

T. Weggen¹, H. J. Schindler², A. Hugger³

Effects of myocentric vs. manual methods of jaw position recording in occlusal splint therapy – a pilot study

Myozentrische vs. handgeführte Kieferrelation in der Okklusionsschientherapie – eine Pilotstudie

- ¹ Tjerk Weggen, niedergelassener Zahnarzt, Berlin
- ² Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, niedergelassener Zahnarzt, Karlsruhe
- ³ Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

- ¹ Tjerk Weggen, Dental Practice, Berlin, Germany
- ² Prof. Dr. med. dent. Hans-Jürgen Schindler, Dental Practice, Karlsruhe, Germany
- ³ Prof. Dr. med. dent. Alfons Hugger, Department of Prosthodontics, Westdeutsche Kieferklinik, Heinrich Heine University, Duesseldorf, Germany

Zusammenfassung

Okklusionsschienen sind ein zentrales Element in der CMD-Therapie. Über den Einfluss TENS-unterstützter (myozentrischer) Kieferrelations-Bestimmungsmethoden auf den Therapieeffekt wurde bislang nur wenig berichtet. Im Rahmen einer randomisierten klinischen Studie wurden 40 Patienten mit myofaszialen Schmerzen der Kiefermuskulatur mit Okklusionsschienen behandelt, die in bimanuell geführter Zentrik (Michigangruppe, n = 20) oder in myozentrischer Kieferrelation (Myozentrikgruppe, n = 20) hergestellt wurden. Anhand des Schmerzverlaufs und mittels RDC/TMD (Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders)-Untersuchungen wurden die Therapieeffekte nach vier und zwölf Wochen reevaluiert. Das Ausmaß der Unterkieferlageveränderung wurde mithilfe kondyloметриscher Messungen sowie unter Anwendung eines Magnetkinesiographen ermittelt und mit einem gesunden Kontrollkollektiv verglichen. Nach

Abstract

Occlusal splint therapy is a central element of the treatment of temporomandibular disorders (TMD). However, little has been reported about the effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)-based methods of myocentric jaw position recording on the effect of splint therapy. In this randomized clinical trial, 40 patients with myofascial pain of the jaw muscles were treated with occlusal splints fabricated using bimanual manipulation (Michigan group, n = 20) or myocentric jaw position recording (myocentric group, n = 20) for determination of centric vs. myocentric relation. Therapeutic effects were evaluated based on the change in pain symptoms and the Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (RDC/TMD) procedure after 4 and 12 weeks of treatment. The extent of change in mandibular position was determined by condylometry measurements and magnetic kinesiography as well as by comparison with a healthy control group. Twelve weeks of

wearing the respective splints at night resulted in the significant relief of symptoms in both groups, as determined based on subjective pain reports and visual analog scale (VAS) scores. Group comparison revealed that the VAS scores were significantly lower in the myocentric group. Myocentric positioning of the mandible led to mandibular position changes of similar extent in TMD patients and healthy controls. The use of TENS to establish myocentric relation for splint therapy is therapeutically effective and achieves a greater reduction in pain. Furthermore, TENS treatment alone also has a significant pain-relieving effect.

Keywords: *condylar position, jaw relation, Michigan splint, myocentric relation, occlusal splint, positioning, pain reduction, treatment effect*

Introduction

Occlusal splint therapy is one of the most commonly used methods for treatment of painful TMD, or myoarthropathic syndrome¹. The role of jaw position recording as a modality for establishing the therapeutic jaw position for splint therapy has been a subject of repeated controversy in the past. The Myo-Monitor[®] method of establishing the neuromuscular jaw position was described by Jankelson and Swain in 1972, but has not found widespread acceptance so far². The Myo-Monitor[®] induces selective relaxation of the masticatory muscles by means of low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). The system enables neuromuscular registration of the relationship of the mandible to the cranium in centric relation, which is thus referred to as the myocentric relation. This myocentric position can be used as the therapeutic position for occlusal splints.

According to the current understanding, microtrauma and muscle fatigue are generally presumed to be the main peripheral triggers of myofascial pain in patients affected by TMD. It is assumed that local overload triggers nociceptive pain, the pathological basis of which is microtrauma and local ischemia³. A commonly associated problem is reduced jaw mobility, which is regarded as an adaptive reflex mechanism that serves to protect the involved anatomical structures⁴. The reduction of load in the painful muscle regions is thought to be one of the reasons for the pain-relieving effect of occlusal splints. It is assumed that the splint-induced change in position of the mandible contributes to the reorganization of muscle function patterns, thereby resulting in a reduction of load on the painful muscle areas¹.

zwölf Wochen nächtlichen Schienetragens zeigten beide Gruppen eine signifikante Beschwerdereduktion im subjektiven Schmerzreport und auf der visuellen Analogskala (VAS). Im Gruppenvergleich zeigte jedoch die Myozentrikgruppe signifikant niedrigere VAS-Werte. Myozentrische Unterkieferpositionierungen führten bei Patienten und Probanden zu Unterkieferlageveränderungen ähnlichen Ausmaßes. Der Einsatz TENS-induzierter Unterkieferpositionierungen bei der Schientherapie ist therapeutisch effektiv und lässt größere Reduktionen bei den Schmerzparametern erkennen. Auch die isolierte TENS-Stimulation zeigte eine signifikante schmerzhemmende Wirkung.

Indizes: *Kondylenposition, Kieferrelation, Michigan-schiene, Myozentrik, Okklusionsschiene, Positionierung, Schmerzreduktion, Therapieeffekt*

Einleitung

Bei der Therapie schmerzhafter Myoarthropathien (CMD) kommen Okklusionsschienen als eines der am häufigsten verwendeten Therapiemittel zur Anwendung.¹ Die Rolle der Kieferrelationsbestimmung zur Ermittlung der therapeutischen Bisslage wurde für dieses Therapiemittel in der Vergangenheit immer wieder kontrovers diskutiert. Eine bislang wenig verbreitete Form der Kieferrelationsbestimmung ist das 1972 von Jankelson und Swain beschriebene Myo-Monitor[®]-Verfahren². Die dabei durch niederfrequente TENS-Impulse (TENS = transkutane Elektroneurostimulation) erzielte Relaxation der Kau-muskulatur wird zur Registrierung einer neuromuskulär determinierten, zentrischen Lage der Mandibula zum Kraniaum, der sogenannten Myozentrik, herangezogen und kann als therapeutische Okklusionsschienenposition genutzt werden.

Als periphere Auslöser des myofaszialen Schmerzes werden nach heutiger Auffassung vor allem das Mikrotrauma und die Muskelermüdung vermutet. Dabei geht man von dem durch lokale Überlastung hervorgerufenen Nozizeptorschmerz aus, dessen pathophysiologische Grundlage das Mikrotrauma und die lokale Ischämie bilden.³ Die hierbei häufig zu beobachtende Einschränkung der Kiefermobilität wird als reflektorisch gesteuerter Adaptationsmechanismus zum Schutz der betroffenen anatomischen Strukturen gedeutet.⁴ Demgegenüber wird die schmerzreduzierende Wirkung von Okklusionsschienen u. a. mit der Entlastung schmerzhafter Muskelareale erklärt. Hierbei vermutet man, dass die Lageveränderung der Mandibula, hervorgerufen durch die eingegliederte

Schiene, zu einer Neuorganisation des intramuskulären Funktionsmusters und somit zur Entlastung der schmerzhaften Muskelbezirke führt.¹

Eine Voraussetzung für die Schienentherapie bildet die Festlegung der therapeutischen Unterkieferposition beziehungsweise Kieferrelation. Jede Lageveränderung der Mandibula führt zwangsläufig auch zu einer Veränderung der Kondylenposition. Aus diesem Grund wird das Erreichen einer physiologischen Zuordnung der Kondylen zur Fossa articularis als Ziel der Kieferrelationsbestimmung angesehen. Wie Lotzmann darlegt, werden die Charakteristika und die klinische Bedeutung einer physiologischen Kondylenposition seit nahezu 100 Jahren kontrovers diskutiert.⁵ Dementsprechend entwickelten sich eine Vielzahl teilweise konkurrierender Konzepte und Lehrmeinungen. Allen gemeinsam ist die Suche nach einer stabilen und reproduzierbaren Unterkieferposition.⁵

Eine klassische Methode der Kieferrelationsbestimmung stellt die Dawson-Zentrik dar. Dawson⁶ beschrieb 1976 eine spezielle bimanuelle Grifftechnik, den Dawson-Handgriff, mit welchem der Kondylus in einer schmerzfreien ventrokraniellen Stellung gegen die Eminentia articularis fixiert wird.

Das neuromuskuläre Konzept, wie es im Myo-Monitor[®]-Verfahren von Jankelson und Swain² beschrieben wurde, verfolgt einen anderen Ansatz. Es strebt mithilfe elektrischer Stimulation der motorischen Anteile des N. mandibularis eine muskuläre Relaxation und stabile Ruhelage des Unterkiefers an. Unter TENS-induzierter, rhythmisch-synchroner Kontraktion der Adduktoren des Unterkiefers sollen die Kondylen dabei aus der Ruhelage automatisch in eine als Myozentrik bezeichnete physiologische Position einzwängen.^{7,8} Das TENS-Gerät (Myo-Monitor[®]) erzeugt über drei Hautelektroden mit einer Frequenz von 40 Impulsen pro Minute (niederfrequente TENS) eine rhythmische Muskelkontraktion, die in ihrer Amplitude über die Impulsstromstärke steuerbar ist. In der Zahnheilkunde erfolgt die TENS-Applikation hauptsächlich auf die Mm. masseter. Hierbei werden über die Rr. zygomatici und buccales des N. facialis die Mm. orbicularis oculi Mm. buccinatores ebenfalls stimuliert, wenn auch in geringem Maße.

Aufgrund ihrer schmerzreduzierenden Wirkung⁹⁻¹¹ hat sich der Einsatz von TENS in den vergangenen Jahren auch in der zahnärztlichen CMD-Therapie etabliert.¹²⁻¹⁴ So verweist die Deutsche Gesellschaft für Funktionsdiagnostik und -therapie (DGFDT) auf die Anwendung der TENS, „... um Erfolge in der Normalisierung der Muskelfunktion beziehungsweise der Reduktion myogen verursachter Schmerzen zu erreichen.“¹⁵

Determination of the therapeutic mandibular position or jaw relation is essential for splint therapy. Any change in the position of the mandible invariably leads to a change in condylar position. Therefore, the establishment of a physiological relation of the condyles in their fossae is regarded as the goal of jaw position recording. However, the characteristics and clinical definition of this physiological position of the condyles has been a subject of controversy for nearly 100 years, as was already discussed by Lotzmann⁵. A variety of different and sometimes competing concepts and doctrines have emerged. However, the search for a stable and reproducible mandibular position is a common objective for all these approaches⁵.

The Dawson technique is a classic method for determination of centric relation in jaw position recording. In 1976, Dawson proposed a bimanual manipulation technique (Dawson grasp), the object of which is to secure the condyles against the articular eminence in a pain-free ventrocranial position⁶.

Methods based on the neuromuscular concept (eg, the Myo-Monitor[®] procedure described by Jankelson and Swain) take a different approach². They aim to achieve muscle relaxation and a stable rest position of the mandible through transcutaneous electrical neural stimulation (TENS) of the motor branches of the mandibular nerve. TENS-induced synchronous rhythmic contractions of the mandibular adductor muscles are thought to automatically bring the condyles out of the rest position into the physiological position referred to as 'myocentric'^{7,8}. The Myo-Monitor[®] delivers low-frequency TENS via three electrodes attached to the skin. It produces rhythmic muscle contractions at a frequency of 40 per minute. The amplitude of the contractions is controlled using the pulse current control. The masseter muscles are the muscles most commonly treated by TENS in dentistry. The orbicularis oculi and buccinator muscles are also stimulated to a small extent via the zygomatic and buccal branches of the facial nerve.

Due to its pain-relieving effect⁹⁻¹¹, TENS has also become an established method for treatment of TMD in dentistry in recent years¹²⁻¹⁴. The Germany Society for Functional Diagnostics and Therapy (DGFDT) recommends the use of TENS "... to achieve the normalization of muscle function or the reduction of myogenic pain"¹⁵.

Low-frequency TENS induces reflex-like contractions mainly through the direct activation of alpha motor axons. Various studies have shown that low-frequency TENS inhibits hypertonic impulse generation patterns of motor neurons and thus induces reproducible relaxation of the masticatory muscles¹⁶⁻²⁰. It also induces the release of endogenous endorphins into the bloodstream and cerebrospinal fluid²¹.

TENS-mediated inhibition of synaptic transmission in C fibers was also observed in animal experiments by Liu et al²², which they concluded was the reason for the sustained pain relief achieved by TENS. A number of studies have also demonstrated a vasoactive effect of TENS, suggesting that this hyperemia could be mainly attributed to a contraction-induced mechanical muscle pump effect^{23–25}. The pain-relieving properties of TENS are also ascribed to the interaction of these effects.

Randomized clinical pilot study

The therapeutic effects of myocentric occlusal splints were compared with those of conventional Michigan splints in the scope of the author's doctoral research. In this pilot study, all examinations performed were conducted at Westdeutsche Kieferklinik, University of Düsseldorf Medical School, from 2007 to 2009. The main research questions were:

1. Therapeutic effects:

- What type of change in pain symptoms and clinical findings occurred in the two groups of patients after wearing the respective occlusal splint each night for 4 and 12 weeks?
- Does 45-minute TENS treatment lead to a significant pain reduction?

2. Kinematic effects:

- What effects did TENS have on the rest position (physiological position) of the mandible?
- Did the myocentric relation established by TENS differ significantly from the centric position established by bimanual manipulation in terms of condylar position?

Materials and methods

Forty patients (11 male and 29 female) with a mean age of 41.1 ± 13.3 years participated in the study. The inclusion criterion was orofacial pain of myogenic origin, which was divided into the following two RDC/TMD categories:

- Ia (myofascial pain without limited jaw opening) and
- Ib (myofascial pain with limited jaw opening).

The presence of mild joint sounds was allowed. The patients were randomly assigned to the treatment groups.

Those in the Michigan group received a Michigan splint²⁶ for the maxillary dentition. These splints were fabricated using a Dawson-styled bimanual manipulation technique

Durch niederfrequente TENS werden reflexähnliche Kontraktionen ausgelöst, welche überwiegend durch eine direkte Reizung der α -Motoaxone erreicht werden.

Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass niederfrequente TENS hypertensive Erregungsmuster der Motoneuronen hemmen und dadurch die Kaumuskelatur reproduzierbar relaxieren.^{16–20} Hierbei kommt es weiterhin zu einer Ausschüttung von körpereigenen Endorphinen in den Blutkreislauf und den Liquor.²¹ Liu et al.²² konnten in einer tierexperimentellen Arbeit eine TENS-induzierte Hemmung der synaptischen Weiterleitung in den C-Fasern beobachten. Die Autoren begründen damit die teilweise länger anhaltende Schmerzreduktion durch TENS. Weiterhin konnte in mehreren Studien eine vasoaktive, d. h. durchblutungsfördernde Wirkung von TENS nachgewiesen werden, welche im Wesentlichen auf den kontraktionsbedingten Effekt der Muskelpumpe zurückgeführt wird.^{23–25} Die schmerzreduzierende Wirkung von TENS wird auch mit dem Zusammenspiel dieser Effekte begründet.

Randomisierte, klinische Pilotstudie

Im Rahmen einer Promotionsarbeit wurden die therapeutischen Effekte myozentrisch orientierter Okklusionschienen mit denen einer klassischen Michiganschiene verglichen. Die Untersuchungen zu dieser Pilotstudie wurden von 2007 bis 2009 an der Westdeutschen Kieferklinik der Universität Düsseldorf durchgeführt. Folgende Fragestellungen standen dabei im Vordergrund:

1. Therapeutische Wirkungen:

- Wie verhalten sich Schmerzreduktion und klinische Befunde in den beiden Patientengruppen nach vier und zwölf Wochen nächtlichen Tragens der jeweiligen Okklusionsschiene?
- Führt eine 45-minütige TENS-Applikation zu einer signifikanten Schmerzreduktion in der Patientengruppe?

2. Kinematische Wirkungen:

- Welche Auswirkungen hat eine TENS-Behandlung auf die Ruhelage (Ruheschwebe) des Unterkiefers?
- Zeigen TENS-induzierte Unterkieferpositionierungen signifikante Unterschiede in der Kondylenposition im Vergleich zur bimanuell geführten Unterkieferpositionierung?

Material und Methoden

An der Untersuchung nahmen 40 Patienten (29 weiblich und 11 männlich; Durchschnittsalter $41,1 \pm 13,3$ Jahre) teil. Als Einschlusskriterien galten orofaziale Schmerzen myogenen Ursprungs (RDC/TMD-Gruppen):

- Ia (myofaszialer Schmerz ohne eingeschränkte Kieferöffnung)
- Ib (myofaszialer Schmerz mit eingeschränkter Kieferöffnung)

Dabei waren leichte Gelenkgeräusche zulässig. Die Verteilung der Patienten auf die beiden Therapiegruppen erfolgte zufällig.

Die Patienten der Michigangruppe wurden mit einer im Oberkiefer getragenen Michiganschiene²⁶ behandelt. Hierbei erfolgte die Kieferrelationsbestimmung mithilfe einer an die Dawson-Technik angelehnten bimanuellen Grifftechnik. Die Michigangruppe bestand aus 20 Patienten (12 weiblich, 8 männlich; Durchschnittsalter $40,9 \pm 13,8$ Jahre).

Die Myozentrikgruppe wurde mit einer Unterkiefer-Okklusionsschiene versorgt, welche die Okklusalfächen der Zähne vollständig überfasste. In der maximalen Schienenokklusion gelangten die Frontzähne nicht in Kontakt. Die Schiene wurde in einem eckzahngeschützten Okklusionskonzept erstellt. Eine TENS-induzierte Unterkieferpositionierungstechnik (Myozentrik) lieferte für diese Gruppe die therapeutische Unterkieferposition. Auch diese Gruppe bestand aus 20 Patienten (17 weibliche, 3 männliche; Durchschnittsalter $39,2 \pm 12,7$ Jahre).

Um die Auswirkungen TENS-induzierter Unterkieferpositionierungen auf Gesunde zu erfassen, wurde der Myozentrikgruppe ein individuell abgeglichenes Probandenkollektiv gegenübergestellt. Das bedeutet, dass für jeden Patienten der Myozentrikgruppe ein in Geschlecht und Alter entsprechender gesunder Proband ermittelt wurde. Hierbei betrug die durchschnittliche Altersdifferenz zur Patientengruppe $2,8 \pm 4,8$ Monate.

In der Eingangsuntersuchung wurde neben dem Erfassen der Beschwerdestärke mittels einer 100 mm-Visuellen-Analogskala (VAS) auch eine klinische Funktionsanalyse nach den Kriterien der RDC/TMD durchgeführt.²⁷ Für jeden Patienten und Probanden wurden Ober- und Unterkiefermodelle erstellt und die Oberkieferposition mithilfe eines arbiträren Gesichtsbogens (SAM, München) in den Artikulator SAM 2P übertragen. Ein Magnetsplitcastsystem (Quicksplit®, Quicksplit-Dentaltechnik, Memmingen) erlaubte das Umsetzen der einartikulierten Modelle in den Registrierartikulator (Abb. 1) und in das Kondymeter (SAM, Abb. 2).

for jaw position recording. The Michigan group consisted of 20 patients (8 male, 12 female) with a mean age of 40.9 ± 13.8 years.

The myocentric group was treated with a mandibular occlusal splint that completely covered the occlusal surfaces of the teeth. There was no contact with the anterior teeth during maximum splint occlusion. The splint was designed according to the concept of canine-protected occlusion. In the myocentric group, TENS was used to establish myocentric relation as the therapeutic position of the mandible. The group also consisted of 20 patients (3 male, 17 female) with a mean age of 39.2 ± 12.7 years.

An individually matched healthy control population was selected and compared with the myocentric splint group in order to measure the effects of TENS-based mandibular positioning. In other words, an age- and sex-matched healthy subject was found for each patient in the myocentric group. The mean age difference between the control group and the myocentric group was 2.8 ± 4.8 months.

At the initial baseline examination, the severity of symptoms was determined using a 100 mm visual analog scale (VAS), and a clinical assessment of mandibular function was performed according to the RDC/TMD criteria²⁷. Upper and lower jaw models were fabricated for each patient and control, and the position of the maxilla was transferred to a SAM 2P articulator with an arbitrary facebow (SAM, Munich). A Quicksplit® magnetic split-cast mounting system (Quicksplit-Dentaltechnik, Memmingen) was used to transfer the articulated models to the articulator/registration system (Fig 1) and condymeter (SAM, Munich) (Fig 2).

Each treatment group was treated with the respective occlusal splint. They were re-evaluated at two follow-up visits after 4 and 12 weeks of night splint treatment. The number of painful muscle palpation sites as well as subjective pain reports and VAS scores were used as clinical measures of pain reduction. The patients were additionally asked to rate the wearing comfort of the occlusal splint. Table 1 provides an overview of all parameters measured in the different groups at each respective visit.

Myocentric jaw position recording was accomplished using the K7 Evaluation System, a computer-assisted magnetic kinesiograph manufactured by Myotronics-Noromed (Kent, WA), and a specially adapted articulator/registration system²⁸. The articulator/registration system used in this study was a modified version of the adjustable SAM® 3 Articulator (Fig 1). This system has a mechanical spindle that allows for free extraoral adjustment to the specific jaw relation in the model. This position was registered on the articulator using a silicone anterior tooth jig and checked

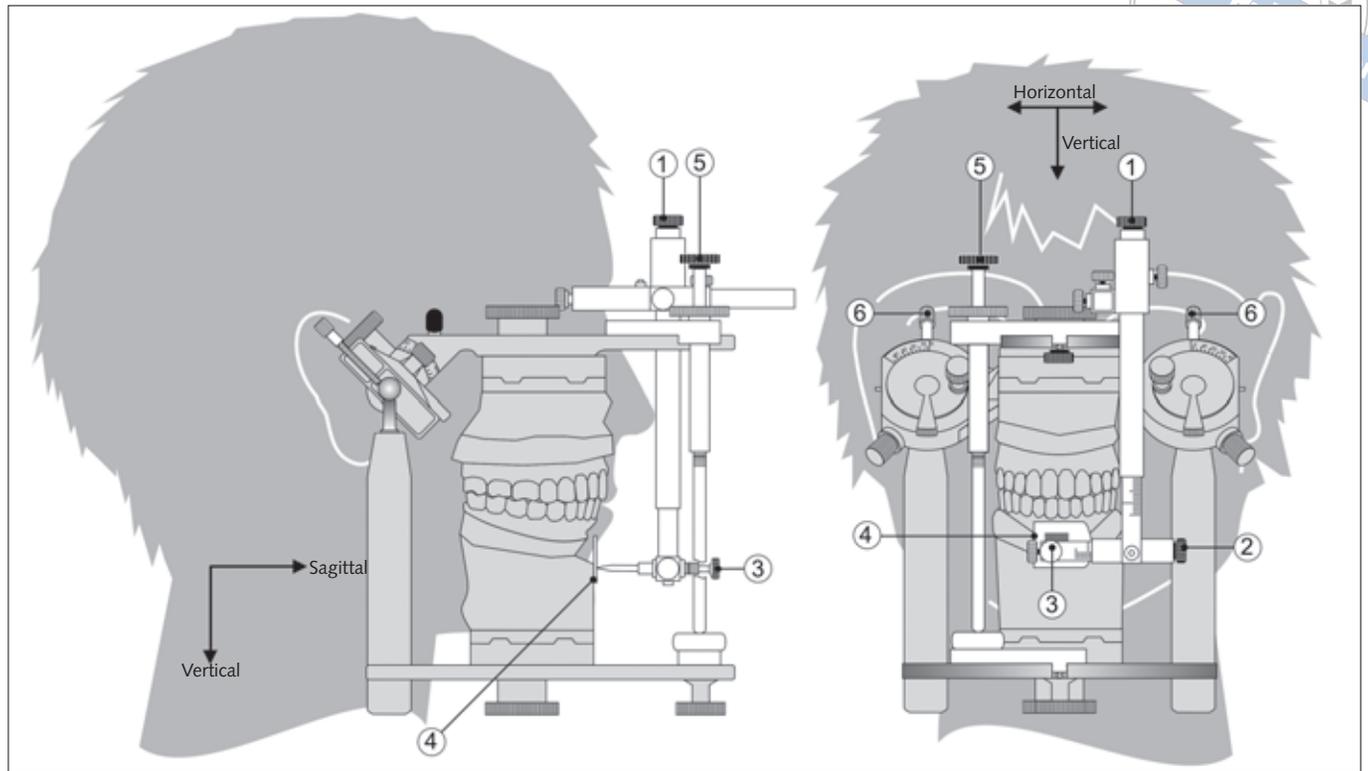


Fig 1 Articulator/registration system: The spatial coordinates of myocentric position were programmed using the vertical (1), horizontal (2) and sagittal (3) spindles on the measuring plate (4) and adjusted using the support pin (5) and thumb screws (6) on the condylar housing.

Abb.1 Registrierartikulator: Die Raumkoordinaten der myozentrischen Position wurden durch die vertikalen (1), horizontalen (2) und sagittalen (3) Spindelvorrichtungen auf der Messplatte (4) programmiert und mithilfe des Stützstiftes (5) sowie der Stellschrauben der Kondylargehäuse (6) im Artikulator eingestellt.

in the patient's mouth using the K7 Evaluation System. The change in condylar position was measured using a condymeter (SAM, Munich, Germany). The condymeter has six analog measurement gauges that can detect changes in the hundredth-millimeter range (Fig 2).

Bimanual manipulation for jaw position recording

First, two sheets of Beauty Pink Wax (Ubert, Lochmaben) were formed into a trapezoidal shape (Fig 3). The base plate wax was then placed on the patient model such that it completely covered the premolar and molar region distal to the canines in the sagittal plane, and projected about 2 to 3 mm beyond the posterior teeth buccally. To record the therapeutic jaw position, the base plate wax was warmed in a water bath, placed against the posterior teeth of the supine patient, and manipulated in the ventrocranial direction by applying firm pressure to the edge of the mandible and the symphysis.

Die Patientengruppen wurden mit den entsprechenden Aufbisschienen behandelt. Eine Reevaluation erfolgte in zwei Kontrollsitzen nach vier und zwölf Wochen nächtlichen Schienentragens. Als klinischer Parameter wurde speziell die Beschwerdereduktion anhand des subjektiven Schmerzreports, der VAS und des Palpationsbefundes der Kiefermuskulatur untersucht. Weiterhin wurde der Patient gebeten, den Schienentragekomfort mittels der VAS anzugeben. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der in den verschiedenen Sitzungen durchgeführten Messungen.

Die myozentrische Kieferrelationsbestimmung erfolgte mithilfe des computergestützten magnetkinesiografischen K7-Evaluationsystems (Myotronics-Noromed, Inc.; Kent, USA) und wurde unter Anwendung eines speziellen Registrierartikulators²⁸ durchgeführt. Bei dem Registrierartikulator handelt es sich um eine Umbauversion eines SAM-3-Artikulators (Abb. 1). Er ermöglicht mittels mechanischer Spindelvorrichtungen eine

Tab. 1 Übersicht der Messungen in den einzelnen Behandlungssitzungen.

Sitzung	durchgeführte Messungen
<i>Michigangruppe</i>	
1 – Eingangsuntersuchung	VAS, RDC-Befund
2 – Kieferrelationsbestimmung	VAS, Kondylenposition
3 – Schieneneingliederung	VAS, Schieneneingliederung
4 – Verlaufsuntersuchung nach vier Wochen	VAS, VAS-Schienenkomfort, RDC-Befund
5 – Abschlussuntersuchung nach weiteren acht Wochen	VAS, VAS-Schienenkomfort, RDC-Befund
<i>Myozentrikgruppe</i>	
Sitzung	durchgeführte Messungen
1 – Eingangsuntersuchung	VAS, RDC-Befund
2 – Kieferrelationsbestimmung	VAS vor/ nach TENS, Ruheschwebe vor/ nach TENS, Kondylenposition
3 – Schieneneingliederung	VAS, Schieneneingliederung
4 – Verlaufsuntersuchung nach vier Wochen	VAS, VAS-Schienenkomfort, RDC-Befund
5 – Abschlussuntersuchung nach weiteren acht Wochen	VAS, VAS-Schienenkomfort, RDC-Befund
<i>Probandengruppe</i>	
Sitzung	durchgeführte Messungen
1 – Eingangsuntersuchung	RDC-Befund
2 – Kieferrelationsbestimmung	Ruheschwebe vor/ nach TENS, Kondylenposition

Table 1 Overview of all parameters measured at each respective visit.

Visit	Parameters measured
<i>Michigan group</i>	
1 – Baseline examination	VAS, RDC/TMD criteria
2 – Jaw position recording	VAS, condylar position
3 – Splint insertion	VAS, splint insertion
4 – Four-week follow-up	VAS, splint wearing comfort (VAS), RDC/TMD criteria
5 – Twelve-week follow-up (final examination)	VAS, splint wearing comfort (VAS), RDC/TMD criteria
<i>Myocentric group</i>	
Visit	Parameters measured
1 – Baseline examination	VAS, RDC/TMD criteria
2 – Jaw position recording	VAS before/after TENS, rest position before/after TENS, condylar position
3 – Splint insertion	VAS, splint insertion
4 – Four-week follow-up	VAS, splint wearing comfort (VAS), RDC/TMD criteria
5 – Twelve-week follow-up (final examination)	VAS, splint wearing comfort (VAS), RDC/TMD criteria
<i>Control group</i>	
Visit	Parameters measured
1 – Baseline examination	RDC/TMD criteria
2 – Jaw position recording	Rest position before and after TENS, Condylar position

beliebige extraorale Einstellung der gewünschten modellbezogenen Kieferrelation. Diese wird durch einen Frontzahn-Silikon-Jig im Artikulator registriert und anschließend im Patientenmund mit dem K7-System kontrolliert. Die Messung der Kondylenlageveränderung erfolgte mithilfe eines Kondymeters (SAM). Es verfügt über sechs analoge Messuhren und kann Lageveränderungen im Hundertstel-Millimeterbereich erfassen (Abb. 2).

Bimanuell geführte Kieferrelationsbestimmung

Vorbereitend wurden zwei Lagen aus Beauty-Pink-Wax (Ubert GmbH, Lohfelden) zu einer trapezförmigen Wachsplatte zusammengefügt (Abb. 3). Diese Registrierplatte wurde am Patientenmodell so bemessen, dass

TENS for myocentric jaw position recording

The Myo-Monitor® J5 (Myotronics-Noromed) was used to administer a 45-minute low-frequency TENS treatment to myocentric group patients and healthy subjects prior to maxillomandibular registration. The voltage on the Myo-Monitor® was increased until contraction of the masticatory (masseter) muscles was clearly detectable on palpation. The K7 Evaluation System was used for simultaneous monitoring of mandibular movement. The intensity of contraction was adjusted such that the TENS pulse accelerated the mandible approximately 1 mm cranially out of the current rest position. The balance control was used to adjust the intensity to correct unequal contractions on the left and right. Occlusal indicator wax (KerrHawe SA; Bioggio,



Fig 2 Condyrometer (with kind permission of SAM).

Abb. 2 Kondymeter (mit freundlicher Genehmigung der Firma SAM).

Switzerland) was applied to the mandibular anterior teeth to stop any contraction-related tooth contact. The wax was removed before myocentric jaw position recording. The patients were instructed to keep their lower jaw relaxed and to avoid tooth contact during transcutaneous electric nerve stimulation. The patients were also instructed to place their tongue between the posterior teeth to prevent tooth contact when they had to swallow.

After 45 minutes of TENS treatment, the K7 sensor was calibrated to the rest position of the mandible while TENS pulses were being fired. The object was to avoid tooth contacts before the actual registration procedure as this could potentially trigger proprioceptive feedback from desmodontal receptors, resulting in alteration of the mandibular position. After calibration, the TENS pulses were checked on the computer and adjusted as needed, using the balance and intensity controls. After a holding time of about 7 seconds, the patient was instructed to bite down on the posterior teeth – in maximum intercuspation (MI) – and to glide the teeth from this position along the curvature of the anterior teeth, until the anterior teeth were in edge-to-edge occlusion. The recording was then stopped and the patient was asked to resume the resting position during continued

sie distal der Eckzähne den Prämolaren- und Molarenbereich in sagittaler Richtung vollständig bedeckte und die Seitenzähne nach bukkal um circa 2–3 mm überragte. Zur Registrierung der therapeutischen Kieferposition wurde die Registrierplatte im Wasserbad erwärmt, im Seitenzahnbereich des liegenden Patienten platziert und der Unterkiefer durch festen Druck auf den Unterkieferrand sowie die Symphyse in ventrokranieller Richtung manipuliert.

TENS-Applikation und myozentrische Kieferrelationsbestimmung

Bei den Patienten der Myozentrikgruppe und den Probanden wurde vor der Kieferrelationsbestimmung eine 45-minütige niederfrequente TENS-Behandlung mit dem Myo-Monitor® J5 (Myotronics-Noromed) durchgeführt. Hierzu wurde die Spannung am Myo-Monitor® solange erhöht, bis eine deutliche Kontraktion der Kiefermuskulatur am M. masseter ertastet werden konnte. Gleichzeitig wurde die Unterkieferbewegung mithilfe des K7-Evaluationssystems beobachtet. Die Intensität der Kontraktion wurde so eingestellt, dass der Unterkiefer durch den TENS-Impuls um etwa einen Millimeter nach kranial aus der bestehenden Ruhelage beschleunigt wurde. Bei seitenungleichen Kontraktionen konnte die Stärke der Kontraktion über einen Balanceregler angeglichen werden. Eventuelle kontraktionsbedingte Zahnkontakte wurden durch das Aufbringen von Occlusal-Indicator-Wax (KerrHawe SA; Bioggio, Schweiz) auf die Unterkieferfrontzähne unterbunden. Das Wachs wurde vor der myozentrischen Kieferrelationsbestimmung entfernt. Der Patient wurde instruiert, während der TENS-Applikation den Unterkiefer locker zu lassen und Zahnkontakte zu vermeiden. Zum Schlucken sollte der Patient die Zunge zwischen die Seitenzähne legen, um ebenfalls Zahnkontakte zu unterbinden.

Am Ende der 45-minütigen TENS-Applikation wurde der K7-Sensor auf die Ruhelage des Unterkiefers bei laufendem TENS-Impuls geeicht. Dies geschah, um Zahnkontakte vor der eigentlichen Registrierung zu vermeiden, welche möglicherweise zu einem propriozeptiven Feedback aus den desmodontalen Rezeptoren und damit zu einer Veränderung der Unterkieferlage geführt hätten. Nach der Eichung konnte der TENS-Impuls am Computer überprüft und gegebenenfalls über den Balance- und Intensitätsregler korrigiert werden. Nach circa sieben Sekunden Haltezeit wurde der Patient gebeten, auf die Seitenzähne – in die maximale Interkuspitation (MI) – zu beißen und aus dieser Position entlang der Frontzahnkurvatur bis

in eine Kopfbissposition der Frontzähne zu gleiten. An dieser Stelle wurde die Aufzeichnung gestoppt und der Patient aufgefordert, bei fortlaufender TENS-Stimulation wieder in die Ruhelage zurückzukehren. Für die Ermittlung der myozentrischen Unterkieferposition wurde die Aufzeichnung mithilfe der K7-Evaluationssoftware auf den Seitenzahnkontakt zentriert. Somit konnte die Lage des Unterkiefers in Bezug zur MI gebracht und angezeigt werden (Abb. 4). Die myozentrische Position wurde in der Lateralansicht 1,5 mm kranial vom Boden des TENS-Impulses auf der Trajektorie des Impulses festgelegt. In der Frontalebene wurde die myozentrische Position ebenfalls 1,5 mm kranial vom Boden des TENS-Impulses auf der Frontaltrajektorie markiert. Die K7-Software zeigte in der Analyse die Raumkoordinaten der myozentrischen Position mit Bezug zur MI an. Diese Koordinaten wurden in den Registrierartikulator übertragen (Abb. 5) und ein Jig aus Silikon erstellt. Vor der Überprüfung des Jig im Patientenmund wurde der Myo-Monitor® abgeschaltet und der Patient gebeten, auf die Seitenzähne zu beißen. Dabei wurde der Sensor auf die MI geeicht. Anschließend wurde die Unterkieferposition bei Einbiss in den Jig am Computer überprüft und gegebenenfalls durch Substanzabtrag beziehungsweise -antrag bis zur gewünschten Position korrigiert. Dieses Vorgehen ermöglichte speziell bei diskoordinierten Patienten ein sicheres Auffinden der myozentrischen Position. Der Jig wurde nun durch Einbringen des Registrärsilikons in das Seitenzahngebiet zum vollständigen Registrat komplettiert (Abb. 5).

Kinematische Datenerfassung

Mithilfe des Kondylometers wurde in allen Gruppen die Kondylenpositionsveränderung zwischen der MI und der registrierten, therapeutischen Unterkieferposition ermittelt. Die magnetkinesiografische Erfassung der Ruhelage des Unterkiefers (Ruheschwebe) wurde in der Myozentrik- und der Probandengruppe vor und nach der TENS-Applikation durchgeführt. Zur Fehlerreduktion wurden alle Messungen dreifach durchgeführt und Mittelwerte gebildet.

Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden kodiert und mit der Software SAS Version 9.2 (SAS Institute GmbH, Heidelberg) ausgewertet. In der deskriptiven Statistik wurden die Daten mit dem Mittelwert und der Standardabweichung angegeben. Unterschiede zwischen den ermittelten klinischen und instrumentellen Variablen wurden mithilfe von



Fig 3 Beauty Pink Wax registration material on the mandibular model.

Abb. 3 Beauty-Pink-Wax-Registrat auf Unterkiefermodell.

TENS stimulation. To determine the myocentric position of the mandible, the recording was centered on the posterior tooth contacts with the aid of the K7 Evaluation System. This made it possible to relate the position of the mandible to the maximum intercuspation position (Fig 4). In the lateral view, the myocentric position was 1.5 mm superior to the bottom of the TENS pulse on the neuromuscular trajectory. In the frontal plane, the myocentric position was also 1.5 mm superior to the bottom of the TENS pulse on the frontal trajectory. The K7 evaluation software referenced the spatial coordinates of myocentric position to the position of maximum intercuspation. These coordinates were transferred to the articulator/registration system (Fig 5), and a silicone jig was made. Before checking the jig in the patient's mouth, the Myo-Monitor® was switched off and the patient was instructed to bite down on the posterior teeth. The sensor was calibrated to maximum intercuspation. The patient was then instructed to bite into the jig while the position of the mandible was checked on the computer. Material was removed or added as needed until the correct position was achieved. This procedure permitted reliable determination of the myocentric position, even in patients with disordinated mobility of the mandible. The jig was then transformed into a completed registration by injecting silicone bite registration material in the posterior tooth region (Fig 5).

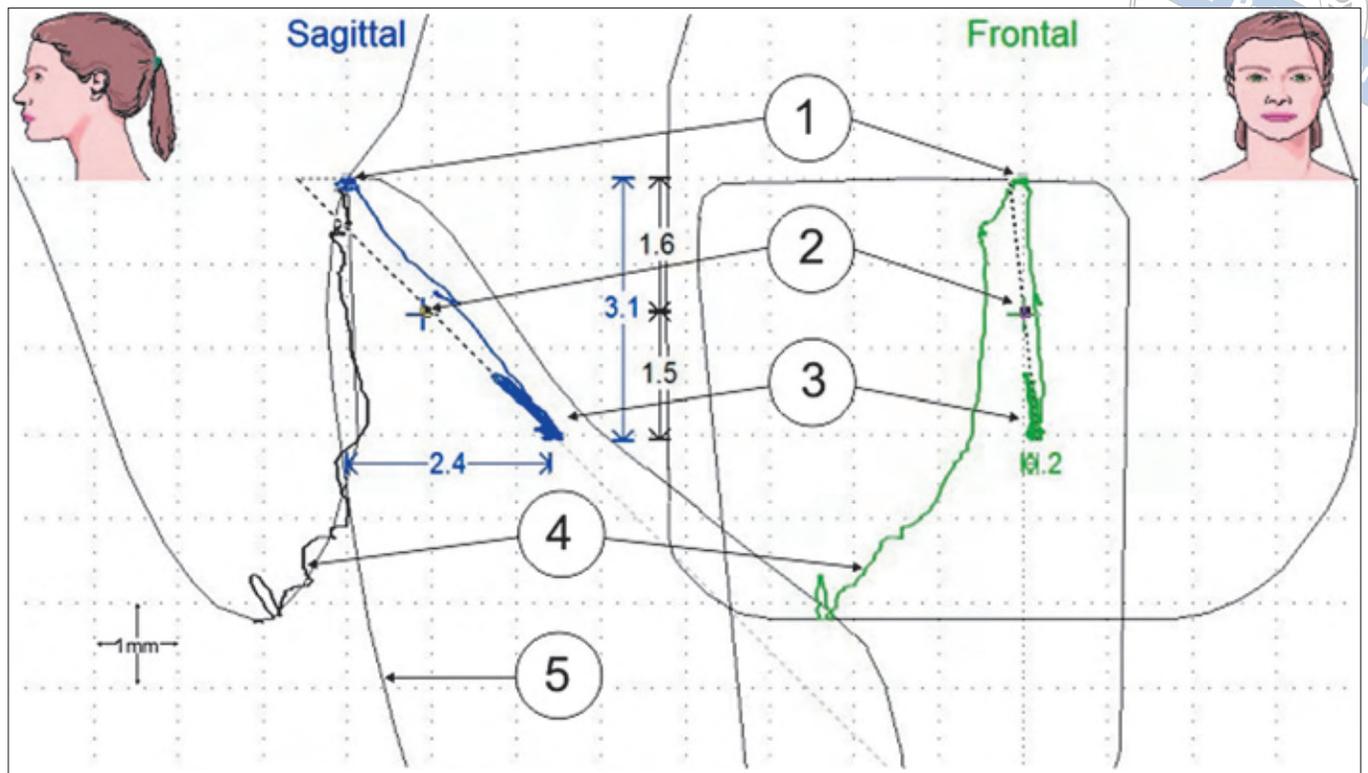


Fig 4 K7 kinesiographic registration of mandibular position. 1 = maximum intercuspation (MI), 2 = myocentric position, 3 = TENS pulse, 4 = movement trace of the mandibular anterior teeth along the palatal curve of the maxillary anterior teeth to the head bite position, 5 = contours of the maxillary and mandibular anterior teeth in the sagittal (left) and frontal plane (right). In this trace, myocentric position is 1.6 mm vertical; 0.9 mm posterior and 0 mm lateral to MI. The articulator/registration system was adjusted using these coordinates.

Abb. 4 K7-Darstellung der Unterkieferpositionsbestimmung. 1 = maximale Interkuspidation (MI), 2 = myozentrische Position, 3 = TENS-Impuls, 4 = Bewegungsspur der UK-Frontzähne entlang der palatinalen Kurvatur der OK-Frontzähne bis in die Kopfbissposition, 5 = Umriss der OK- bzw. UK-Frontzähne links in sagittaler und rechts in frontaler Ansicht. Die myozentrische Position befindet sich in diesem Bild 1,6 mm vertikal; 0,9 mm posterior und 0 mm lateral der MI. Anhand dieser Koordinaten wurde der Registrierartikulator eingestellt.

Kinematic data collection

A condyrometer was used to determine the change in condylar position between maximum intercuspation and the registered and therapeutic mandibular positions. Magnetic kinesiographic recordings of the rest position of the mandible were made in the myocentric group and the control group before and after TENS treatment. All measurements were performed in triplicate and averaged to reduce error.

Statistical analysis

The collected data were coded and analyzed using SAS 9.2 software (SAS Institute, Heidelberg). Mean and standard

Varianzanalysen (ANOVA, Prozedur GLM) untersucht. Hierbei wurden Unterschiede als statistisch signifikant bezeichnet, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich 5 % ($p \leq 0,05$) war.

Ergebnisse

Therapeutische Wirkung

Bei der Auswertung der im RDC/TMD-Befund verankerten Schmerzfrage: „Haben Sie Schmerzen in der rechten Gesichtshälfte, in der linken oder in beiden?“, wurden die Antworten „rechts“, „links“, „beide“ als „Ja“ und die Antwort „keine“ als „Nein“ zusammengefasst (Tab. 2). Die Antwort spiegelte den Schmerzzustand zum



a

b

Fig 5a to c Jig in articulator/registration system (a). Jig in the patient's mouth (b). Completion of registration with the patient biting into the jig (c).

Abb. 5a bis c Jig im Registrierartikulator (a); Jig im Mund des Patienten (b); Komplettierung des Registrates durch Einbeißen in den Jig (c).



c

Zeitpunkt der Untersuchung wider. Die Myozentrikgruppe zeigte in der ersten und zweiten und die Michigangruppe nur in der zweiten Kontrolluntersuchung eine signifikante Veränderung der Daten verglichen mit der Ausgangssituation. Es konnten jedoch in keiner der Kontrollsituationen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

deviation were used for descriptive statistics. Differences between the measured clinical and instrumental variables were assessed by analysis of variance (ANOVA) using the general linear model (GLM) procedure. Differences were defined as statistically significant when the probability of error was less than or equal to 5% ($P \leq 0.05$).



Table 2 Patients' response to the pain question

Tab. 2 Beantwortung der Schmerzfrage nach Patientengruppen.

Group Gruppe	Response Schmerzfrage	before therapy (n = 20) vor Therapie (n = 20)		1st follow-up (n = 20) 1. Kontrolle (n = 20)		2nd follow-up (n = 20) 2. Kontrolle (n = 20)	
		n	%	n	%	n	%
Michigan	yes/ja	20	100	16	80	10*	50
	no/nein	0	0	4	20	10	50
Myocentric/ Myozentrik	yes/ja	20	100	10*	50	5*	25
	no/nein	0	0	10	50	15	75

*P < 0.05: Significant difference to levels at baseline (before treatment)

* p < 0,05: signifikanter Unterschied in Bezug auf die Baseline-Werte (vor Therapie)

Results

Therapeutic effect

Following the RDC/TMD procedure, all patients were asked the following 'pain question': "Do you have pain on the right side of your face, the left side or both sides?" The responses "Right", "Left" and "Both" were summarized as "Yes", "None" as "No" (Table 2). These responses reflect the patient's pain status at the time of the examination. A significant change in pain responses compared to baseline was observed in the myocentric group at the first and second follow-up examination, but only at the second follow-up visit in the Michigan group. However, no significant differences between the groups were observed at either follow-up session.

Fig 6 shows the mean pain intensity on the VAS scale for all examinations (baseline, bite registration, splint insertion, first follow-up and second follow-up) after four weeks. On the day of bite registration, the patients were instructed to indicate the spontaneous pain intensity for the respective day of treatment to enable a comparison of pain intensity before and after TENS treatment. There were no differences between the groups at the start of treatment. In the following sessions, the myocentric group generally had lower pain intensity scores, but they did not reach a level of significance until the second follow-up examination. The two curves in Fig 6 show the courses of median pain intensity within the two groups.

In addition to pain intensity, the patients were also asked to rate the wearing comfort of the splint on a visual analog scale at the first and second follow-up examinations. The lower the score, the better the splint's wearing comfort. The scores for Michigan splints were generally higher than those for myocentric splints. They almost reached the level of significance ($P = 0.051$) at the first

Abbildung 6 zeigt die mittlere Schmerzintensität auf der VAS für die der Sitzung (Studienaufnahme, Bisslagebestimmung, Schieneneingliederung, erste und zweite Kontrollsituation) entsprechenden vorausgegangenen vier Wochen. Um einen Vergleich der Schmerzintensität vor und nach der TENS-Behandlung zu ermöglichen, wurden die Patienten in der Sitzung „Bisslagebestimmung“ angewiesen, die Beschwerdeintensität für den jeweiligen Behandlungstag einzustellen. Zu Beginn der Untersuchung unterschieden sich die Gruppen nicht. In den Folgesitzungen konnten in der Myozentrikgruppe generell niedrigere Werte für die Beschwerdeintensität beobachtet werden. Diese erreichten jedoch nur in der zweiten Kontrollsituation ein signifikantes Niveau. Die beiden Linien in der Abbildung 6 zeigen den Verlauf der mittleren Schmerzintensitäten innerhalb der Patientengruppen.

Neben der Beschwerdeintensität wurden die Patienten in der ersten und zweiten Kontrollsituation gebeten, den Schienenkomfort auf der visuellen Analogskala einzustellen. Niedrige Werte repräsentierten hierbei einen besseren Schienenkomfort. Die Michigangruppe zeigte im Vergleich zur Myozentrikgruppe generell höhere Werte, welche in der ersten Kontrollsituation fast das Signifikanzniveau erreichten ($p = 0,051$). In der zweiten Kontrollsituation konnte in der Michigangruppe eine signifikante Verbesserung des Schienenkomforts beobachtet werden (Abb. 7).

Hinsichtlich der Palpation der 16 extraoralen Muskelastpunkte (RDC/TMD-Befund) konnten vor der Aufbisschienentherapie keine gruppenspezifischen Unterschiede festgestellt werden. In der ersten Kontrollsituation zeigte die Myozentrikgruppe signifikant niedrigere Werte als die Michigangruppe. Im Vergleich zur Ausgangssituation konnte innerhalb der Myozentrikgruppe für beide Kontrolluntersuchungen eine signifikante Reduktion der

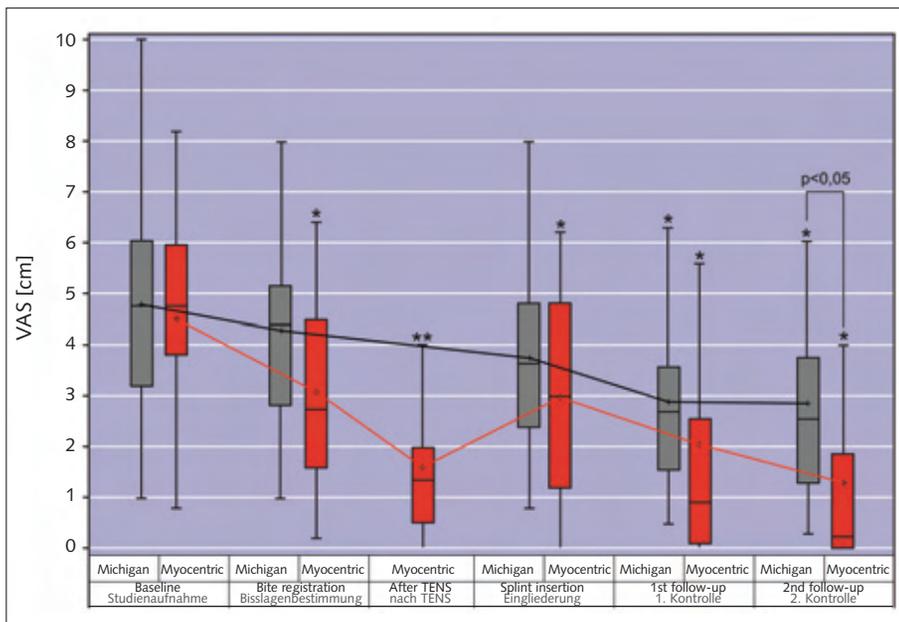


Fig 6 Box plot of the course of pain intensity over time on a VAS scale in the two patient groups. Median values are indicated by the horizontal lines within the boxes, and mean values by “+” signs. To better illustrate the course of mean values across the two visits, black and red lines were used to connect the values for the Michigan group and the myocentric group, respectively.

Abb. 6 Boxplot-Darstellung des Verlaufs der Schmerzintensität auf der VAS in den beiden Patientengruppen. Die Medianwerte sind durch einen waagerechten Strich innerhalb der Box gekennzeichnet, Mittelwerte sind durch ein „+“-Zeichen dargestellt. Zur besseren Veranschaulichung des Mittelwertverlaufs über die einzelnen Sitzungen wurden die Werte für die Michigangruppe mit einer schwarzen und für die Myozentrikgruppe mit einer roten Linie verbunden.

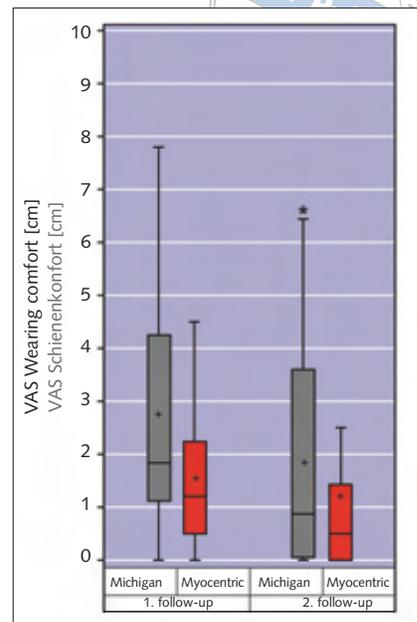


Fig 7 Comparison of wearing comfort scores for the Michigan splint and myocentric splint on a visual analog scale (VAS); *P < 0.05 compared to the first follow-up.

Abb. 7 Vergleich des Schienenkomforts auf der visuellen Analogskala (VAS) für die Michigan- und Myozentrikgruppe; *p < 0,05 im Vergleich zur ersten Kontrolle.

druckdolenten Muskeltastpunkte beobachtet werden (Abb. 8). Im Gegensatz dazu zeigte die Michigangruppe keine signifikante Veränderung des Palpationsbefundes während der Kontrolluntersuchungen im Vergleich zur Ausgangssituation.

Kinematische Wirkung

Die relative Lageveränderung der Kondylen mit Bezug zur Interkuspidationsposition (MI) in der Vertikal- und der Sagittalebene wird in der Abbildung 9 links wiedergegeben. Für die Darstellung wurden die Daten des linken und des rechten Kondylus gemittelt. Der Tabelle 3 sind die Daten des linken und rechten Kondylus sowie die Lageveränderung des Unterkiefer-Inzisalpunktes im Vergleich zur MI zu entnehmen. Generell konnten in allen Gruppen im Vergleich zur MI kaudal-anterior orientierte Kondylenpositionen beobachtet werden. Hierbei zeigte die Michigangruppe im Vergleich zur Myozentrikgruppe

follow-up visit, and were significantly higher than those in the myocentric group at the second follow-up visit (Fig 7).

Regarding the palpation scores for the 16 extraoral muscle sites (RDC/TMD criteria), no differences between the groups were observed before the start of splint therapy. However, scores in the myocentric group were significantly lower than those in the Michigan group at the first follow-up examination. In the myocentric group, the number of painful muscle palpation sites (MPS) was significantly lower at both follow-up examinations than at baseline (Fig 8). In the Michigan group, on the other hand, there was no significant change in palpation findings at either follow-up examination, compared to baseline.

Kinematic effects

The relative change in position of the condyles in relation to the position of maximum intercuspation (MI) in the frontal and sagittal planes is shown in Fig 9. The plots were generated

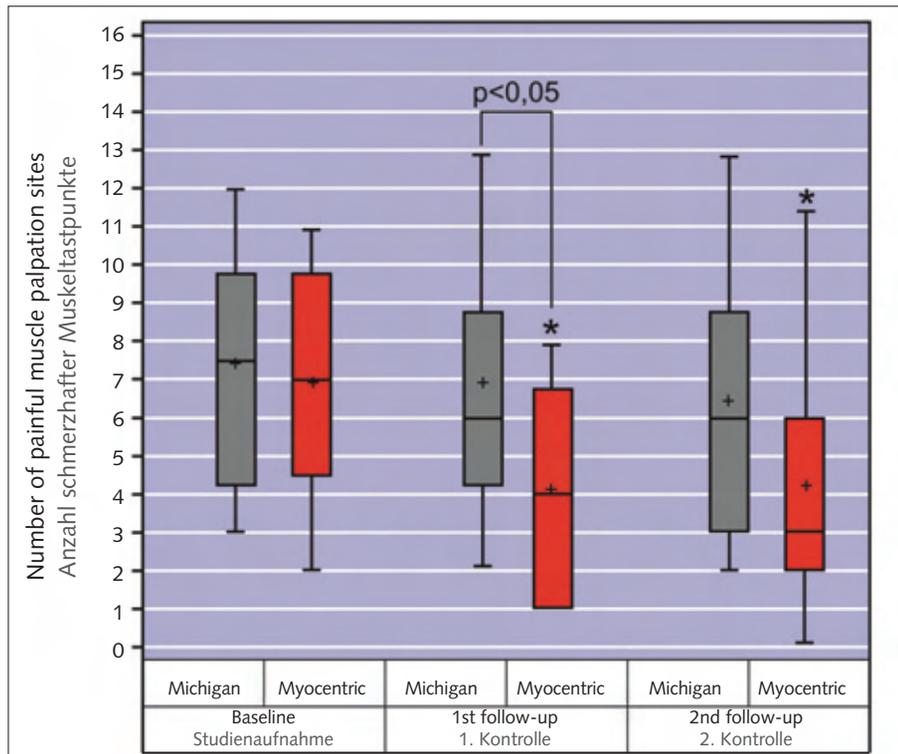


Fig 8 Comparison of palpation findings in the Michigan group and myocentric group; $P < 0.05$ compared to baseline.

Abb. 8 Vergleich der Palpationsbefunde für die Michigan- und Myozentrikgruppe, $p < 0,05$ im Vergleich zur Studienaufnahme.

using the averaged data for the left and right condyles. Table 3 shows the data for the condyles and for the change in position of the mandibular incisor point relative to maximum intercuspation. The orientation of condylar position relative to maximum intercuspation was generally caudal-anterior in all groups. Unlike the myocentric group, the Michigan group exhibited a significant and distinct caudal shift of the condyles. On group comparison, there were no significant differences between the myocentric group and the control group in the vertical plane. Likewise, no group-specific differences were observed in the sagittal plane. Movement of the mandibular incisor point in the vertical plane is shown in Fig 9c. In all groups, the mandibular incisor point clearly exhibited approximately 2.5 mm of caudal movement relative to the maximum intercuspation position. In this regard, no group-specific differences were observed.

Kinesigraphy was performed only in the myocentric group and the control group to gather data on the rest position of the mandible (Table 4). No significant differences between the groups were observed either before TENS or after TENS. Regarding the effect of TENS on the rest position, dorsocaudal movement of the mandibular incisor point was observed in both groups. The myocentric group exhibited a significant change in position of the mandible relative to the pre-TENS rest position in both the vertical and sagittal planes. In the control group, however, the change

eine signifikante und deutlich kaudalgerichtete Verlagerung der Kondylen. Die Myozentrik- und Probandengruppe zeigten im Gruppenvergleich hingegen keine signifikanten Unterschiede auf der Vertikalebene. In der Sagittalebene konnten keine gruppenspezifischen Unterschiede festgestellt werden. Die Verlagerung des Unterkiefer-Inzisalpunktes auf der Vertikalebene ist der Abbildung 9 rechts zu entnehmen. Hierbei wird deutlich, dass der Unterkiefer-Inzisalpunkt mit Bezug zur MI in allen Gruppen eine Verschiebung um etwa 2,5 mm nach kaudal erfährt. Dabei liegen keine gruppenspezifischen Unterschiede vor.

Daten über die Ruhelage des Unterkiefers wurden ausschließlich bei der Myozentrik- und der Probandengruppe mithilfe der Magnetkinesigraphie (Tab. 4) erhoben. Hierbei konnten weder in der Vor-TENS- noch in der Nach-TENS-Situation signifikante Unterschiede im Gruppenvergleich ermittelt werden. Die Wirkung der TENS auf die Ruhelage zeigte in beiden Gruppen eine Verlagerung des Unterkiefer-Inzisalpunktes nach dorso-kaudal. Diese Verlagerung erreichte in der Myozentrikgruppe sowohl in der Vertikal- als auch in der Sagittalebene ein signifikantes Niveau bezüglich der Ruhelage vor TENS. In der Probandengruppe konnte nur in der Vertikalebene eine signifikante Verlagerung beobachtet werden. Für die Sagittalebene konnte jedoch ebenfalls

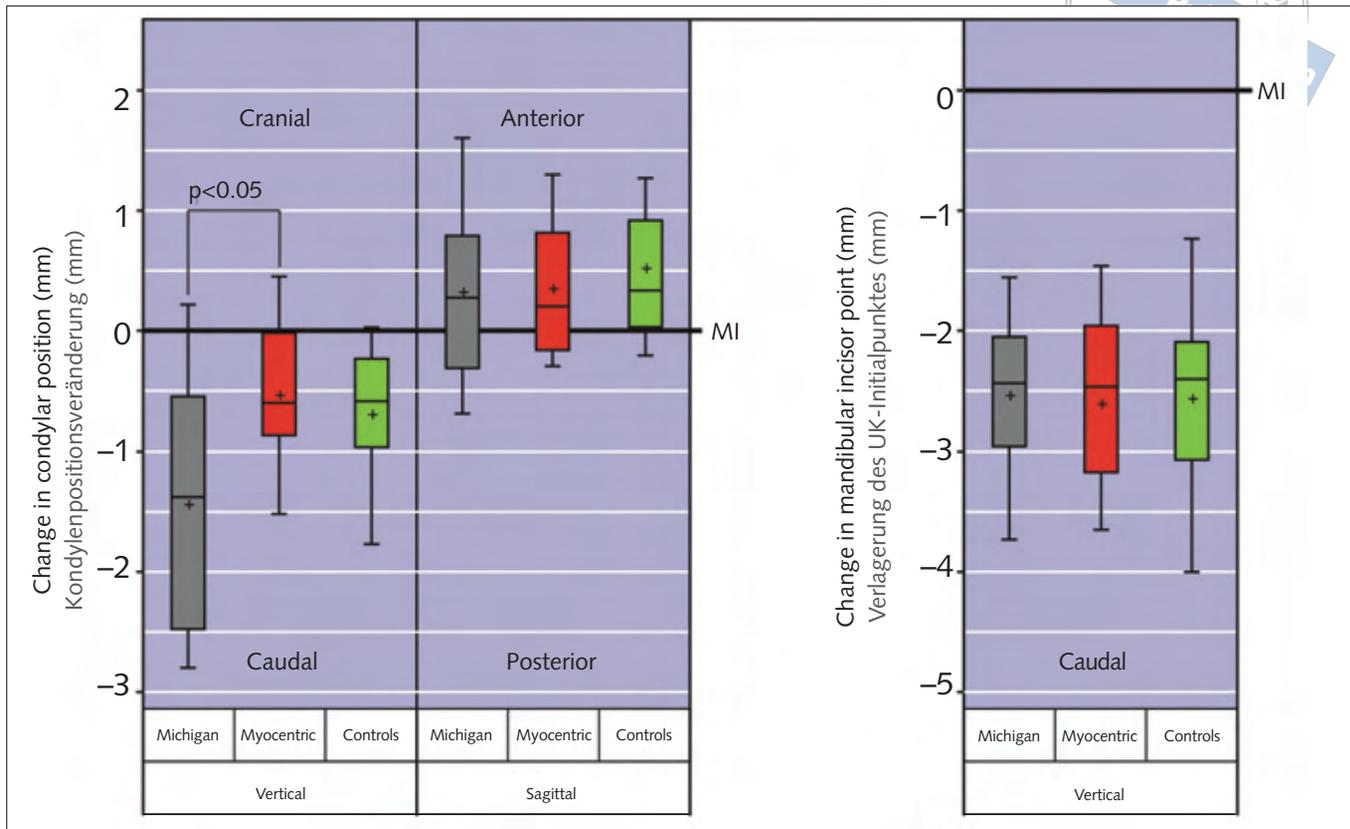


Fig 9 Comparison of change in condylar position or mandibular incisor point in the different groups.

Abb. 9 Vergleich der Lageveränderung der Kondylen beziehungsweise des UK-Inzisalpunktes zwischen den einzelnen Gruppen.

eine Tendenz in dorsaler Richtung ($p = 0,11$) feststellt werden (Tab. 4).

Diskussion

Die Anwendung der TENS als Instrument zur Kieferrelationsbestimmung, wie sie von Jankelson und Swain² beschrieben wurde, war bisher selten Gegenstand randomisierter klinischer Studien. Lotzmann⁵ untersuchte die Wirkungen von Okklusionsschienen in Dawsonzentrik und Myozentrik und konnte eine stärkere Schmerzreduktion für die Myozentrikgruppe in den ersten Wochen feststellen. Eine Studie von Schindler²⁹ ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der klinischen Ergebnisse zwischen der Myozentrikgruppe und einer Gruppe, deren therapeutische Bisslage mithilfe ballistischer Schließbewegung des Unterkiefers ermittelt wurde. In beiden Studien wurde die Therapie teilweise durch physiotherapeutische oder medikamentöse Maßnahmen begleitet. Die Schienentragzeit betrug zwischen 20 und 24 Stunden täglich.

was significant only in the vertical plane, but a tendency in the dorsal direction was observed in the sagittal plane ($P = 0.11$) (Table 4).

Discussion

The use of TENS as a tool for myocentric jaw position recording, as proposed by Jankelson and Swain², has rarely been investigated in randomized clinical trials. In a comparative study of the effects of occlusal splints manufactured using centric relation (Dawson technique) versus myocentric relation (TENS), Lotzmann observed greater pain relief in the myocentric group in the first weeks of treatment⁵. In a study of therapeutic positioning of the lower jaw with ballistic closing movements, Schindler observed no significant differences between the clinical outcomes of the myocentric group and the ballistic positioning group²⁹. In both studies, adjuvant physical therapy or pharmacotherapy was used in some cases. The splint wearing time ranged from 20 to 24 hours per day.

Table 3 Mean change in position of the right and left condyles and mandibular incisor point relative to incisor point (ICP) with bite registration inserted (in mm).

Tab. 3 Mittelwerte der Lageveränderung der Kondylen rechts und links sowie des UK-Inzisalpunktes bei eingelegtem Bissregistrat im Vergleich zur IKP (in mm).

		Michigan	Myocentric/Myozentrik	Controls/Probanden
right/rechts	Horizontal/horizontal	-0.01 ± 0.47	-0.07 ± 0.42	-0.06 ± 0.36
	Sagittal/sagittal	0.32 ± 0.78	0.43 ± 0.56	0.59 ± 0.66
	Vertical/vertikal	1.43 ± 1.13	0.71 ± 0.92	0.68 ± 0.66
left/links	Horizontal/horizontal	0.02 ± 0.47	0.06 ± 0.42	0.05 ± 0.36
	Sagittal/sagittal	0.32 ± 0.88	0.27 ± 0.76	0.44 ± 0.75
	Vertical/vertikal	1.45 ± 1.10	0.36 ± 0.60	0.71 ± 0.78
Shift in mandibular incisor point in the vertical plane Verlagerung des UK-Inzisalpunktes in der Vertikalebene		2.54 ± 0.78	2.61 ± 0.85	2.57 ± 0.96

Table 4 Mean change in position of the mandibular incisor point in habitual rest position before and after TENS (in mm).

Tab. 4 Mittelwerte der Lageveränderung des UK-Inzisalpunktes in der habituellen Ruhelage im Vergleich vor TENS zu nach TENS (in mm).

Plane/Ebene	Myocentric/Myozentrik		Controls/Probanden	
	Before/vor TENS	After/nach TENS	Before/vor TENS	After/nach TENS
Vertical/vertikal	1.4 ± 1.1	2.6 ± 1.1*	1.5 ± 1.1	2.6 ± 1.3*
Sagittal/sagittal	-0.8 ± 0.7	-1.4 ± 0.8*	-0.8 ± 0.8	-1.2 ± 1.1
Lateral/lateral	0.1 ± 0.3	0.0 ± 0.4	-0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.5

Unlike these studies, where all splints were placed either in the maxilla (Lotzmann) or the mandible (Schindler), the pilot study used both maxillary (Michigan) and mandibular (myocentric) splints as therapeutic options. Approximately 95% of all myocentric splints are placed in the mandible³⁰, whereas the classic Michigan splint is placed in the maxilla²⁶. Data on the impact of splint location (maxilla or mandible) on the therapeutic effect are scarce³¹.

Therapeutic effect – subjective pain reports

In conformity with other studies^{32,33} the present pilot study demonstrated that splint therapy resulted in the significant relief of symptoms in both treatment groups, as determined on the patients' responses to the RDC/TMD pain question, "Have you had pain in the face, jaw, temple, in front of the ear or in the ear in the past month?" At the final examination, 50% of all patients with Michigan splints and

Abweichend von diesen erwähnten Arbeiten, bei denen die Schienen entweder ausschließlich im Oberkiefer (Lotzmann) oder im Unterkiefer (Schindler) eingegliedert wurden, wurde in der Pilotstudie die Wahl zwischen Ober- oder Unterkiefer dem jeweiligen Schienenkonzept (Michigan oder Myozentrik) entsprechend getroffen. Während das myozentrische Konzept in 95 % der Fälle eine Schiene für den Unterkiefer empfiehlt³⁰, wird die klassische Michiganschiene im Oberkiefer getragen²⁶. Die Auswirkungen der Schienenlage (Oberkiefer oder Unterkiefer) auf den therapeutischen Effekt sind selten³¹ untersucht worden.

Therapeutische Wirkung – subjektiver Schmerzreport

In Übereinstimmung mit anderen Studien^{32,33} zeigten die Ergebnisse der Pilotstudie bezüglich der Schmerzfrage („Hatten Sie Schmerzen im Gesicht, dem Kiefer, den

Schlafen, vor dem oder im Ohr im vergangenen Monat?“) in beiden Therapiegruppen eine signifikante Beschwerdereduktion im Verlauf der Schienentherapie. So gaben bei der Abschlussuntersuchung 50 % der Michigan- und 75 % der Myozentrikpatienten an, beschwerdefrei zu sein. Dieser Unterschied zwischen den Gruppen war nicht signifikant ($p > 0,05$).

Therapeutische Wirkung – VAS

Zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung unterschieden sich die VAS-Werte in den Gruppen nicht wesentlich (Michigangruppe: $4,8 \pm 2,2$; Myozentrikgruppe: $4,5 \pm 2,0$). Betrachtet man die Verläufe der VAS hinsichtlich der Werte vor und nach der Behandlung, so zeigten beide Therapiegruppen eine signifikante Reduktion der Beschwerdeintensität (Michigangruppe: $p = 0,0013$; Myozentrikgruppe: $p = 0,0001$). Auffällig war in beiden Gruppen, die deutliche Beschwerdereduktion in der zweiten und dritten Sitzung, verglichen mit der Eingangsuntersuchung (Abb. 6). Diese Tatsache ist insofern interessant, als dass die Schiene erst in der dritten Sitzung eingegliedert wurde und erst nach diesem Zeitpunkt einen Einfluss auf den Therapieverlauf haben konnte. Im Vergleich zu der Michigangruppe erreichte diese Beschwerdereduktion in der Myozentrikgruppe für die zweite und dritte Sitzung sogar ein, in Bezug auf die Ausgangssituation, statistisch signifikantes Niveau. Möglicherweise hat dieser Effekt eine methodologische Ursache. Die Patienten wurden aus organisatorischen Gründen vor der Bissnahmesitzung über ihre jeweilige Zuordnung zur Michigan- oder Myozentrikgruppe informiert. Die Aussicht, mit einer zeitaufwendigen und relativ wenig verbreiteten Form der Funktionstherapie (Myozentrik) behandelt zu werden, kann bei einigen Patienten zu einer Beschwerdereduktion im psychosomatischen Sinn (Placebo) geführt haben. In einer Literaturübersicht beschrieben Greene et al.³⁴, dass der Placebo-Effekt als ein reales, biologisches Phänomen existiert und in den variablen Behandlungsstrategien der CMD-Therapie keine Ausnahme darstellt.

Als weitere Gründe für eine Beschwerdereduktion in den beiden Sitzungen vor der Schieneneingliederung können der charakteristisch-periodische Verlauf der CMD³⁵, Spontanremission, Regression zur Mitte³⁶, aber auch der Einfluss des Aufklärungsgesprächs in der Eingangsuntersuchung in Betracht gezogen werden. Die letztere Annahme wird in der Fachliteratur von einigen Autoren unterstützt.^{1,37,38} Durch die Randomisierung der Patienten sollte sich der Einfluss der letztgenannten Effekte

75% of those with myocentric splints indicated that they were pain-free. The difference between the groups was not significant ($P > 0.05$).

Therapeutic effect – VAS scores

At the time of the initial examination, there were no significant differences in VAS scores between the two groups (Michigan splints: 4.8 ± 2.2 vs. myocentric splints: 4.5 ± 2.0). As determined on the VAS profiles before and after treatment, there was a significant reduction in pain intensity in both groups (Michigan splints: $P = 0.0013$ vs. myocentric splints: $P = 0.0001$). Interestingly, both groups exhibited the significant relief of symptoms at the second and third visits compared to baseline (Fig 6). This is remarkable in that the splints were first inserted during the third session, so they could not have had an effect on the treatment outcome before that time. Compared to baseline, the reduction of symptoms observed on the second and third examination dates even reached statistical significance in the myocentric group, but not in the Michigan group. The reason for this effect may have been methodological. Due to organizational reasons, the patients were informed of whether they were assigned to the Michigan group or myocentric group before their bite registration appointment. The prospect of receiving a time-intensive and relatively uncommon form of functional therapy (myocentric splint) could potentially have resulted in a reduction of pain symptoms in some patients, due to a psychosomatic (placebo) effect. In a review of the literature, Greene et al.³⁴ concluded that the placebo effect is a real biological effect that does not make exceptions for the variable treatment strategies for TMD.

Other potential reasons for the relief of symptoms observed at the two sessions before splint insertion include the typically intermittent course of TMD³⁵ spontaneous remission, regression to the mean³⁶ and even the effects of the patient information talk during the baseline examination. The latter assumption is supported by some authors in the literature^{1,37,38}. Due to randomization of the patients, the latter effects should be evenly distributed across the two treatment groups for the most part.

Effect of TENS on VAS scores

In agreement with the results of other studies^{10,13,39,40}, 45-minute TENS treatment led to significant pain relief ($P = 0.0006$) in the myocentric group (Fig 6). Since there was no significant difference between the VAS scores for the second and third session (3.1 cm vs. 2.9 cm), TENS-induced reduction of pain is likely to be a temporary effect.

In a study by Eble et al⁴¹, the effect of TENS was found to last for up to 7 hours in case of low masticatory muscle activity, as determined by electromyography. A recent study also shows a short-term effect of high-frequency TENS on craniomandibular pain intensity¹³.

Effect of treatment type

A significant reduction in VAS scores was observed at the first follow-up examination, ie, after 4 weeks of wearing the respective splint at night. Although patients in the myocentric group had lower VAS scores, they were not significantly different from those in the Michigan group at that time. For the most part, the course of pain reduction over time was parallel in the two groups (Fig 6).

At the second follow-up examination, ie, at 12 weeks, there was a stagnation of pain reduction in the Michigan group: Although the VAS scores were significantly lower than a baseline ($P = 0.0013$), there was no change compared to the first follow-up examination ($P > 0.05$). In the myocentric group, on the other hand, the VAS scores at the second follow-up were lower than those observed at the first follow-up visit, but this difference was not significant. A larger sample size might lead to a clearer result in this case. The myocentric group also displayed a significant reduction of VAS scores at the second follow-up visit. Group comparison showed that VAS scores in the myocentric group were significantly lower ($P = 0.0226$) at that time.

In the past, some studies have shown that both occlusal splints and non-occluding placebo splints lead to significant pain reduction in TMD patients^{42,43}, whereas other studies have demonstrated a superior therapeutic effect of occlusal splints^{32,44}. At any rate, splint therapy generally produced significant pain reduction compared to non-treatment⁴⁵.

Contrary to the results of Lotzmann⁵, the pilot study did not reveal any evidence of a faster reduction of pain in the myocentric group, but a steady decrease in VAS scores was observed over a 12-week period. Methodological differences between the two studies could be a reason for these discrepancies. For example, the splints used in the pilot study were worn only at night, whereas those in Lotzmann's study were worn 24 hours a day. Furthermore, the control group was treated with occlusal splints made using Dawson's bimanual manipulation technique. The accompanying home physical therapy exercises that Lotzmann prescribed from the 46th day after splint insertion could be another reason for the observed difference between Lotzmann's study and the present pilot study. Because all splints used by Lotzmann were of the same design and placed in the maxilla, an impact of splint design or location on the therapeutic

weitestgehend gleichmäßig auf beide Gruppen verteilt haben.

Einfluss der TENS auf die VAS-Werte

Den Ergebnissen anderer Studien^{10,13,39,40} entsprechend, führte die 45-minütige TENS-Applikation zu einer signifikanten Schmerzreduktion ($p = 0,0006$) in der Myozentrikgruppe (Abb. 6). Da sich die VAS-Werte der zweiten und dritten Sitzung nicht signifikant unterschieden (3,1 cm vs. 2,9 cm), ist von einer zeitlich begrenzten Wirkung der TENS-induzierten Schmerzreduktion auszugehen. So konnte in einer Studie von Eble et al.⁴¹ die Wirkung von TENS auf das EMG bei ruhiger Kieferhaltung bis zu sieben Stunden nach der TENS-Applikation beobachtet werden. Auch eine Arbeit neueren Datums¹³ belegt einen zeitlich begrenzten Effekt auf die Beschwerdestärke für eine hochfrequente TENS-Applikation.

Einfluss der Therapieform

Bei der ersten Kontrollsituation, d. h. nach vier Wochen nächtlichen Schienetragens, zeigten beide Gruppen eine signifikante Reduktion der VAS-Werte. Zwar zeigte die Myozentrikgruppe niedrigere Werte auf der VAS, welche sich zu diesem Zeitpunkt aber nicht signifikant von der Michigangruppe unterschieden. Der Verlauf der Beschwerdereduktion verlief in diesem Zeitraum in beiden Gruppen weitgehend parallel (Abb. 6).

Die VAS-Werte in der zweiten Kontrollsituation, d. h. nach zwölf Wochen, zeigten eine Stagnation der Beschwerdereduktion in der Michigangruppe. Verglichen mit der Anfangssituation belegen die Daten zwar eine signifikante Reduktion ($p = 0,0013$), jedoch zeigten sie keine weitere Veränderung im Vergleich zur ersten Kontrollsituation ($p > 0,05$). In der Myozentrikgruppe hingegen konnte in der zweiten Kontrollsituation eine Beschwerdereduktion im Vergleich zur ersten Kontrollsituation beobachtet werden, sie erreichte nicht das Signifikanzniveau. Möglicherweise würde hier eine größere Patientenzahl ein eindeutigeres Ergebnis hervorbringen. Auch die Myozentrikgruppe zeigte eine in Bezug auf die Ausgangssituation signifikante Reduktion der VAS-Werte in der zweiten Kontrollsituation. Im Gruppenvergleich zeigte die Myozentrikgruppe in dieser Sitzung signifikant niedrigere Werte ($p = 0,0226$).

In der Vergangenheit zeigten einige Arbeiten^{42,43} sowohl für Okklusionsschienen als auch für nicht-okkludierende Placebo-Schienen eine signifikante Beschwerdereduktion. Andere Studien^{32,44} belegten einen besseren Therapieeffekt beim Einsatz von Okklusionsschienen.

Generell konnte im Vergleich zu einer Nichtbehandlung eine signifikante Beschwerdereduktion beobachtet werden.⁴⁵

Abweichend von den Ergebnissen Lotzmans⁵ zeigten die Ergebnisse der Pilotstudie keine schnellere Reduktion der Beschwerden auf Seiten der Myozentrikgruppe, jedoch einen über zwölf Wochen stetigeren Abfall der VAS-Werte. Methodische Unterschiede zu Lotzmans Arbeit können hierfür als ursächlich angenommen werden. Wurden in der Pilotstudie die Schienen nur nachts getragen, betrug die Schientragedauer in der Arbeit von Lotzmann 24 Stunden am Tag. Weiterhin wurde die Vergleichsgruppe mit Okklusionsschienen in klassischer Dawson-Zentrik behandelt. Auch die bei Lotzmann flankierenden, physiotherapeutischen Heimübungen ab dem 46. Tag nach Schieneingliederung können als Grund für den beobachteten Unterschied zwischen der Untersuchung Lotzmans und der Pilotstudie angenommen werden. Da Lotzmann ausschließlich Schienen gleichen Designs nur im Oberkiefer verwendete, erscheint eine Auswirkung des Schienendesigns oder der Schienenlage auf den Therapieeffekt unwahrscheinlich. In der Pilotstudie wurden jedoch entsprechend der Gruppeneinteilung Schienen im Ober- sowie im Unterkiefer eingesetzt, sodass ein Einfluss auf den Therapieeffekt nicht ausgeschlossen werden kann.

Schienenkomfort

Sowohl in der ersten als auch in der zweiten Kontrollsituation wurden die Patienten gebeten, den Tragekomfort der Okklusionsschiene auf der VAS einzustellen. Hohe Werte repräsentierten dabei einen schlechteren Tragekomfort. In der ersten Kontrollsituation zeigte die Myozentrikgruppe deutlich niedrigere Werte als die Michigangruppe (Abb. 7). Der Unterschied ($p = 0,0511$) verfehlte marginal das Signifikanzniveau.

Retrospektiv betrachtet erforderte die Michiganschiene mehr Okklusionskorrekturen als die Myozentrikschiene, sowohl bei der Schieneingliederung als auch während der ersten Kontrollsituation. Hingegen waren in der zweiten Kontrollsituation nur noch selten Okklusionskorrekturen vorzunehmen. Es kann angenommen werden, dass sich der Tragekomfort in der Michigangruppe aufgrund der Einschleifmaßnahmen verbesserte (Vergleich erste zu zweiten Kontrollsituation: $p = 0,0199$). In der Myozentrikgruppe änderte sich am Tragekomfort nur wenig. Im Gruppenvergleich konnten in der zweiten Kontrollsituation keine signifikanten Unterschiede im Tragekomfort mehr festgestellt werden.

Die Verbesserung des Tragekomforts in der Michigangruppe legt den Schluss nahe, dass weniger die

effect seems unlikely. In the pilot study, however, maxillary or mandibular splints were used depending on the treatment group. Therefore, an effect of splint location on the therapeutic effect cannot be excluded in the latter case.

Wearing comfort

At the first and second follow-up visits, the patients were asked to rate the occlusal splints for wearing comfort on a visual analog scale. The higher the VAS score, the lower the wearing comfort. The scores in the myocentric group were significantly better than those in the Michigan group at the first follow-up visit (Fig 7). The difference was just below the level of significance ($P = 0.0511$).

Retrospective analysis revealed that the Michigan splints required more occlusal corrections than the myocentric splints at splint insertion as well as at the first follow-up visit. Occlusal corrections were rarely needed at the second follow-up examination. It can be assumed that the wearing comfort of the Michigan splints increased due to corrective grinding (difference between first and second follow-up visit: $P = 0.0199$). Little change in wearing comfort was observed in the myocentric group. At the second follow-up visit, there was no significant difference in wearing comfort between the groups.

The observed improvement in wearing comfort in the Michigan group suggests that the adjustment of splint occlusion towards habitual intercuspation probably had a greater effect on wearing comfort than splint position (maxilla vs. mandible). Nonetheless, this improvement apparently had no effect on general pain relief in the Michigan group. According to recent findings, the use of an occlusal splint can contribute to the reorganization of muscle function patterns, thereby relieving the load on painful muscle areas (Fig 10)¹. The induction of differentiated functional pattern changes by Michigan splints and myocentric splints can therefore be regarded as a possible explanation for the difference in pain reduction over time between the two patient groups. Schindler et al also suspect that the therapeutic effect of occlusal splints is due to discrete changes in maxilla-mandibular relationships (within an individual's physiological tolerance range)⁴⁶. In the pilot study, a condyrometer was used to measure the parameters "condylar position" (horizontal, sagittal and vertical) and (vertical) "movement of the incisor point" in order to assess the change in jaw relationships. The measured values in the two patient groups were nearly identical with the exception of vertical condylar position change, which exhibited clear caudal positioning in the Michigan group (Fig 9). This increase in vertical dimension in the posterior region may have been responsible for

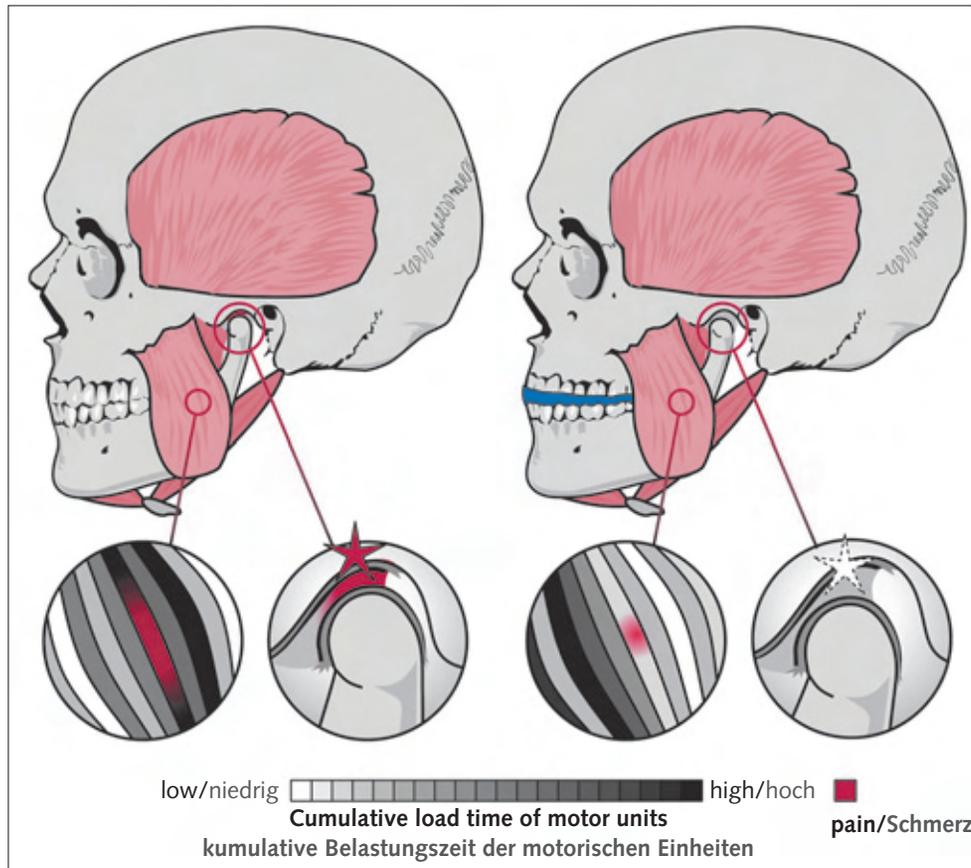


Fig 10 Change in functional patterns due to occlusal splint therapy. Left: Painful overloaded masticatory muscle and joint sites. Right: Occlusal splint insertion results in a reduction of load on pain sites due to a change in masticatory muscle function patterns.

Abb. 10 Funktionsmusteränderung durch eine Okklusionsschiene, links: schmerzhaft überlastete Kiefermuskel- und Gelenkbereiche, rechts: Entlastung der schmerzhaften Areale durch veränderte Funktionsmuster in der Kiefermuskulatur bei eingebrachter Okklusionsschiene.

the reduction of splint comfort in the posterior region in the Michigan group. Therefore, adjustment of the splints at the first follow-up visit might have led to an improvement of wearing comfort, but may also have shifted the functional patterns towards the habitual intercuspatation position. This would have led to a return towards the initial pain status, which might have contributed to the stagnation of pain reduction. Nevertheless, the effect of the change in position of the mandible on the therapeutic effect must be viewed critically due to the number of different variables involved. In the pilot study, all changes in the position of the mandible were measured extraorally, ie, using a condymer, and thus only for the obtained bite registration. Therefore, only approximate conclusions can be drawn about the clinical change in position of the mandible.

Palpation findings

Whereas the subjective pain report and VAS scores demonstrated significant pain reduction in both patient groups, palpation demonstrated significant pain reduction ($P = 0.0002$) of painful muscle palpation sites (MPS) only

Schienenlage (Ober- beziehungsweise Unterkiefer), sondern eher die Veränderung der Schienenokklusion in Richtung der habituellen Interkuspitation den Tragekomfort der Schiene beeinflusst hat. Dennoch hatte diese Verbesserung scheinbar keinen Einfluss auf die allgemeine Beschwerdereduktion in der Michigangruppe.

Neueren Erkenntnissen folgend kann die Inkorporation einer Okklusionsschiene zu einer Neuorganisation des intramuskulären Funktionsmusters und somit zu einer Entlastung schmerzhafter Muskelareale beitragen (Abb. 10).¹ Demnach können differenzierte Funktionsmusteränderungen durch die Michigan- und die Myozentrikschiene als eine mögliche Erklärung für den unterschiedlichen Verlauf der Beschwerdereduktion zwischen den Patientengruppen angesehen werden. So vermuteten auch Schindler et al.⁴⁶, dass diskrete Änderungen der Kieferrelation, innerhalb individueller, physiologischer Toleranzbereiche, den therapeutischen Effekt von Okklusionsschienen bewirken. Zur Beurteilung der Kieferrelationsveränderung wurden in der Pilotstudie die Parameter Kondylenposition (horizontal, sagittal, vertikal) und die Verlagerung des Inzisalpunktes (vertikal) im Kondymer

gemessen. Mit Ausnahme der vertikalen Kondylenpositionsveränderung, welche in der Michigangruppe eine deutliche Kaudalpositionierung aufweist (Abb. 9), zeigten beide Patientengruppen nahezu identische Werte. Möglicherweise führte diese Erhöhung der Vertikaldimension im posterioren Bereich zu dem beschriebenen beeinträchtigten Schienekomfort in der Michigangruppe. Die Einschleifkorrekturen in der ersten Kontrollsituation könnten somit zwar zu einer Verbesserung des Tragekomforts, aber auch zu einer Funktionsmusteränderung in Richtung der habituellen Interkuspidationsposition geführt haben. Dies führte in Richtung des beschwerdebehafteten Ausgangszustandes, was möglicherweise die Stagnation der Beschwerdereduktion begünstigte. Dennoch muss die Auswirkung der Unterkieferlageveränderung auf den Therapieeffekt wegen zahlreicher Variablen kritisch betrachtet werden. Die Lageveränderungen des Unterkiefers wurden in der Politstudie rein extraoral, d. h. im Kondylothermometer vermessen, und dabei auch nur das ermittelte Bissregistrat. Es können daher nur annähernde Aussagen über die klinische Lageveränderung gemacht werden.

Palpationsbefund

Im Gegensatz zu den Ergebnissen des subjektiven Schmerzreports und der VAS, bei denen in beiden Patientengruppen eine signifikante Beschwerdereduktion zu beobachten war, zeigten die Palpationsbefunde nur für die Myozentrikgruppe eine signifikante Reduktion ($p = 0,0002$) schmerzhafter Muskeltastpunkte (MTP; Abb. 8). Zum Zeitpunkt der Eingangsuntersuchung wiesen beide Gruppen eine etwa gleiche Anzahl druckdolenter Muskelareale auf. In der ersten und zweiten Kontrollsituation zeigte die Myozentrikgruppe jedoch signifikant niedrigere Werte als die Michigangruppe ($p = 0,0051$ vs. $p = 0,024$). Verglichen mit dem Eingangsbefund war dabei in der Abschlussuntersuchung für die Michigangruppe eine Reduktion druckschmerzhafter MTP um ca. 13 % und in der Myozentrikgruppe um ca. 39 % zu verzeichnen. Es muss betont werden, dass der Palpationsbefund eine Momentaufnahme des Therapieverlaufs darstellt und einem gewissen Einfluss durch die Tagesform des Patienten und dem zyklischen Verlauf der CMD unterliegt.

Vergleicht man die Palpationsbefunde mit den Werten der visuellen Analogskala, ist zu beobachten, dass das subjektive Beschwerdeempfinden, das der Patient auf der VAS eingestellt hat, einen deutlich anderen Verlauf in den Kontrolluntersuchungen aufwies, als die objektivierbaren schmerzhaften Muskelareale. Folgt man den Daten in der Pilotstudie, kann nicht grundsätzlich von

in the myocentric group (Fig 8). The number of painful muscle palpation sites in the two groups was approximately equal at baseline. However, at the first and second follow-up visits, the number was significantly lower in the myocentric group than in the Michigan group ($P = 0.0051$ vs. $P = 0.024$). The percentage reduction in the number of painful muscle palpation sites at the final examination compared to baseline was approximately 39% in the myocentric group compared to only 13% in the Michigan group. It must be stressed that palpation findings provide only a snapshot in time of the treatment course and that they are influenced by how the patient is feeling on that specific day and by the cyclic nature of TMD.

When comparing palpation findings with VAS scores, one can observe that the temporal course of subjective pain scores, such as those indicated on a VAS scale, is significantly different from that of objective pain scores, such as the number of painful muscle palpation sites detected in the follow-up examinations. Following the data in the pilot study, one cannot fundamentally assume that a significant reduction in VAS scores will equate to a significant reduction in the number of painful muscle palpation sites. In principle, painful muscle palpation sites can be detected in patients as well as in subjectively symptom-free controls⁴⁷. A clear discrepancy between objective clinical findings and subjective pain scores was also observed in the SHIP study by Gesch et al⁴⁸. Nevertheless, the results of the pilot study suggest that myocentric splints result in a better reduction of load on painful muscle palpation sites, due to a therapeutic change in function patterns. As already mentioned in the section on wearing comfort, the difference between the two groups of patients may have been due to significant posterior verticalization with the Michigan splint.

Condylar position

A condylothermometer was used for extraoral determination of condylar position in the pilot study. Due to this and the fact that it was necessary to grind the splint in some cases, the measured condylar positions should best be regarded as reference values for therapeutic positioning of the condyles. Nevertheless, they reflect the momentary status at the time of jaw position recording.

A significant vertical change in condylar position was observed in the Michigan group. The reason for this verticalization should primarily be sought in the design of the bite registration baseplate. A double layer of Beauty Pink Wax was used according to standard bite registration procedures^{49,50}. During registration, the wax bite plate was

placed only on the mandibular posterior teeth, leaving the anterior teeth uncovered. The objective was to prevent excessive heightening of the incisal vertical dimension, especially in patients with a deep bite. Indeed, there was no significant difference between the groups in terms of the change in position of the mandibular incisor point after the registration material was inserted. Using a bite registration technique that was similar, albeit with full coverage of the row of teeth, Utz determined that the average incisal edge distance was 4.7 mm⁵⁰. In that case, the intention of the study was to evaluate the reproducibility of different bite registration techniques using different materials. Thus, therapeutic bite registrations were not studied. According to Utz, the increase in interocclusal height should be kept as small as possible. The maxillomandibular records made in the pilot study were used as therapeutic jaw relationships. Furthermore, no changes in vertical dimension were made on the articulator.

As shown in the overview of position changes, the Michigan group had much more homogeneous values in the vertical dimension (Table 3). This was due to the equal increase in vertical dimension on each side due to the finished wax bite plate. The myocentric group exhibited significant differences between the sides. A variable direction of pull of the anatomical structures involved (eg, the muscles that open the mouth) together with the reduced activity of the levator muscles following TENS treatment can be assumed to be the cause of this. Interestingly, the control group tended to exhibit more uniform verticalization of the condyles on the right and left side. Further studies are needed to answer the question of whether myocentric jaw relation registration causes asymmetrical verticalization of the condyles more frequently in TMD patients than in healthy subjects. Based on the current data, it is only possible to determine the relative change in condylar position relative to the intercuspation position. Therefore, it is not possible to draw clinical conclusions regarding positioning of the condyle in the disc-fossa complex.

There was no significant difference between the myocentric group and the control group in terms of condylar position. In the pilot study, ventral positioning of the mandible due to myocentric jaw position recording was not present, as is often described in the literature^{5,29,51,52}. Although the myocentric condylar position was ventral to the maximum intercuspation position, it was not significantly different from that of the Michigan group. This ventral movement of the condyles is presumably attributable to physiological anterior translation of the condyles when increasing the interocclusal space. The control group exhibited a tendency towards greater verticalization of

einer signifikanten Reduktion der VAS-Werte auf eine ebenfalls signifikante Reduktion druckdolenter MTP geschlossen werden. Prinzipiell können auch bei subjektiv symptomfreien Probanden oder Patienten schmerzhaft MTP gefunden werden.⁴⁷ So beschrieben auch Gesch et al. im Rahmen der SHIP-Studie⁴⁸ eine deutliche Diskrepanz zwischen den objektivierbaren klinischen Befunden und den subjektiven Schmerzangaben der Untersuchten. Dennoch lassen die Ergebnisse der Pilotstudie eine bessere Entlastung schmerzhafter Muskelareale im Sinne einer therapeutischen Funktionsmusteränderung durch die Myozentrikschiene vermuten. Wie bereits für den Schienekomfort beschrieben, könnte der Unterschied zwischen den Patientengruppen die deutliche posteriore Vertikalisation in der Michigangruppe als Ursache haben.

Kondylenposition

Die Ermittlung der Kondylenposition wurde in der Pilotstudie extraoral mithilfe eines Kondymeters durchgeführt. Aus diesem Grund und der Tatsache, dass einige Schienen eingeschliffen werden mussten, sollten die ermittelten Kondylenpositionen eher als Richtwert für die klinische Verlagerung der Kondylen angesehen werden. Dennoch spiegeln sie den Zustand zum Zeitpunkt der Kieferrelationsbestimmung wider.

Für die Michigangruppe konnte eine ausgeprägte Vertikalverlagerung der Kondylen beobachtet werden. Der Grund für diese Vertikalisation ist vor allem in der Gestaltung der Bissregistratplatte zu suchen. Gängigen Registriertechniken^{49,50} folgend, wurden die Beauty-Pink-Wax-Platten in doppelter Lage verwendet. Während des Registrierens wurde die Wachsplatte nur auf den Seitenzähnen des Unterkiefers positioniert, während die Frontzähne unbedeckt blieben. Dies gewährleistete, dass eine übermäßige Erhöhung der inzisalen Vertikaldimension – insbesondere bei Tiefbissen – verhindert werden konnte. In der Tat konnten zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Lageveränderung des Unterkiefer-Inzisalpunktes bei eingelegtem Registrat beobachtet werden. Für eine ähnliche Registriertechnik, allerdings mit einer vollständigen Bedeckung der Zahnreihe, beschrieb Utz⁵⁰ eine Schneidekantendistanz von durchschnittlich 4,7 mm. Allerdings war die Intention der zitierten Studie die Beurteilung der Reproduzierbarkeit verschiedener Registriertechniken mit verschiedenen Materialien. Es handelte sich also nicht um therapeutische Bissregistrate. So empfahl Utz, die interokklusale Erhöhung so gering wie möglich zu gestalten. Die in der Pilotstudie ermittelten Bissregistrate

wurden als therapeutische Bisse verwendet. Weiterhin wurden keinerlei Veränderungen der Vertikaldimension im Artikulator vorgenommen.

Wie aus der Übersicht der Lageveränderungen zu erkennen ist, zeigt die Michigangruppe im Seitenvergleich deutlich homogenere Werte in der Vertikalen (Tab. 3). Grund hierfür war die seitengleiche Erhöhung der Vertikaldimension durch das konfektionierte Wachsregistrat. Die Myozentrikgruppe zeigte hierbei deutliche Unterschiede zwischen den Seiten. Als Ursache kann hierfür eine differenzierte Zugrichtung der beteiligten anatomischen Strukturen (zum Beispiel Kieferöffner) bei reduzierter Muskelaktivität der Elevatoren nach TENS angenommen werden. Interessanterweise zeigte die Probandengruppe tendenziell eine gleichmäßigere Vertikalisation der Kondylen auf der rechten und der linken Seite. Zur Klärung der Frage, ob myozentrische Kieferrelationen bei Patienten häufiger als bei Gesunden asymmetrische Vertikalverlagerungen der Kondylen hervorrufen, sind weiterführende Studien notwendig. Anhand der vorliegenden Daten ist es nur möglich, die relative Lageveränderung der Kondylen zur Interkuspidationsposition zu bestimmen. Somit ist es nicht möglich, klinische Aussagen bezüglich der Positionierung des Kondylus im Diskus-Fossa-Komplex zu treffen.

Im Vergleich der Myozentrikgruppe mit den Probanden konnten keine signifikanten Unterschiede in der Kondylenposition beobachtet werden. Die in der Literatur häufig beschriebene ventrale Positionierung der Mandibula durch eine myozentrische Kieferrelationsbestimmung^{5,29,51,52} konnte in der Pilotstudie nicht ermittelt werden. Zwar lag die myozentrische Kondylenposition ventral der MI, zeigt jedoch keinen signifikanten Unterschied zu der Michigangruppe. Vermutlich ist diese Ventralbewegung der Kondylen auf die physiologischerweise anterior gerichtete Translation der Kondylen bei der Erhöhung des interokklusalen Abstandes zurückzuführen. In der Probandengruppe konnte eine tendenziell stärkere Ventralisierung der Kondylen in der myozentrischen Position beobachtet werden (Abb. 9). Ähnliche Ergebnisse wurden, wenn auch in stärkerem Ausmaß, von Polansky et al.⁵² beschrieben, bei denen gesunde Probanden signifikant anteriore Kondylenpositionen zeigten. Die beschriebenen Arbeiten^{5,29,51,52} unterscheiden sich teilweise in der Art der myozentrischen Kieferrelationsbestimmung. So wurde in den Studien von Lotzmann⁵ und Polansky⁵² nach 45-minütiger TENS-Applikation ein Registratträger mit einem Registrierkunststoff beschickt und der Kiefer in diesen bis zur eindeutigen Verschlüsselung der Kieferrelation eingepulst. Häufig muss hierfür die Stimulationsamplitude deutlich angehoben werden. Abhängig von

the condyles in the myocentric position (Fig 9). Polansky et al observed a similar though stronger effect in healthy controls, which exhibited significantly anterior condylar positions⁵². The cited articles partly differ in terms of the methods used for myocentric jaw position recording^{5,29,51,52}. In the studies by Lotzmann⁵ and Polansky⁵² TENS was performed for 45 minutes, a tray was then loaded with registration material, and the jaw was pulsed in it until the unequivocal registration of maxillomandibular relationships was accomplished. It was often necessary to raise the stimulation amplitude considerably for this purpose. Jankelson recommended increasing the existing amplitude by up to 50% of the clinical threshold (level at which TENS induces the first visible upward movement of the mandible), depending on the consistency of the bite registration material⁵³. Lotzmann did not attribute the ventralization of the mandible to the normalization of jaw muscle tone, but rather to increased stimulation of the superficial part of the masseter muscle⁵. This part of the masseter is also active in the initial phase of mandibular protrusion. Thus, increased stimulation amplitude could conceivably have led to increased protrusion.

A modified version of the original method of myocentric jaw position recording was used in the pilot study⁵³. The main difference was the use of an articulator/registration system, which permitted the reliable and reproducible programming of the determined myocentric mandibular position on a computer. The jig technique employed in the pilot study also did not correspond to Jankelson's original protocol⁵³. The modified jig technique enabled reliable localization of the determined jaw position, even in TMD patients with uncoordinated mobility of the lower jaw. In the original Jankelson method, a compass is used to determine the TENS-induced increase in interocclusal space and the resulting myocentric relation. The nose and chin are marked and used as reference points for these measurements. Although the TENS pulses "guide" the mandible in all spatial planes, this method does not make it possible to identify or influence slight sagittal or lateral displacement of the mandible (caused by the bite registration material, for example). In the pilot study, this type of monitoring was possible due to the computer-assisted determination of the myocentric jaw position during the registration procedure.

The suspected reason for the TENS-induced change in position of the mandible, apart from the general reduction in jaw muscle tone⁵³, is the thixotropic properties of muscle tissues after abrupt acceleration⁵⁴. Therefore, Schindler concluded that the TENS-induced reduction in muscle stiffness (thixotropy) was involved in the ventrocaudal lowering of

the mandible due to its own weight²⁹. This interpretation is consistent with the results of the pilot study, where both TMD patients and healthy controls exhibited a condylar position change of roughly equal magnitude. If a reduction in muscle tone alone were responsible for the shift effect, then there would be differences in the magnitude of the shift between TMD patients and healthy controls, because hypertonic mandibular closing muscles are less common in the latter group. Therefore, low-frequency TENS treatment leads to mandibular position changes of similar extent in TMD patients and healthy controls.

Effects of TENS on the rest position

Consistent with the last remarks, the present study also observed a significant effect of TENS on the rest position of the mandible. The rest position was determined by magnetic kinesiography using the Frankfurt Horizontal. Relative to maximum intercuspation, an increase in the vertical dimension and slight dorsal movement of the mandible was observed in the myocentric group as well as in the controls. This finding can be attributed to verticalization of the mandible due to slight opening movement. In this case, the mandible produces dorsocaudal movement due to condylar path inclination and the viscoelastic recovery properties of the structures involved in mouth opening (lateral pterygoid muscle and suprahyoid complex). Interestingly, the data did not show significant differences between the groups either before or after TENS treatment. As explained above, the fact that TENS led to a significant change in position of the mandible in TMD patients as well as healthy controls can be attributed to the thixotropic properties of the masticatory musculature.

Conclusion and implications

As proven by the results of the present study, both myocentric and manual methods of jaw position recording in occlusal splint therapy lead to relief of masticatory muscle pain in patients with TMD. However, myocentric splints lead to a greater reduction of pain than Michigan splints and are thus the more effective option for treatment of these patients. Even so, neuromuscular registration of myocentric occlusion is a computer-assisted and thus more precise method, so the time and equipment requirements are considerable. Finally, the use of low-frequency TENS alone (ie, independent of myocentric splint therapy) can also be recommended for treatment of muscular pain due to its pain-relieving effect. It is particularly helpful in the short-term treatment of acute pain of the masticatory muscles.

der Konsistenz des Registriermaterials empfahl Jankelson⁵³ eine Erhöhung der bestehenden Amplitude von bis zu 50 % des klinischen Schwellenwertes (Wert, bei dem die erste Aufwärtsbewegung des Unterkiefers durch den TENS-Impuls beobachtet werden kann). Lotzmann⁵ führte die Ventralisierung der Mandibula nicht nur auf die Tonusnormalisierung der Kiefermuskulatur, sondern auch auf eine verstärkte Stimulation der Pars superficialis des M. masseters zurück. Dieser Teil des M. masseters ist auch in der initialen Protrusionsphase des Unterkiefers aktiv. Es ist somit denkbar, dass eine erhöhte Stimulationsamplitude zu einer verstärkten Protrusion geführt hat.

In der Pilotstudie wurde das ursprüngliche Verfahren der myozentrischen Kieferrelationsbestimmung⁵³ modifiziert. Hauptunterschied war der Gebrauch des Registrierartikulators, welcher eine sichere und reproduzierbare Programmierung der am Computer ermittelten myozentrischen Unterkieferposition erlaubte. Auch die beschriebene Jig-Technik entsprach nicht dem Originalprotokoll Jankelsons⁵³. Die verwendete Jig-Technik ermöglichte auch CMD-Patienten mit diskordinierter Unterkiefermobilität ein sicheres Auffinden der ermittelten Kieferposition. In der ursprünglichen Methode nach Jankelson wurde die TENS-induzierte Erhöhung des Interokkluslabstandes und die daraus ermittelte Myozentrik mithilfe eines Zirkels bestimmt. Für diese Messung wurden an Nase und Kinn Referenzpunkte markiert. Zwar „führt“ der TENS-Impuls den Unterkiefer in allen Raumebenen, dennoch ist es bei dieser Methode nicht möglich, einen geringfügigen sagittalen oder lateralen Versatz der Mandibula (zum Beispiel bedingt durch das Registriermaterial) zu erkennen oder zu beeinflussen. In der Pilotstudie wurde diese Kontrolle während des Registriervorgangs mithilfe einer computergestützten Ermittlung der myozentrischen Unterkieferposition ermöglicht.

Als Grund für die TENS-induzierte Verlagerung der Mandibula wird neben der allgemeinen Tonusreduktion der Kiefermuskulatur⁵³ auch deren thixotropes Verhalten nach abrupten Beschleunigungen⁵⁴ angenommen. So interpretierte Schindler²⁹, dass die Reduktion der Muskelsteifigkeit (Thixotropie) durch TENS am ventro-kaudalen Absinken der Mandibula, bedingt durch deren Eigengewicht, beteiligt ist. Diese Interpretation deckt sich mit den Ergebnissen der Pilotstudie, bei der sowohl für Patienten als auch für Gesunde eine Veränderung der Kondylenposition etwa gleichen Ausmaßes beobachtet werden konnte. Würde allein die Tonusreduktion für den Verlagerungseffekt angenommen werden, müsste von einer unterschiedlich starken Ausprägung der Verlagerung bei Patienten und Probanden ausgegangen werden, da Letztere seltener hypertone Kieferschließer aufweisen sollten. Eine Behandlung mit

niederfrequenten TENS-Impulsen führt also sowohl bei Patienten als auch bei Gesunden zu einer Lageveränderung der Mandibula in ähnlichem Ausmaß.

Einfluss der TENS auf die Ruhelage

Den letzten Ausführungen folgend konnte ebenfalls eine signifikante Beeinflussung der Ruhelage des Unterkiefers durch TENS beobachtet werden. Die Ruhelage wurde mithilfe eines Magnetkinesiografen im Unterkiefer-Frontzahnbereich mit Bezug zur Frankfurter Horizontalen ermittelt. Mit Referenz zur MI zeigte sich sowohl in der Myozentrikgruppe als auch bei den Probanden eine Erhöhung der Vertikaldimension und eine geringfügige Verlagerung des Unterkiefers nach dorsal. Diese Beobachtung lässt sich durch die Vertikalisation der Mandibula im Sinne einer leichten Öffnungsbewegung erklären. Hier vollzieht der Unterkiefer, bedingt durch die Kondylenbahnneigung und die viskoelastischen Rückstelleigenschaften der an der Mundöffnung beteiligten Strukturen (M. pterygoideus lateralis, suprahyoidaler Komplex), eine dorso-kaudal gerichtete Bewegung. Interessanterweise zeigten die Daten weder vor noch nach der TENS-Behandlung signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Tatsache, dass eine TENS-Applikation sowohl bei den Patienten als auch bei den

Probanden zu einer signifikanten Lageveränderung der Mandibula führt, lässt sich ebenfalls, wie oben bereits ausgeführt, mit den thixotropen Eigenschaften der Kiefermuskulatur begründen.

Fazit für die Praxis

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass eine Behandlung mit Okklusionsschienen sowohl in myozentrischer als auch in handgeführter Kieferrelation zu einer Verringerung der Kiefermuskelschmerzen bei Patienten führt. Da die Beschwerdereduktion durch den Einsatz von Myozentrikschienen ausgeprägter als bei den Michiganschienen ausfällt, stellt die Verwendung myozentrischer Okklusionsschienen die wirkungsvollere Option bei der Behandlung von CMD-Patienten dar. Allerdings erfordert die computergestützte und damit präzisere Myozentrikbehandlung einen erheblichen zeitlichen und apparativen Aufwand. Abschließend kann auch eine alleinige Anwendung von niederfrequenter TENS, d. h. ohne den Einsatz einer Myozentrikschiene, aufgrund ihrer schmerzreduzierenden Wirkung für die Therapie muskulärer Beschwerden empfohlen werden. Dieses gilt vor allem für die vorübergehende Behandlung akuter Schmerzen der Kiefermuskulatur.

References

1. Schindler HJ, Türp JC. Myalgie der Kiefermuskulatur. In: Hugger A, Göbel H, Schilgen M (ed.). *Gesichts- und Kopfschmerzen aus interdisziplinärer Sicht* Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2006:65–75.
2. Jankelson B, Swain CW. Physiological aspects of masticatory muscle stimulation: The myomonitor. *Quintessence Int* 1972;3:57–62.
3. Sessle BJ. The neural basis of temporomandibular joint and masticatory muscle pain. *J Orofac Pain* 1999;13:238–245.
4. Lund J, Donga R, Widmer CG, Stohler CS. The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can J Physiol Pharmacol* 1991;69:683–694.
5. Lotzmann KU. Entwicklung und Anwendung des Temporomandibular-Positions-Comparators (TMPC) zur dreidimensionalen Erfassung statischer Verlagerungen der Mandibula. Untersuchungen zur mandibulären Autoreposition im Verlauf der okklusalen Initialtherapie dysfunktionsbedingter Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. Med. Habilitationsschrift. Göttingen 1994.
6. Dawson PE. Evaluation, diagnosis, and treatment of occlusal problems. St. Louis: Mosby, 1976;59–64.
7. Jankelson B, Radke JC. The Myo-monitor: its use and abuse (II). *Quintessence Int* 1978;9:35.
8. Jankelson B, Radke JC. The Myo-monitor: its use and abuse (I). *Quintessence Int*. 1978;9:47–52.
9. Pomeranz B. Analgesia from acupuncture in rats and acupuncture-like-TENS in humans. *Acupunct Electro Ther Res* 1988;13:212.
10. Rodrigues D, Siriani A, Brzin F. Effect of conventional TENS on pain and electromyographic activity of masticatory muscles in TMD patients. *Braz Oral Res* 2004;18:290–295.
11. Tella BA, Unubum EV, Danesi MA. The effect of TENS on selected symptoms in the management of patients with chronic tension type headache: a preliminary study. *Nig Q J Hosp Med* 2008;18:25–29.
12. Schöttl R. Die Myozentrik. *Manuelle Medizin* 2004;42:236–245.
13. Schwenk-von Heimendahl A. Beurteilung des Kurzzeiteffektes transkutane elektrischer Nervenstimulation (TENS) in der Therapie schmerzhafter Kranio-mandibulärer Dysfunktionen: Eine randomisierte, placebokontrollierte, prospektive klinische Studie. Medizinische Fakultät. LMU München: 2009.
14. Türp JC, Beyer T, Heidenreich A. Transkutane elektrische Nervenstimulation und ihre Anwendung bei Myoarthropathien. *Quintessenz* 1994;45:93–106.
15. Ahlers MO, Freesmeyer WB, Fussnegger M, Götz G, Jakstat HA, Koeck B, Neff A, Ottl P, Reiber T. Zur Therapie der funktionellen Erkrankungen des kranio-mandibulären Systems. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:539–542.
16. Cooper BC, Alleva M, Cooper DL, Lucente FE. Myofacial pain dysfunction: analysis of 476 patients. *Laryngoscope* 1986;96:1099–106.
17. George JP, Boone ME. A clinical study of rest position using the Kinesiograph and Myomonitor. *J Prosthet Dent* 1979;41:456–462.
18. Kappert HF, Jonas I, Heintz S. Analyse elektromyographischer Signale nach transkutanelektrostimulation der Kau-muskulatur. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:594–596.
19. Konchak PA, Thomas NR, Lanigan DT, Devon RM. Free-way space measurement using mandibular kinesiograph and EMG before and after TENS. *Angle Orthod* 1988;58:343–350.
20. Wessberg GA, Epker BN, Elliott AC. Comparison of mandibular rest positions induced by phonetics, transcutaneous electrical stimulation, and masticatory electromyography. *J Prosthet Dent* 1983;49:100–105.
21. Sjölund BH, Eriksson MB. The influence of naloxone on analgesia produced by peripheral conditioning stimulation. *Brain Res* 1979;173:295–301.
22. Liu XG, Morton CR, Azkue JJ, Zimmermann M, Sandkühler J. Long-term depression of C-fibre-evoked spinal field potentials by stimulation of primary afferent A delta-fibres in the adult rat. *Eur J Neurosci* 1998;10:3069–3075.
23. Cramp F, McCullough G, Lowe A, Walsh D. Transcutaneous electric nerve stimulation: the effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:5–9.
24. Sandberg ML, Sandberg MK, Dahl J. Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Phys Ther* 2007;87:1047–1055.
25. Wikström SO, Svedman P, Svensson H, Tanweer AS. Effect of transcutaneous nerve stimulation on microcirculation in intact skin and blister wounds in healthy volunteers. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 1999;33:195–201.
26. Ash MM, Die Michiganschiene In: Ash MM, Schienentherapie. München Jena: Urban und Fischer, 2006;266–278.
27. John M, Hirsch C. Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders-German Version (RDC-TMD-G), Definition der Untersuchungsvariablen und Ausführung der Untersuchung. 2008. cited 2011 20.02.; Available from: <http://www.rdc-tmdinternational.org>.
28. Schindler HJ. The Myo-Jig registration: a modified neuromuscular bite registration technique. In: Coyre (ed.). *Anthology of Craniomandibular Orthopedics*. Seattle: ICCMO, 1997.
29. Schindler H. Die therapeutische Positionierung des Unterkiefers mit ballistischen Schließbewegungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 2002;57:368–372.
30. Jankelson RR. Upper vs. Lower Orthosis, In: *Neuromuscular dental diagnosis and treatment*. St. Louis: Ishiaku EuroAmerica 1990;445.

31. Siegert R, Gundlach KKH. Stabilisationsschiene versus Entspannungsbehelf zur Behandlung myofazialer Schmerzen. Erste Ergebnisse einer prospektiv randomisierten Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:17–19.
32. Ekberg E, Vallon D, Nilner M. The efficacy of appliance therapy in patients with temporomandibular disorders of mainly myogenous origin. A randomized, controlled, short-term trial. *J Orofac Pain* 2003;17:133–139.
33. Nilner M, Ekberg E, Doepel M, Andersson J, Selovuo K, Le Bell Y. Short-term effectiveness of a prefabricated occlusal appliance in patients with myofascial pain. *J Orofac Pain* 2008;22:209–218.
34. Greene C, Goddard G, Macaluso G, Mauro G. Topical review: placebo responses and therapeutic responses. How are they related? *J Orofac Pain* 2009;23:93–107.
35. Clark GT, Lanham F, Flack VF. Treatment outcome results for consecutive TMJ clinic patients. *J Craniomandib Disord* 1988;2:87–95.
36. von Korff M, Dworkin SF, Le Resche L, Kruger A. An epidemiologic comparison of pain complaints. *Pain* 1988;32:173–183.
37. Palla S. Myoarthropathien des Kausystems. In: Palla S (ed.). *Myoarthropathien des Kausystems und orofaziale Schmerzen*. Klinik für Kaufunktionsstörungen und Totalprothetik, Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Zürich: 1998;3–16.
38. Dworkin S, Huggins K, Wilson L, Mandl L, Turner J, Massoth D, LeResche L, Truelove E. A randomized clinical trial using research diagnostic criteria for temporomandibular disorders-axis II to target clinic cases for a tailored self-care TMD treatment program. *J Orofac Pain* 2002;16:48–63.
39. Hansson P, Ekblom A. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to placebo TENS for the relief of acute oro-facial pain. *Pain* 1983;15:157–165.
40. Kato M, Kogawa E, Santos C, Conti PCR. TENS and low-level laser therapy in the management of temporomandibular disorders. *J Appl Oral Sci* 2006;14:130–135.
41. Eble OS, Jonas IE, Kappert HF. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): its short-term and long-term effects on the masticatory muscles. *J Orofac Orthop* 2000;61:100–111.
42. Rubinoff MS, Gross A, McCall WD. Conventional and nonoccluding splint therapy compared for patients with myofascial pain dysfunction syndrome. *Gen Dent* 1987;35:502–506.
43. Dao TT, Lavigne GJ, Charbonneau A, Feine JS, Lund JP. The efficacy of oral splints in the treatment of myofascial pain of the jaw muscles: a controlled clinical trial. *Pain* 1994;56:85–94.
44. Conti PCR, dos Santos CN, Kogawa E, de Castro Ferreira Conti AC, de Araujo C. The treatment of painful temporomandibular joint clicking with oral splints: a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc* 2006;137:1108–1114.
45. Johansson A, Wenneberg B, Wagersten C, Haraldson T. Acupuncture in treatment of facial muscular pain. *Acta Odontol Scand* 1991;49:153–158.
46. Schindler HJ, Stengel E, Spieß WEL. Neuromuskuläre Wirkungen von Aufbißschienen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:332–338.
47. Visscher CM, Lobbezoo F, de Boer W, van der Zaag J, Verheij JG, Naeije M. Clinical tests in distinguishing between persons with or without craniomandibular or cervical spinal pain complaints. *Eur J Oral Sci* 2000;108:475–483.
48. Gesch D, Bernhardt O, Alte D, Schwahn C, Kocher T, John U, Hensel E. Prevalence of signs and symptoms of temporomandibular disorders in an urban and rural German population: results of a population-based Study of Health in Pomerania. *Quintessence Int* 2004;35:143–150.
49. Lotzmann KU, Bumann A. *Funktionsdiagnostik und Therapieprinzipien. Farbatlanten der Zahnmedizin, Band 12*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 2000.
50. Utz KH, Müller F, Lückerrath W, Fuss E, Koeck B. Accuracy of check-bite registration and centric condylar position. *J Oral Rehabil* 2002;29:458–466.
51. Hickman DM, Cramer R. The effect of different condylar positions on masticatory muscle electromyographic activity in humans. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998;85:18–23.
52. Polansky R, Riegler H, Haas M, Penkner K, Lorenzoni M, Bratschko RO. Myozentrische Kondylenposition bei gesunden Probanden und funktionsgestörten Patienten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999; 54:388–390.
53. Jankelson RR. Bilateral Transcutaneous Electrical Neural Stimulation, In: *Neuromuscular dental diagnosis and treatment*. St. Louis: Ishiaku EuroAmerica, 1990:87–93.
54. Walsh EG. *Muscles, masses and motion*. London: Mac Keith Press, 1992.

Address/Adresse

ZA Tjerk Weggen
Frankfurter Allee 54
10247 Berlin
Germany
E-Mail: info@zahnarzt-weggen.de