten Mundschutzes,

durchgeführt. Nach statistischer Analyse zeigen sich in der Oberkörperstatik beim Stehen durch beide Mundschutze gegenüber der neutralen Messung Unterschiede. Diese sind zwar unabhängig von der Art der Herstellung, wobei die Resultate einzelner Parameter dennoch variieren. Ausgehend von der Oberkörperstatik ohne Tragen eines Mundschutzes wird deutlich, dass im Vergleich zum Tragen der beiden Mundschutze eine Verschlechterung der Oberkörperstatik eingetreten ist, wobei der konfektionierte Mundschutz vermehrt signifikante Veränderungen hervorgerufen hat. Dies ist insbesondere im Wirbelsäulenverlauf und im Schulterbereich zu erkennen. Dennoch verursacht der individuell hergestellte Mundschutz im Vergleich zur neutralen Ausgangsmessung ohne Mundschutz positivere Veränderungen der Oberkörperstatik als der konfektionierte Mundschutz, da die Daten des individuell hergestellten Mundschutzes denen der neutralen Messung annähernd gleichen.

Der Vergleich der Ergebnisse der statischen Oberkörpervermessung mit denen der dynamischen Messungen aus den anderen beiden Studien verdeutlicht, dass die statischen und dynamischen Resultate divergieren. So sollten ferner keine Schlussfolgerungen von statischen auf dynamische Veränderungen gezogen werden und umgekehrt.

### Dental-Power-Splint- bzw. Tiefziehschiene

Ob die Bewegungsqualität oder -quantität ausgewählter sportmotorischer Tests durch den Ad-hoc-Einfluss einer myozentrischen Bissposition, gehalten durch eine sog. Dental-Power-Splint (DPS)-Schiene nach Dr. Tschackert sowie einer konfektionierten Tiefziehschiene zu beeinflussen ist, analysieren Ohlendorf et al. [11] in einer weiteren Untersuchung. Es wird deutlich, dass eine ursprünglich in der Zahnmedizin Anwendung findende Schiene auch im sportmotorischen Bereich eingesetzt werden kann. Im Vergleich zur Ruhelage steigt gemäß dem jeweiligen sportmotorischen Test entweder die Qualität oder die Quantität der Bewegungsaufgabe. Dies ist insbesondere bei der DPS-Schiene im Vergleich zur konfektionierten Tiefziehschiene statistisch zu belegen. Der Vergleich zwischen den beiden Schienen verdeutlicht, dass auch die Art der Herstellung unterschiedliche Effekte hervorrufen kann. Eine weitere Untersuchung mit den beiden Schienen im Vergleich zur Ruhelage wurde hinsichtlich der posturalen Kontrolle durchgeführt [41]. Bei einem Vergleich der habituellen Okklusion gegenüber den beiden Okklusionsschienen reduziert sich die Varianz der Schwankungsbreite um den CoP bei geöffneten Augen zwischen 7 und 9%. Mit geschlossenen Augen reduziert sich ebenfalls durch das Tragen einer Schiene die Gleichgewichtsverteilung, d. h. die Abweichung des Mittelpunkts vom Körperlot (Tiefziehschiene 22%, DPS-Schiene 26%). Hinsichtlich des dynamischen Gleichgewichts sind jedoch Verschlechterungen durch das Tragen einer Schiene zu verzeichnen (13% DPS-Schiene, 30% konfektionierte Tiefziehschiene). Das dynamische Gleichgewicht wird gemessen, in dem durch die Messplatte extrem fei-

ne und schnelle Lageveränderungen provoziert werden, die ausbalanciert werden müssen und in 12 Schwierigkeitsniveaus unterteilt sind. Die Verschlechterungen durch die Schienen lassen folglich auf eine höhere Feinmodulation der neuen Informationen durch deren Einfluss schließen.

### Einfluss unterschiedlicher Aufbissbehelfe auf die Oberkörperstatik

Das Ziel einer weiteren Untersuchung von Ohlendorf et al. [42] mit jugendlichen Fußballern war es, den Einfluss zweier unterschiedlicher Aufbissbehelfe (Schienen) auf die Oberkörperstatik im Vergleich zu einer Kontrollgruppe zu untersuchen. Im Abstand von 3 Wochen wurden die Aufbissbehelfe in der Nacht und während des Trainings getragen. Der Gruppenvergleich ergab, dass sich innerhalb der 3 Wochen sowohl bei Ruhelage des Unterkiefers als auch beim Tragen des Aufbissbehelfs kaum Veränderungen der Oberkörperstatik belegen lassen. Lediglich ein signifikanter Unterschied der Beckenhöhe ist insbesondere zwischen den beiden Gruppen der Aufbissbehelfe zu verzeichnen. Während der individuell hergestellte Aufbissbehelf eine symmetrischere Beckenposition bewirkt, erzeugt der konfektionierte Aufbissbehelf eine asymmetrischere Beckenposition in der Frontalansicht. Generell scheint die Kieferstellung bei jugendlichen Athleten jedoch nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Oberkörperposition zu haben. Sowohl bei der Positionierung des Unterkiefers in zentrischer Relation mittels eines individuellen Aufbissbehelfs als auch bei der Sperrung der Okklusion durch einen konfektionierten Aufbissbehelf zeigen sich im Vergleich zur Kontrollgruppe kaum Unterschiede. So resultiert die Vermutung, dass der Trainingszustand von Jugendlichen die sensomotorische Kontrolle der Körperhaltung positiv beeinflusst und kranial absteigende Informationen derart ausbalanciert werden, dass dadurch die gemessenen Parameter der Oberkörperstatik nicht gravierend beeinträchtigt werden, auch nicht bei einer 3-wöchigen Tragezeit.

### Aufbissbehelfe bei HWS-Syndrom

In einer weiteren Längsschnittstudie von Friedrich et al. [14] ist der Einfluss einer 6-wöchigen Therapie mittels eines Aufbissbehelfs bei Patienten mit der Diagnose eines HWS-Syndroms sowie sekundären CMD-Beschwerden im Hinblick auf Veränderungen der Oberkörperstatik untersucht worden. Neben der Analyse der Körperstatik mittels des dreidimensionalen Rückenscanners ist auch eine manualmedizinische Untersuchung dieser zum Einsatz gekommen. Nachgewiesen wurden nur geringfügige Veränderungen durch die Therapie, die auf eine Umstrukturierung bzw. den Einfluss des Aufbissbehelfs auf das sensomotorische System hindeuten. Vorliegende Ergebnisse zeigen zusammengefasst unterschiedliche Resultate in beiden durchgeführten Untersuchungsverfahren. Die dreidimensionale Rückenscannung ergibt im Vorher-Nachher-Vergleich die meisten signifikanten Veränderungen im Bereich der Wirbelsäulenparameter. Dies zeigt sich unter neutralen Messbedingungen sowohl ohne als auch mit Tragen des Aufbissbehelfs. Bei der manualtherapeutischen Untersuchung sind v. a. bei der Schulterhöhe und -rotation genauso wie bei der Beckenrotation hinsichtlich der Beckenkammhöhe und der Beinlängendifferenz Veränderungen festzustellen. Die divergierenden Resultate zwischen der Rückenscannung und der manualmedizinischen Untersuchung lassen sich laut Vermutung der Autoren darauf zurückzuführen, dass mittels der Rückenscannung nur die oberflächliche Muskelstruktur erfasst und dargestellt wird, während die manualmedizinische Analyse direkt am Probanden durch Berührung erfolgt, die unter Umständen zu einer Veränderung der Muskelspannung bzw. -anspannung führen kann. Allerdings schlussfolgern die Autoren, dass eine 6-wöchige Tragedauer zu kurz ist und ausgeweitet werden sollte, um effektivere Therapieergebnisse zu erhalten [14].

Aus diesen Ergebnissen heraus ergibt sich die Frage nach den Kriterien zur Einstufung einer Verbesserung oder Verschlechterung eines okklusalen Einflusses durch einen Mundschutz bzw. einen Aufbissbehelf (Schiene) im Hinblick auf das



statische und dynamische Bewegungssystem.

Den vorliegenden Untersuchungsergebnissen entsprechend resultiert beim Tragen eines Mundschutzes im Bereich der HWS und BWS eine Extension kombiniert mit einer reduzierten Torsion. So bewegt sich der Oberkörper der Probanden aufgrund einer besseren Körperspannung und veränderten Muskelarbeitsweise neben einer Extension auch nach dorsal. In diesem Zusammenhang muss auch die jeweilige individuelle Körperhaltung beachtet werden, da diese entlang kranial wirkender Funktionsketten ebenfalls auf den Status des CMS einwirken kann. Je aufrechter sie ist, desto größer ist das funktionelle Gleichgewicht zwischen der Ausrichtung der Körpersegmente und der Muskelaktivität an den Gelenken.

## Muskeltonusveränderung

In Ruhelage nimmt der Unterkiefer unbewusst eine Abstandshaltung zum Oberkiefer ein, bei der ein Großteil der Kaumuskulatur entspannt ist. Nach Aussagen der Probanden der Studien mit den Hockeyspielerinnen und den Boxern [8, 7, 9, 16] hat die Okklusion bei Durchführung der Bewegungsabläufe ohne Mundschutz einen maximalen Vielkontakt, d. h. die Kauflächen der Oberkieferzähne haben den geringsten Abstand zu denen des Unterkiefers. Dies kann sich traumatisierend auf die Kaumuskulatur und/oder die Kiefergelenke auswirken (beispielsweise bei Dysgnathien oder fehlerhaften Restaurationen), sodass in diesem Fall der Muskeltonus bei verstärkter isotonischer Muskelbeanspruchung erhöht ist und Mehrarbeit verrichten muss. Durch die Kombination aus aktiven Streckreflexantworten und passiven Kräften der Viskoelastizität des perioralen Weichgewebes wird auch bei verschiedenen Bewegungssituationen, in denen rasche Kopfbewegungen stattfinden, die Kiefergelenkposition aufrecht gehalten [5, 3, 4, 67].

Das Tragen eines Mundschutzes kann somit auch zu einer Reduzierung des Muskeltonus führen, was sich kaudal entlang absteigender Muskelketten auf den restlichen Bewegungsapparat auswirkt. Durch den konfektionierten, aber auch den individuell hergestellten Mundschutz

gelingt es dem Körper, eine Position näher am Lot einzuhalten, was folglich eine ökonomischere muskuläre statische Haltearbeit garantiert.

## » Durch den Mundschutz gelingt dem Körper eine Position näher am Lot

Eine Körperhaltung nahe dem Lot sichert ebenfalls die beste Stellung für das Kiefergelenk. Jede Form der Verdrehung oder Abweichung von der Ideallinie hat auch eine Stellungsänderung des gesamten CMS sowie entsprechende kompensatorische Veränderungen des Muskelgelenk-Bandsystems zur Folge. Der Kopf wird unwillkürlich so gehalten, dass die Okklusion am besten subjektiv gefühlt zusammenpasst und diesbezüglich die CMS-Muskulatur bei der Stabilisierung des Kopfes mitwirkt.

## Individuell hergestellter Mundschutz

Eine konfektionierte bzw. individuelle Schiene stabilisiert zudem die Okklusion, wodurch sich eine bessere Bewegungsdurchführung aufgrund reduzierter Störgrößen innerhalb des CMS ergibt [34, 43, 36, 65]. Es kommt einerseits zur Bissperrung und andererseits zu einer veränderten Unterkieferposition, die sich auf die Bewegungsmobilität der Wirbelsäule auswirkt [43, 44].

Auch beim Stehen löst die Herstellungsart des Mundschutzes unterschiedliche Reaktionen in der Oberkörperstatik aus. So scheint die Kieferstellung eine Veränderung der Oberkörperposition auszulösen [11]. Durch den individuell hergestellten Mundschutz wird das Kiefergelenk in eine Position gebracht, in der es sich in zentrischer Kondylenposition befindet. Der konfektionierte Mundschutz der Spieler wird demgegenüber durch das Boil-and-bite-Verfahren in habituellem Bissposition (gewöhnheitsmäßig eingenommener Zusammenbiss ohne Bewegungen des Unterkiefers) hergestellt. Allein die vertikale Bissperrung des konfektionierten Mundschutzes verursacht im Vergleich zur neutralen Bissposition negative Auswirkungen auf die Oberkörperstatik.

Durch die Sperrung und Positionierung des Kiefers in zentrischer Position treten geringere negativere Auswirkungen gegenüber dem konfektionierten Mundschutzes im Vergleich zur neutralen Okklusion auf.

Es resultiert die Vermutung, dass durch die Bissperrung der Mundschutze sowohl muskuläre als auch biomechanische Veränderungen des sagittalen Bewegungsverhaltens des Unterkiefers ausgelöst werden, die bei Mundöffnung entlang veränderter Schwerkraftvektoren neurophysiologisch gesehen sowohl Muskellänge als auch Muskelarbeit des CMS sowie der Nackenmuskulatur beeinflussen. Dies ist in den Studien, in denen ein Mundschutz eingesetzt wurde [7, 8, 9, 11, 15], zu erkennen. Beim Ausmaß der Tonusänderung kann wiederum die entstehende Kontaktkraft infolge des Zusammenbeißen bedeutsam sein. Dies ergibt sich aus der Beißkraft der einzelnen Testpersonen, wobei neben der Höhe und dem Kauflächenrelief der Schiene auch individuelle Faktoren, wie beispielsweise Geschlecht, Tagesverfassung, Ausprägung der Kaumuskulatur und Art der Verzahnung, eine wichtige Rolle spielen. Veränderungen der Bissebene können unmittelbar zu einer Seitneigung der HWS führen [46]. Asymmetrische Kontraktionsmuster verursachen innerhalb der Wirbelsäule eine rechts-/linksseitige Abweichung, da sich die größere Muskelaktivität auf der belasteten Seite entwickelt. Veränderungen im CMS wirken sich auf die Muskel-Band-Sicherung des gesamten menschlichen Organismus aus, infolgedessen sich eine Muskelatrophie bzw. ein verminderter oder aber auch erhöhter Muskeltonus einstellen kann. Dieser führt wiederum über neurophysiologische Vorgänge zu Dysfunktionen im Mund- und Gesichtsbereich.

Im Umkehrschluss kann aber auch über den Sportmundschutz eine Harmonisierung orofazialer Muskeldysfunktionen eintreten, die sich positiv über die Kopf-/Halsregion auf die gesamte Körperhaltung auswirkt und eine Aufrichtung der Körperhaltung hervorruft.

Eine längere Tragedauer insbesondere des individuell angepassten Mundschutzes würde möglicherweise zu einer entsprechenden Angleichung des aktiven Be-

wegungsapparats führen, sodass implizit Verbesserungen der Gewichtsverteilung bzw. -verlagerung resultieren könnten.

Auch Arent et al. [45] haben einen Vergleich zweier unterschiedlich hergestellter Mundschutze (neuromuskulärer zahnmedizinisch hergestellter Mundschutz vs. speziell angepasster Mundschutz) hinsichtlich vertikaler Sprünge, Bankdrückens und eines speziellen Fitnessstestes untersucht. Trotz keiner signifikanten Unterschiede empfehlen die Autoren, einen zahnmedizinisch hergestellten Mundschutz zu tragen, der über neuromuskuläre Veränderungen die Leistung und die maximalen Wiederholungen beim Bankdrücken geringfügig verbessert. Des Weiteren gehen Newsome et al. [47] davon aus, dass mit steigender Professionalität bei der Mundschutzherstellung auch die dessen Benutzung steigt.

### » Der Mundschutz kann eine Harmonisierung orofazialer Muskeldysfunktionen bewirken

Schlussfolgerungen hinsichtlich der spieltechnische Ausführung bzw. der sportmotorischen Leistung der Hockey- bzw. Boxschläge, aber auch im Hinblick auf die Formulierung von Kriterien zur Bewertung positiver bzw. negativer Effekte bezüglich des individuell hergestellten Mundschutzes der Studien 4 und 5 wären zum derzeitigen Wissensstand daher eher spekulativ. Für eine Veränderung der Technik oder eine Steigerung der sportlichen Leistung sind jedoch mehr Aspekte notwendig. Fakt ist lediglich, dass im gesamten Oberkörper muskuläre Kompensationsreaktionen sichtbar werden, deren Effekte in einer veränderten Oberkörperstatik und Oberkörperdynamik, aber auch geringfügig im Abrollverhalten messtechnisch erfassbar sind.

Dies führt zu der Vermutung, dass es aufgrund individueller Faktoren durch die verschiedenen Mundschutze zu gewissen Stellungsänderungen innerhalb einzelner Abschnitte der Wirbelsäule kommt, woraus sich jedoch kein eindeutiges Muster in Verbindung mit der Art des Mundschutzes herleiten lässt. Letztendlich scheint für jeden Probanden beim Tragen des Mundschutzes die Prävention des Kausystems

von primärer Bedeutung zu sein, während die Wahrung der Haltusstabilität für sie nur von sekundärer Bedeutung ist, was sich dann wiederum in entsprechenden Modifikationen des Haltungs- und Bewegungssystems projiziert. Dies bestätigt die Theorie, dass durch eine Fehlstatik der Okklusion eine kranial-kaudale Dysfunktion des Halteapparates im Sinne einer kranial-kaudalen Folgekette entstehen kann [48, 49, 66]. Das Tragen eines individuell hergestellten Mundschutzes ist zu empfehlen, wenn bereits Dysfunktionen im CMS vorherrschen. So können bereits durch diese geringe kieferorthopädische Maßnahme mögliche negative Effekte, die sich von kranial nach kaudal auf die Bewegung auswirken könnten, abgefangen werden. Wenngleich die Formulierung von Kriterien zur Bewertung positiver bzw. negativer Effekte eines Mundschutzes aus den vorliegenden Resultaten eigener Studien zum derzeitigen Wissensstand nicht möglich sind, sollten die subjektiven Beurteilungen dieses jedoch nicht außer Acht lassen. Die Spieler beschreiben beim Tragen ihres individuell hergestellten Mundschutzes unter Belastung ein angenehmes Tragegefühl. Sie können während des Spiels besser atmen und kommunizieren, ohne diesen aus dem Mund zu nehmen und somit aufgrund schlechten Luftholens oder der Konzentration, den Mundschutz mit den Zähnen festzuhalten (insbesondere beim Feldhockey), kurzzeitig vom Spielgeschehen abgelenkt zu sein.

Durch den individuell hergestellten Mundschutz im Vergleich zur normalen Bissposition resultieren in der Körperstatik [10] sowie bei der funktionellen Wirbelsäulenstellung bei sportartbezogenen Bewegungen beim Feldhockey oder Boxen zwar Verschlechterungen, dennoch muss berücksichtigt werden, dass bei einem solchem Leistungsniveau, wie es bei den Probanden dieser Studien der Fall ist, die präventive Komponente des Mundschutzes unerlässlich ist [50–56] und im Sinne der Prävention immer weiterentwickelt werden muss [57]. So sollte bei der Anschaffung eines Mundschutzes eher auf einen individuell hergestellten Mundschutz in zentrischer Kondylenposition zurückgegriffen werden, da sich hier im Vergleich zu einem konfektionierten Mundschutz geringere negative Ver-

änderungen der Statik gegenüber der Ausgangsposition ergeben. Dies wird durch die subjektive Einschätzung der Spieler aufgrund eines angenehmeren Tragegefühls unterstützt. Negative Auswirkungen sind jedoch weniger denkbar [58]. Zu ähnlichen Erkenntnissen beim Vergleich eines angepassten Mundschutzes gegenüber eines Boil-and-bite-Mundschutzes kommen auch Duddy et al. [69], Arent et al. [45] und Newsome et al. [47].

Trotz gleicher Herstellungsweise des individuell hergestellten Mundschutzes [8, 16] und dem Aufbissbehelf der CMD-Patienten [14, 42] korrelieren diese Resultate nicht miteinander. Trotz gleicher Herstellungsweise ist der Unterschied zwischen einem Mundschutz und einem Aufbissbehelf zum einen in der Dicke der Schiene (Mundschutz =5 mm, Aufbissbehelf =1,5 mm) und zum anderen in der Härte des Materials zu finden. Während der Mundschutz aus weichem flexiblem Material besteht, ist ein Aufbissbehelf aus hartem unverformbarem Material angefertigt. Letztere Untersuchungen sind Längsschnittstudien, in der CMD-Patienten bzw. Patienten mit HWS-Syndrom und CMD im Rahmen einer 3-monatigen bzw. 6-monatigen Therapie mithilfe eines Aufbissbehelfs behandelt wurden. Es waren jedoch nahezu keine Veränderungen der Oberkörperstatik zu beobachten. In der Studie mit den CMD-Patienten [14] sind lediglich gegenüber einer Kontrollgruppe Signifikanzen zu belegen, die sich am Ende des Untersuchungszeitraums verringert haben. Die Statik der CMD-Patienten hat sich der der Kontrollgruppe angeglichen. Auch bei den HWS-Syndrom-Patienten [14] zeigen sich nur geringe Verbesserungen der Oberkörperstatik. Diese geringen Differenzen der CMD-Patienten nach 3-monatiger und der HWS-Patienten nach 6-wöchiger Therapie mittels eines Aufbissbehelfs weisen darauf hin, dass die Körperhaltung ein aktives Produkt ist und der Prozess der Haltungsveränderung durch das sensomotorische System noch andauert. Da sich die Beschwerden der Teilnehmer schon im menschlichen Organismus manifestiert haben, ist eine Tragedauer von 3 Monaten bzw. 6 Wochen bei den hier untersuchten Teilnehmern noch nicht ausreichend, um messtechnische aussagekräftige Verän-

derungen der Oberkörperstatik hervorzurufen.

Den Studienresultaten der Untersuchungen, in denen bei gesunden Erwachsenen die Okklusion mittels Silikonplättchen bzw. Watterollen gesperrt wurde, sowie bei den Studien mit Mundschutz stehen die Ergebnisse der Studien gegenüber, in denen die Okklusion bei Leistungssportlern systematisch gesperrt wurde. Hier führt eine temporäre Okklusionssperrung (symmetrisch und asymmetrisch mit 1 bzw. 2 mm dicken Silikonplättchen) bei Leistungssportlern (Handballspieler) zu keinen Veränderungen der posturalen Kontrolle und der plantaren Druckverteilung beim Laufen sowie zu sehr geringen Auswirkungen auf die Oberkörperstatik. Sie scheinen trotz unterschiedlicher okklusaler Bisspositionen ihre Bewegungsmuster konstant aufrecht zu halten, was auf sehr schnelle neurophysiologische Körperreaktionen schließen lässt. Ein asymmetrischer Aufbiss, der infolge der Silikonplättchen zu einer „schiefen“ dysgnathen Krafteinleitungsebene führt, löst keine Veränderungen der Gleichgewichtsregulation, des Abrollverhaltens oder der Körperstatik aus. Die selbstregulierenden Kontrollmechanismen, die einer zentralnervösen Steuerung unterliegen, scheinen bei Leistungssportlern eine sehr schnelle, ökonomische und funktionelle Anpassung, möglicherweise auch allein auf segmentaler Ebene, an die neue Bedingung auszulösen, sodass diese messtechnisch nicht aufgezeichnet werden kann. Zudem ist eine positive Wirkung des Trainingszustandes auf die sensomotorische Kontrolle der Körperhaltung denkbar [6, 59, 60, 68]. Ferner unterscheiden sich Leistungssportler von eher an „Breitensport“ orientierten Menschen dahingehend, dass sie andere physiologische Adaptationsprozesse ihres Organismus haben, die v. a. an der skeletalen und muskulären Ausprägung des aktiven Bewegungsapparates sichtbar werden. Dies kann ein Grund dafür sein, dass sich in diesen Untersuchungen im Gegensatz zu Studien von Saito et al. [61], Cuccia und Caradonna [62], Herget et al. [63, 64], Obert et al. [29] oder Seebach [22] keine Belege für Effekte einer veränderten Bissposition auf die Oberkörperstatik nachweisen lassen.

## Fazit für die Praxis

- Die Okklusion stellt einen dominanten Faktor dar und nimmt entlang kaudaler Funktionsketten Einfluss auf das Bewegungssystem in Statik und Dynamik. Dabei folgen die Effekte nicht dem Prinzip einer linearen Wirkungskette.
- Okklusale Veränderungen wurden in den vorliegenden Untersuchungen simuliert oder Fehlokklusionen durch ein Aufbissbehelf (Schiene) oder Mundschutz korrigiert. In diesem Zusammenhang ist zu erkennen, dass vielfältige, regulative und kompensatorische Wechselwirkungen zwischen dem CMS und anderen Körpersystemen aktiv sind.

## Korrespondenzadresse

### Dr. D. Ohlendorf

Zentrum für Gesundheitswissenschaften, Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt Theodor-Stern-Kai 7, Haus 9b, 60590 Frankfurt a.M.  
ohlendorf@med.uni-frankfurt.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** D. Ohlendorf gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

1. Schiebeler TH (2005) Anatomie, Bd 9. Springer, Berlin
2. Netter FH (2000) Atlas der Anatomie des Menschen. Thieme, Stuttgart
3. Miles TS (2007) Postural control of the human mandible. Arch Oral Biol 52(4):347–352
4. Miles TS, Flavel SC, Nordstrom MA (2004) Stretch reflexes in the human masticatory muscles: a brief review and a new functional role. Hum Mov Sci 23(3–4):337–349
5. Flavel SC, Nordstrom MA, Miles TS (2003) Postural stability of the human mandible during locomotion. J Biomech 36(6):759–764
6. Laube W (2009) Sensomotorisches System. Thieme, Stuttgart
7. Garcia N (2014, unpub.) Auswirkungen eines Hockeymundschutzes auf das Bewegungsverhalten der Wirbelsäule und die plantare Druckverteilung beim Hockey. Medizinische Dissertation, Frankfurt

8. Ohlendorf D, Moini A, Mickel C et al (2012) Effekte eines Sportmundschutzes auf die Wirbelsäulenstellung und die plantare Druckverteilung beim Boxen. Z Präventiv Gesundheitsf 7:256–265
9. Moini A (2013) Auswirkungen eines Hockeymundschutzes auf das Bewegungsverhalten der Wirbelsäule und die plantare Druckverteilung beim Boxen. Medizinische Dissertation, Frankfurt
10. Ohlendorf D, Riegel M, Kopp S (2012) Auswirkung von Veränderungen der Unterkieferlage auf die Bewegungsqualität in sportmotorischen Tests. Man Med 1:43–49
11. Ohlendorf D, Preis C, Collot P et al (2012) Vergleich zweier verschiedener Sportmundschutze im Hinblick auf die Oberkörperstatik. Dtsch Z Sportmed 63:173–180
12. Ohlendorf D, Arenz E, Brückner D et al (2013) Kurzzeiteffekte einer temporär erzeugten Okklusionsveränderung auf die posturale Kontrolle bei männlichen Leistungssportlern. Schweiz Z Sportmed 1:161–166
13. Pary K, Kemper S, Ohlendorf D et al (2009) Der Einfluss experimentell herbeigeführter okklusaler Aufbissveränderungen auf das Körpergleichgewicht und die Fußdruckverteilung. Quintessenz 3:315–322.
14. Friedrich F, Ohlendorf D, Bollwein H et al (2013) Korrelationen zwischen einem Aufbissbehelf und der Oberkörperstatik bei Patienten mit HWS-Syndrom. Dtsch Zahnärztl Z 68: 540–548
15. Ohlendorf D, Garcia N, Turbanski S et al (2014) Auswirkungen eines Sportmundschutzes auf die funktionelle Wirbelsäulenstellung beim Feldhockey. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 12:16–20
16. Ohlendorf D, Turbanski S, Kopp S, Piwowarczyk A (2011) Effects of a temporary asymmetrical occlusion blocking on the upper part of the body posture. J Craniomandib Funct 4:293–308
17. Arenz E (2014, unpubl.) Effekte einer Okklusionssperrung auf Oberkörperstatik, posturale Kontrolle und plantare Druckverteilung bei Leistungssportlern. Medizinische Dissertation, Frankfurt
18. Ohlendorf D, Lehmann C, Heil D et al (2014) The impact of a total hip replacement on jaw position, upper body posture and body sway. Cranio 2:215
19. Lindel K (2010) Muskeldehnung: Grundlagen, Differenzialdiagnostik, therapeutische Dehnungen, Eigendehnungen. Springer, Berlin
20. Trepel M (2004) Neuroanatomie, Bd 3. Urban & Fischer Verlag, München
21. Kemper S (2011) Einfluss manipulierter Okklusionspositionen auf die plantare Druckverteilung beim Gehen. Medizinische Dissertation, Frankfurt
22. Seebach K (2012) Funktionelle Zusammenhänge zwischen habitueller beziehungsweise manipulierter Okklusionsposition und Oberkörperhaltung. Medizinische Dissertation, Frankfurt
23. Klinker R, Pape HC, Kurtz A, Silbernagel S (2010) Physiologie, 6. Aufl. Thieme, Stuttgart
24. Prodingler-Glöckl D (2013) CMD in der Osteopathie. Thieme, Stuttgart
25. Christensen LV, Rassouli NM (1995) Experimental occlusal interferences. Part II. Masseteric EMG responses to an intercuspal interference. J Oral Rehabil 22(7):521–531
26. Roßbach A, Tschernitschek H (1994) Unilaterale Okklusionsstörungen im Oberflächenelektromyogramm. Dtsch Zahnärztl Z 49:239–241
27. Kobayashi Y, Hansson T (1988) Occlusal correction in the human. Phillip J Restaur Zahnmed 5(6):255–261

28. Obert M (2010) Auswirkung einer temporär provozierten Okklusionsstörung auf den funktionellen Bewegungsraum der Wirbelsäule. Medizinische Dissertation, Frankfurt am Main
29. Obert M, Ohlendorf D, Kopp S (2010) Okklusionsstörungen und Auswirkungen auf den funktionellen Bewegungsraum der Lendenwirbelsäule. *Man Med* 50(4):124–131
30. Schiebler TH (2003) Anatomie, Bd 8. Springer, Berlin
31. Platzer W (2003). Taschenatlas der Anatomie. Band 1: Bewegungsapparat. Georg Thieme Stuttgart
32. Ferrario VF, Sforza C, Dellavia C, Tartaglia GM (2003) Evidence of an influence of asymmetrical occlusal interferences on the activity of the sternocleidomastoid muscle. *J Oral Rehabil* 30(1):34–40
33. Kibana Y, Ishijima T, Hirai T (2002) Occlusal support and head posture. *J Oral Rehabil* 29(1):58–63
34. Sforza C, Tartaglia GM, Solimene U (2006) Occlusion, sternocleidomastoid muscle activity, and body sway: a pilot study in male astronauts. *Cranio* 24(1):43–49
35. Platzer W (2003) Taschenatlas der Anatomie, Bewegungsapparat, Bd 1. Thieme, Stuttgart
36. Piekartz HJM von (2005) Kiefer-, Gesichts- und Zervicalregion: Neuromuskuloskeletale Untersuchung, Therapie und Management. Thieme, Stuttgart
37. Beyer L (2009) Das tonische motorische System als Zielorgan manueller Behandlungstechniken. *Man Med* 47(2):99–106
38. Becker-Wernet H (2004) Zwischen Funktionsgymnastik und Boxen. Grin Verlag, München
39. Kittel R, Misch K, Schmidt M et al (2005) Boxartspezifische Auswirkungen auf funktionelle Parameter des Bewegungsapparats. *Sportverletz Sportschaden* 19(3):146–150
40. Myers TW (2010) Anatomy Trains Myofasziale Leitbahnen. Urban & Fischer Verlag, München
41. Ohlendorf D, Riegel M, Chung TL, Kopp S (2013) The significance of lower jaw position in relation to postural stability – comparison of a pre-manufactured occlusal splint with the Dental Power Splint. *Gazetta Medica Stomatologica* 62(11–12):409–417
42. Ohlendorf D, Weyer K, Lohmeier T et al (2013) Einfluss zweier Aufbissbehelfe auf die Oberkörperstatik jugendlicher Fußballspieler. *Man Med* 51(3):238–243
43. Daly P, Preston CB, Evans WG (1983) Postural response of the head to bite opening in adult males. *Am J Orthod* 82(2):157–160
44. Fink M, Tschertschek H, Wähling K (2004) Einfluss okklusaler Veränderung auf die Funktion der Wirbelsäule. *ZWR* 113(7):314–321
45. Arent SM, McKenna J, Golem DL (2010) Effects of a neuromuscular endurance designed mouthguard on muscular endurance and anaerobic power. *Comparative Exercise Physiology* 7(2):73–79
46. Shimazaki T, Motoyoshi M, Hosoi K, Namura S (2003) The effect of occlusal alteration and masticatory imbalance on the cervical spine. *Eur J Orthod* 25(5):457–463
47. Newsome PRH, Tran DC, Cooke MC (2001) The role of the mouthguard in the prevention of sports-related dental injuries: a review. *Int J Paediatr Dent* 11(6):396–404
48. Kopp S, Friedrichs A, Pfaff G, Langbein U (2003) Beeinflussung des funktionellen Bewegungsraumes von Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule durch Aufbissbehelfe. *Man Med* 41(1):39–51
49. Lotzmann U (1998) Die Prinzipien der Okklusion. Eine Einführung in das okklusionsgerechte Arbeiten. Neuer Merkur Verlag, München
50. Bemelmans P, Pfeiffer P (2000) Häufigkeit von Zahn-, Mund- und Kieferverletzung und Bewährung von Mundschutten bei Spitzensportlern. *Sportverletz Sportschaden* 14(4):139–143
51. Biasca N, Lovell MR, Collins MW et al (2006) Die unerkannte Hirnverletzung im Sport: Das leichte Schädel-Hirn-Trauma und seine Folgen. Teil 2. *Schweiz Med Forum* 6:121–128
52. Chapman PJ (1990) Orofacial injuries and international rugby players' attitudes to mouthguards. *Br J Sports Med* 24(3):156–158
53. Cohenca N, Roges RA, Roges R (2007) The incidence and severity of dental trauma in intercollegiate athletes. *J Am Dent Assoc* 138(8):1121–1126
54. Knapik JJ, Marshall S, Lee RB et al (2007) Mouthguards in sport activities: history, physical properties and injury prevention effectiveness. *Sports Med* 37(2):117–144
55. Singh GD, Maher GJ, Padilla R (2009) Customized mandibular orthotics in the prevention of concussion/mild traumatic brain injury in football players: a preliminary study. *Dent Traumatol* 25(5):515–521
56. Yamada T, Sawaki Y, Tomida S et al (1998) Oral injury and mouthguard usage by athletes in Japan. *Dent Traumatol* 14(2):84–87
57. Winters JE (2001) Commentary: role of properly fitted mouthguards in prevention of sport-related concussion. *J Athl Train* 36(3):339–341
58. Cetin C, Keçeci AD, Erdoğan A, Baydar ML (2009) Influence of custom-made mouth guards on strength, speed and anaerobic performance of taekwondo athletes. *Dent Traumatol* 25(3):272–276
59. Betram AM, Laube W (2008) Sensomotorische Koordination. Thieme, Stuttgart
60. Hüter-Becker A (2005) Bewegungsentwicklung Bewegungskontrolle. Das neue Denkmodell in der Physiotherapie, Bd 2. Thieme, Stuttgart
61. Saito ET, Akashi PM, Sacco IC (2009) Global body posture evaluation in patients with temporomandibular joint disorder. *Clinics* 64(1):35–39
62. Cuccia A, Caradonna C (2008) The relationship between the stomatognathic system and body posture. *Clinics* 64(1):61–66
63. Hergert A, Ohlendorf D, Berndsen K, Kopp S (2010) Face-Former-Therapie- In welchem Trainingsintervall sind die besten Auswirkungen auf die Oberkörperhalter zu beobachten? *ZMK* 11(4):708–716
64. Hergert A, Ohlendorf D, Kopp S (2012) Auswirkungen der Face-Former-Therapie auf die Oberkörperstatik. *Man Med* 50(3):204–210
65. Vig PS, Showfety K, Phillips C (1980) Experimental manipulation of head posture. *Am J Orthod* 77(3):258–268
66. Kopp S, Friedrichs A, Pfaff G, Langbein U (2003) Beeinflussung des funktionellen Bewegungsraumes von Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule durch Aufbissbehelfe. *Man Med* 41(1):39–51
67. Flavel SC, Nordstrom MA, Miles TS (2003) Postural stability of the human mandible during locomotion. *J Biomech* 36(6):759–764
68. Peterka RJ, Loughlin P (2004) Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 91(1):410–423
69. Duddy FA, Weissman J, Lee RA et al (2012) Influence of different types of mouthguards on strength and performance of collegiate athletes: a controlled-randomized trial. *Dent Traumatol* 28(4):263–267

## Radontherapie gegen chronische Schmerzen

Radon-Behandlungsserien haben eine positive Wirkung auf die Schmerzsituation von Patienten mit chronischen Schmerzen. Dies zeigten Wissenschaftler der Universität Leipzig und der Universität Zwickau bei der internationalen randomisierten multi-zentrischen Radon-Studie (IMuRa-Studie). Weiterhin fanden die Wissenschaftler, dass bei einer Radon-Therapie die Einnahme von Analgetika während des Nachbeobachtungszeitraum von 9 Monaten reduziert werden konnte.

An der IMuRa-Studien nahmen 653 Patienten teil, die an chronischen Rückenschmerzen mit degenerativer Pathologie oder Osteoporose, Arthrose des Hüft- und/oder Kniegelenks, rheumatoider Arthritis oder an Spondylarthropathien litten. Die Therapie bestand aus wahlweise 12 Radonbädern im Verlauf von 3-4 Wochen bzw. in der Kontrollgruppe mit Leitungswasserbädern oder 10 Einfahrten bei der Stollen-Therapie innerhalb von 3 Wochen bzw. Einfahrten in Dampfäder.

Die Ergebnisse der Studie könnten dazu führen, dass Radontherapien zukünftig auch im Rahmen der ambulanten Versorgung von gesetzlichen Krankenversicherungen erstattet werden. Denn bisher werden sie im deutschen Gesundheitssystem nur als stationäre Reha-Maßnahme akzeptiert, da sie nicht als eigenständig Behandlungsoption in der deutschen Heilmittel-Richtlinie enthalten ist.

Literatur: Franke A, Franke T (2013) Long-term benefits of radon spa therapy in rheumatic diseases: Results of the randomised, multi-centre IMuRa trial. *Rheumatol Int* 33: 2839-2850

Quelle: Euradon - Verein Europäische Radonheilbäder e. V., [www.euradon.de](http://www.euradon.de)