Verlag
des Psychotherapeutischen Instituts Bergerhausen

Skripte zur Schlafmedizin und -psychologie

Das Zungen-muskel-Training

H.-W. Gessmann

Hans-Werner Gessmann

Das Zungenmuskel-Training (ZMT®)

- Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur
mittels elektrischer Stimulation -

- zur Prävention und Behandlung des obstruktiven
Schlafapnoe-Syndroms (OSAS) -

INHALT

Was ist das Zungenmuskel-Training (ZMT®)? 7

Wo setzt das ZMT® an? 9

Die Anatomie der Zunge 11

Neuromuskuläre Grundlagen der Kraftentwicklung 14

Erfahrungen mit der Anwendung der Elektromyostimulation 21

Erfahrungen mit der Intensität, Frequenz der Elektromyostimulation 24

Mögliche Nebenwirkungen und Schädigungen durch Elektromyostimulation 27

Verfahren der Elektrostimulation der suprahyoidalen Muskulatur 31

Erfahrungen mit dem ZMT®. Patientenberichte 33

Die Geschichte des ZMT® 39

Bisherige Studien des Forschungsprojektes zum ZMT® am PIB Schlafmedizinischen Zentrum Duisburg 49

Ausblick, Vorhaben 59

Glossar 60

Literaturverzeichnis 76

Anhang

Was tun bei einem Verdacht auf Schlafapnoe? 84

Schlafhygiene-Maßnahmen 88

Kontaktaufnahme mit dem PIB Schlafzentrum 92

Das Zungenmuskel-Training (ZMT®)

Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur
mittels elektrischer Stimulation
zur Prävention und Behandlung des obstruktiven
Schlafapnoe-Syndroms (OSAS)

Das obstruktive Schlafapnoe–Syndrom (OSAS) ist eine schlafbezogene Atmungsstörung, bei der wiederholt mehr als 10 Sekunden anhaltende Atemstillstände (Apnoen) oder erhebliche Atemeinschränkungen (Hypopnoen) während des Schlafes auftreten. Diese werden durch einen Kollaps bzw. einen vollständigen oder teilweisen Verschluss der oberen Atemwege verursacht und bedingen eine Reihe von häufig auftretenden Begleitsymptomen wie Tagesmüdigkeit, nachlassende mentale und körperliche Leistungsfähigkeit, lautes, unregelmäßiges Schnarchen, häufige Schlafunterbrechungen u.a., aber auch potentiell lebensbedrohliche Herzkreislauferkrankungen. Die Zahl der unmittelbar gefährdeten Schlafapnoe-Patienten in Deutschland wird auf etwa 400.000 geschätzt [40].

Die vom obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom ausgehende erhöhte Morbidität und Mortalität bei Patienten mit klinisch relevanter Symptomatik fordert die Einleitung therapeutischer Maßnahmen [31]. Hier kommt neben operativen Verfahren bei

besonderer Indikation (z. B. Uvulopalatopharyngoplastien, Kiefer-Umstellungsosteotomien) und anderen nichtinvasiven Therapieansätzen wie z. B. medikamentöse Maßnahmen, Gewichtsreduktion, die Anwendung intra- und extraoraler Unterkieferprotrusionsgeräte oder Zungenextensioren [23] am häufigsten die kontinuierliche nasale Druckbeatmung (nCPAP) während des Schlafs zur Anwendung. „Diese beseitigt in aller Regel die Symptomatik, muss aber vom Patienten häufig lebenslang durchgeführt werden, was seine Lebensqualität in hohem Maße beeinträchtigt" [14].

Zudem treten des öfteren Begleitbelastungen hinzu wie Unverträglichkeit, Schlafstörungen durch die Atemmaske, Austrocknen der Nasenschleimhaut. „Durch das Anwachsen der Alterspyramide in unserer Gesellschaft und der damit zügig steigenden Inzidenz der obstruktiven Schlafapnoe führt diese Behandlungsmethode darüber hinaus zu einer spürbaren wirtschaftlichen Belastung des Gesundheitswesens. Es wird deshalb seit einigen Jahren nach einer Möglichkeit gesucht, mit Hilfe einer neuromuskulären Stimulation bestimmter Muskelgruppen den Hypopharynx zu stabilisieren [13, 41, 49, 52] und hierdurch den Schlafatmungsbeschwerden zu begegnen, ohne die Druckbeatmung einsetzen zu müssen" [14].

Aus genannten Gründen beschäftigt sich das PIB Duisburger Schlafmedizinische Zentrum seit 1998 mit Behandlungsmethoden, die alternativ zu konventionellen Verfahren wie der nächtlichen Druckbeatmung genutzt werden können. In dieser Aus-

einandersetzung wurde das Zungenmuskeltraining (ZMT®) entwickelt. Es hat sich bereits als kostengünstige und nebenwirkungsfreie Methode in mehreren Studien bewährt.

Was ist das Zungenmuskel-Training (ZMT®)?

Das Zungenmuskel-Training oder kurz ZMT® ist eine Behandlungsmethode, die zur Prävention und Behandlung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms (OSAS) seit 1998 am PIB Duisburger Schlafmedizinischen Zentrum entwickelt wurde, um eine alternative Behandlungsmethode zu konventionellen Verfahren wie der nächtlichen Druckbeatmung zu ermöglichen.

Die Kollapsneigung der oberen Atemwege wird in diesem Therapieansatz vermindert, indem diejenige Muskulatur gestärkt wird, die an der Stabilisierung und Weitung der pharyngealen Luftwege im Schlaf wesentlich beteiligt ist.

Da das Zurücksinken, die posteriore Bewegung der Zunge während des Schlafens als eine wesentliche Ursache eines teilweise oder gänzlichen Verschlusses der oberen Atemwege angesehen wird, ermöglicht eine Straffung der suprahyoidalen Muskulatur, welche die Zunge in der sagittalen Position hält (Zungenhaltemuskulatur), eine Lumenvergrößerung der pharyngealen Luftwege und wirkt einer Obstruktion oder Okklusion entgegen.

Ein achtwöchiges tagsüber durchgeführtes Training mit einem speziellen Muskelstimulationsgerät (ApnoeStim-Gerät der BMR NeuroTech GmbH) führt zu einer Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur, so dass das nächtliche Zurückfallen der Zungenweichteile in den Hypopharynx entscheidend gemindert

werden kann. Eine ausführliche Beschreibung des ApnoeStim-Trainingsgerätes und eine Darstellung der Anwendung des ZMT® finden Sie ab Seite 31.

Die in einem umfangreichen Forschungsvorhaben seit 1998 angelegten Studien zum Zungenmuskel-Training am PIB Duisburger Schlafmedizinischen Zentrum [12, 13, 14] weisen hervorragende Behandlungsergebnisse mit nachhaltiger Verbesserung der schlafbezogenen Atmungsparameter sowohl bei leichten bis mittelschweren Schlafapnoe-Syndromen als auch bei OSAS mit höheren Atemstörungs-Indizes auf. So konnte in einer Studie mit 56 Schlafapnoe-Patienten in 38 Fällen (68%) von einer Druckbeatmung abgesehen werden. Auch bei 65% der Patienten einer Untersuchungsgruppe von 40 Patienten mit höherwertigen Störungs-Indizes konnten nach dem ZMT® deutliche Verbesserungen der nächtlichen Atmungswerte festgestellt werden. Ausführliche Informationen zu der Anlage und den Ergebnissen der Studien können Sie auf den Seiten 54 -63 nachlesen.

Wo setzt das ZMT® an?

Alle Behandlungsbemühungen des OSAS zielen darauf ab, die Obstruktionen oder Okklusionen bedingende Kollapsneigung der oberen Atemwege zu verringern.

Der pharyngeale Bereich der oberen Atemwege (Hypo-, Oro- und Epipharynx), der aufgrund unterschiedlicher Funktionsanforderungen (etwa Schluckbewegungen) eine elastische Röhre bildet, ist hierbei von besonderem Interesse, da er u. a. aufgrund seiner Elastizität insbesondere bei schlafbezogener schlaffer Lähmung der die Atemwege offen haltenden Muskulatur und bei intraluminalen Druckschwankungen sowie veränderter Strömungsphysiologie kollapsgefährdet ist. Am häufigsten an Obstruktionen beteiligt sind dabei die Zungenbasis und der Weichgaumen.

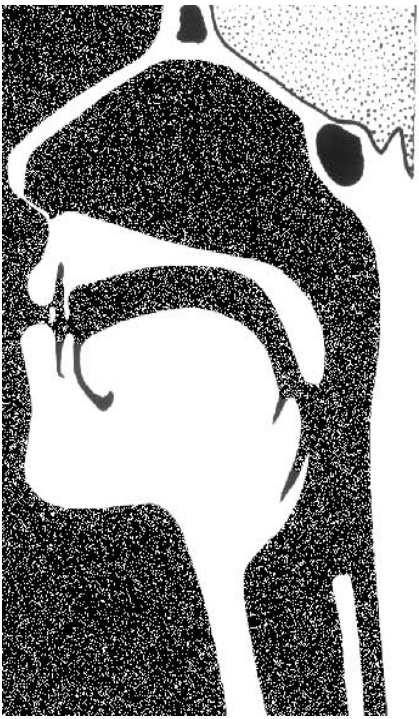
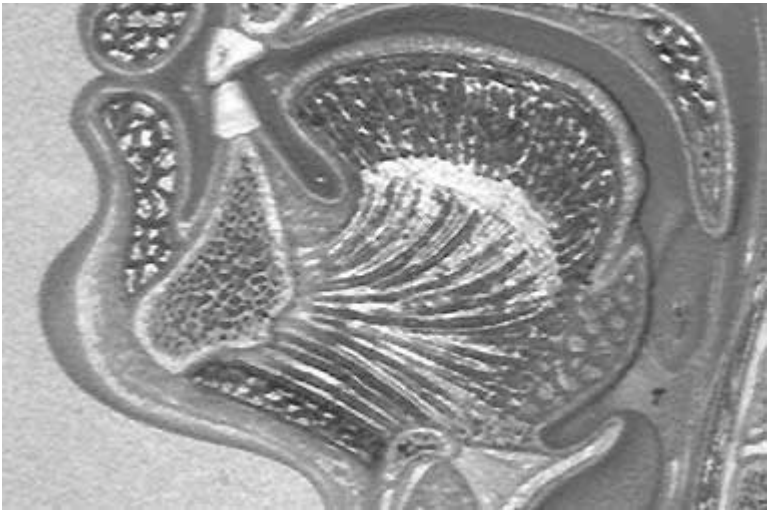


Abbildung 1: Die oberen Atemwege

„Obgleich die Ursache der Kollapsneigung des Hypopharynx noch nicht hinreichend geklärt ist, konnten Hudgel [26] und Shepard [51] zeigen, dass diese sich besonders retropalatal und retroglossal", also auf den Weichgaumen und die Zungenbasis bezogen auswirkt [14]. Es besteht auch Einigkeit darüber, dass die Kollapsneigung abhängig ist vom Zusammenspiel vielfältiger physiologischer, psychophysiologischer und anatomischer Faktoren und darüber, dass dem Musculus genioglossus entscheidende Bedeutung für das Lumen der oberen Atemwege zukommt.

Die Anatomie der Zunge

Die Zunge (grch.:glossa, lat.: lingua) ist vorwiegend ein Muskelkörper, dessen formverändernde Eigenmuskeln, die Musculi longitudinalis superior und inferior, transversus und verticalis linguae, von den von außen einwachsenden lageverändernden Muskeln, den Musculi genioglossus, hyoglossus, styloglossus und palatoglossus durchwachsen werden.



Durch diese lageverändernden Muskeln kann die Zunge in einem dreidimensionalen Raum bewegt werden. Es lassen sich hierbei der Musculus geniohyoideus, der durch den Ramus geniohyoideus innerviert wird, und insbesondere der M. genioglossus als diejenigen identifizieren, die dafür sorgen, dass der

Zungenkörper nach vorne gezogen wird und es dem Menschen u.a. ermöglicht, die Zunge aus dem Mund herauszustrecken.

Der bilaterale Nervus hypoglossus, dessen Ursprungskern im zentralen Grau des verlängerten Marks, der Medulla oblongata, liegt, versorgt motorisch zum einen den M. genioglossus, zum anderen mit dem proximalen Anteil die Mm. styloglossus und hyoglossus. „Schwartz et al. konnten 1993 nachweisen, dass eine neuromuskuläre Stimulation durch Plazierung von Elektroden im posterioren gingivolabialen Sulcus zu einer Kontraktion der Mm. hyoglossus und styloglossus mit einer ipsilateralen Retraktion der Zunge führt, während sich bei lateral des Frenulums plazierten Elektroden eine kontralaterale Protrusion einstellte" [13].

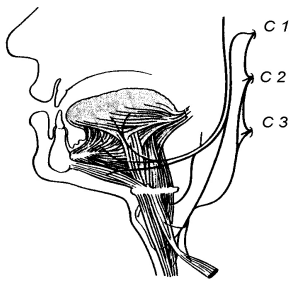


Abb. 3: Die Zunge und ihre Versorgung durch den Nervus hypoglossus

Während also die Muskeln genioglossus und geniohyoideus, eine Protrusion des Zungen-körpers und damit eine Vergrößerung des pharyngealen Lumens bewirken, führen die Mm. styloglossus und hyoglossus, eine Retraktion, ein Zurückziehen mit konsekutiver pharyngealer Lumenverkleinerung herbei.

Für die Durchgängigkeit der hypopharyngealen Luftwege sind die Musculi genioglossus und geniohyoideus also wesentlich, weil sie über die sagittale Position der Zunge entscheiden und damit das nächtliche Zurückfallen der Zunge mit nachfolgender Obstruktion verhindern oder zulassen.

Die Muskulatur bewirkt dabei nicht nur ein Offenhalten, sondern auch eine Öffnung des kollabierten Pharynx. Sie entscheidet also in erheblichem Maße mit über den Atemwegswiderstand [23]. Oszillierende Schwankungen des Drucks im Pharynx führen in der Regel zu einer Stimulation der Atemwegsmuskulatur, die die Luftwege offen halten. Reflexverlust oder nicht ausreichende Muskelkraft hingegen führen zur obstruktiven Apnoe [23].

Wenn also die posteriore Bewegung der Zunge während des Schlafens das Schlüsselphänomen beim Zusammenspiel der pharyngealen Bereiche darstellt und wesentlich an einer Obstruktion beteiligt ist, dann ermöglicht eine Straffung der Muskulatur, welche die Zunge in der sagittalen Position hält, eine Lumenvergrößerung der pharyngealen Luftwege und wirkt damit einer Obstruktion oder Okklusion entgegen. Bezüglich einer solchen Straffung entsprechender Zungenmuskulatur sind grundlegende Kenntnisse der muskulären Kraftentwicklung von Bedeutung.

Neuromuskuläre Grundlagen der Kraftentwicklung

Grundlegend für eine muskuläre Kraftentwicklung ist das Zusammenspiel zwischen den Muskelfasern und der sie innervierenden neuronalen Zusammenhänge, durch welche die nervöse Versorgung und damit die Übertragung eines motorischen Impulses und eine entsprechende Erregung des Muskels erfolgt. Die Muskelfasern werden durch Motoneurone innerviert, indem über motorische Endplatten als Schnittstellen zwischen den Muskelfasern und den neuronalen Bahnen Acetylcholin ausgeschüttet wird, so dass eine Potentialänderung an der Muskelfaser auftritt.

„Erfolgt ein Impuls vom zentralen Nervensystem über eine motorische Vorderhornzelle des Rückenmarks, werden unter physiologischen Bedingungen Muskelfasern über eine motorische Endplatte durch Ausschüttung von Acetylcholin asynchron erregt, wobei ein Motoneuron über seine verzweigten Neuriten jeweils mehrere Muskelfasern anspricht. Die von einem Motoneuron innervierten Muskelfasern kontrahieren als motorische Einheit bei einem überschwelligen Reiz gleichzeitig" [13].

Die unterschiedlichen motorischen Einheiten eines Muskels spannen und entspannen sich jedoch wegen der asynchronen

Erregung zu verschiedenen Zeiten, was zu einer gleichmäßigen Anspannung und Kraftverteilung im Muskel führt.[1]

Da die Erregung asynchron erfolgt, haben die jeweils nicht kontrahierten Muskelfasern immer wieder Gelegenheit sich zu erholen. Eine geringe Kraftentwicklung kann dementsprechend länger aufrechterhalten werden als eine große, bei der viele motorische Einheiten benötigt werden.

Je mehr motorische Einheiten aktiviert werden, desto stärker ist die Kraftentfaltung eines Muskels, desto kürzer kann diese aufrechterhalten werden. Bei willentlicher Anspannung können in der Regel 60 bis 70 % der Muskeleinheiten eines Muskels rekrutiert werden. Mit Hilfe eines Muskelkrafttrainings gelingt somit ein Kraftzuwachs zum Teil durch eine Optimierung der intramuskulären Koordination, es können zusätzliche Muskeleinheiten rekrutiert werden [47,3]. Ein anderer Teil des Kraftzuwachses kann zudem durch eine Steigerung der Nervenimpulsfrequenz erreicht werden. Die Kontraktionskraft einer

---

[1] Eine motorische Einheit als kleinste Funktionseinheit der motorischen Systeme besteht aus einem einzigen Motoneuron und den Muskelfasern, die es motorisch versorgt. Dabei kann es sich um eine kleine Anzahl von Muskelfasern handeln (z.B. 6 Muskelfasern in den äußeren Augenmuskeln), aber durchaus auch um eine größere Anzahl von bis zu 2000 Muskelfasern (z.B. im M. gastrocnemius).

motorischen Einheit ist dabei um so stärker, je höher die Impulsfrequenz des Motoneurons ist.

Muskelfasern werden von Motoneuronen normalerweise in Frequenzbereichen zwischen 10 und 50 Hz erregt. Bei langsameren Erregungen kommt es zu einzelnen Muskelzuckungen der Muskelfasern. Wird die Reizfolge erhöht, kommt es zu tetanischen Kontraktionen, der maximal möglichen Kontraktion einer motorischen Einheit.

Je nach Nervenimpulsfrequenz werden unterschiedliche Muskelfasertypen angesprochen, die sich u. a. hinsichtlich Kontraktionsgeschwindigkeit, Kraftentfaltung und Ermüdungsresistenz unterscheiden lassen. Bei langsamen bis mittleren Erregungsfrequenzen (10 bis 30 Hz) werden so genannte langsame, tonische Typ-I-Fasern von kleinen Motoneuronen mit dünnen Axonen innerviert. Typ-I-Fasern weisen eine hohe Ermüdungsresistenz auf, arbeiten überwiegend aerob mit einem oxidativen Stoffwechsel und werden demnach bei alltäglichen Muskelleistungen recht gleichmäßig aktiviert.

Bei einer Maximal- oder Dauerleistung hingegen werden phasische Typ-II-Fasern mit anaerobem, glykolytischen Stoffwechsel und größeren Motoneuronen mit dickeren Axonen benötigt [30].

Sie kontrahieren schnell bei Erregungsfrequenzen zwischen 30 und 50 Hz. Typ-II-Muskelfasern werden zudem unterteilt in

Typ-IIA-Fasern, die ermüdungsresistenter sind, und Typ-IIB-Fasern, die ebenfalls schnell kontrahieren, aber schnell ermüden [18].

Erregungsfrequenzen (in Hz)	10	30	50
Muskelfasertypen	**Typ-I-Fasern**	**Typ-II-Fasern**	
		Typ-IIA-Fasern	**Typ-IIB-Fasern**
Ermüdungsresistenz	ermüden langsam	ermüdungs-resistenter	ermüden schnell
Aufgaben	alltägliche Muskelleis-tungen gleichmäßige Aktivation	Maximal-, Dauerleistungen	
Kraftentfaltung	oxidativer Stoffwech-sel aerob	glykolytischer Stoffwechsel anaerob	
Innervation	kleinere Motoneurone mit dünnen Axonen	größere Motoneurone mit dickeren Axonen	
Kontraktions-Geschwindigkeit	langsame Kontraktion	schnelle Kontraktion	

Tabelle: Typologie der Muskelfasern

Die drei Muskelfasertypen kommen bei den meisten Muskeln gemeinsam vor, wenn auch in unterschiedlichen Anteilen. Da-

bei werden bei normaler physiologischer Muskelarbeit im Rahmen der Alltagsmotorik zunächst die Typ-I-Muskelfasern kontrahiert und erst bei zunehmender Reizstärke und Notwendigkeit größerer Muskelkraft fortschreitend Typ-II-Fasern eingesetzt. Muskelfasern sind in ihrer Ausprägung zu Typ-I- oder Typ-II-Fasern jedoch nicht determiniert, sondern entwickeln sich dem Aktivationsmuster der sie innervierenden Motoneurone entsprechend. Dies haben u.a. Gros et al. [18] gezeigt:

„Da Muskelfasern nicht in ihrem Fasertyp determiniert sind und sich auf Grund chronischer Belastung (z.B Ausdauertraining) oder Entlastung (z.B. Denervierung) von einem Fasertyp in einen anderen umwandeln, müssen Signale in der Muskelzelle die Genexpression so regulieren, dass sich der schnelle oder der langsame Fasertyp entwickelt. Diese Signale sind offenbar vom Innervationsmuster des die Faser versorgenden Motoneurons gesteuert. Das Motoneuron ist somit neben der Steuerung der Kontraktionen auch entscheidend für die Fasertypentwicklung und die Muskeltrophik."

Gros et al. (2001) untersuchten experimentell, welche Stimulationsmuster eine Beibehaltung von Typ-II-Fasern und welche eine Umwandlung in Typ-I-Fasern bewirken. Sie konnten zeigen, dass es bei bestimmten Reizmustern zu einer Anreicherung des Transkriptionsfaktors NFATc1, der für die Expression der langsamen Typ-I-Faser verantwortlich ist, in den Zellkernen der Muskelzellen kommt. Fasertransformationen von Typ-

II zu Typ-I konnten dabei bei entsprechender Elektrostimulation bereits nach einem Tag beobachtet werden [18].

Auch ein von außen angelegter Wechselstrom stimuliert die Muskulatur immer über ihre versorgenden Nerven, da die Axonmembran eine wesentlich niedrigere Reizschwelle besitzt als die Muskelfasermembran. Vor allem die Fasern des Typ-II, die an der normalen Alltagsmotorik weniger beteiligt sind, werden durch Elektrostimulation erfasst und in der Regel zu 100 % rekrutiert, da die Reizschwelle ihrer Motoneurone ebenfalls niedriger ist als die der dünneren Axone der Faser Typ I. Erst bei höherer Intensität und Frequenz kontrahieren daraufhin daneben auch alle Typ-I-Fasern des stimulierten Muskelbezirks [3]. Es kommt damit zu einer Umkehr der physiologischen Verhältnisse, in denen zunächst die Typ-I-Muskelfasern angesprochen werden.

Bereits „in den fünfziger Jahren stellte ECCLES [9] fest, dass die Hauptfasertypen I und II der gestreiften, normal innervierten, aber atrophierten Muskulatur durch verschiedene niederfrequente Reize fasergruppenspezifisch zu einer Kräftigung, Vergrößerung des Volumens und zu Verbesserung der Reaktionsgeschwindigkeit stimuliert werden können" [12]. Während die für die Maximal- und Schnellkraft zuständigen Muskelfasern des Typs II demnach mit Frequenzen zwischen 35 und 70 PPS rekrutiert wurden, reagierte stark atrophierte und paretische Muskulatur mit restinnervierten Fasern des Typ I auf Frequenzen unter 10 PPS und musste längerfristig trainiert werden.

Erfahrungen mit der Anwendung der Elektromyostimulation

Elektromyostimulation (EMS) wird in der Rehabilitation beispielsweise im Bereich der Sportmedizin seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt, um Muskelbereiche zu rekrutieren - aufzubauen, zu kräftigen und zu stabilisieren, und so Genesungsprozesse zu unterstützen und voranzutreiben. Empfohlen wird in der Regel eine Kombination aus eigenständigem, isometrischen Training und elektrischer Muskelstimulation, die 1 bis 3 mal täglich zu je 30 Minuten über 4 bis 8 Wochen Anwendung finden soll.

1987 schreibt Appell [2]: „Zusätzlich zum aktiven Üben führt der Patient, nach entsprechender Einweisung, selbständig zweimal täglich über 30 Minuten eine elektrische Muskelstimulationsbehandlung durch. Der Effekt der externen Elektrostimulation liegt vor allem darin, dass die für die Krafteigenschaften eines Muskels wichtigen Typ-II-Fasern wegen der niedrigeren Reizschwelle ihrer Axonmembranen zuerst rekrutiert werden und es somit zu einer Umkehr der physiologischen Stimulation kommt."

Wentzensen et al. plädieren dafür, aufgrund der guten Erfahrungen und des sinnvollen Einsatzes in der Rehabilitation, die Elektrostimulation auch im Rahmen der postoperativen Rehabilitation verstärkt zur Anwendung kommen zu lassen, um bereits auch in der Frühphase einer Atrophie entgegenwirken

zu können. Als Grundkonsens wurde dazu die Anwendung der Elektromyostimulation in Form eines niederfrequenten Schwellstroms mit einer Frequenz von 20 bis 50 Hertz dreimal täglich von 30 Minuten empfohlen [58, 1].

Zahlreiche weitere Studien, wie z.B. von Lieber et al. [13], Cabric und Appell [7], Müller [39], Kunz [30] u.a. belegen die sinnvolle und effektive Anwendung der Elektromyostimulation zur Kräftigung der Muskeln. Lieber et al. schreiben: „The subjects received treatment for 30 minutes a day, 5 days a week, for 4 weeks. ... These data suggest that neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscle contraction treatment, when performed at the same intensity, are equally effective in strengthening skeletal muscle ... " [33]. Oder Cabric und Appell: „Untrainierte männliche Probanden zeigten nach dreiwöchiger täglicher Behandlung einen Kraftgewinn von über 50 Prozent. Außerdem war eine Umfangsvergrößerung der trainierten Extremität zu beobachten (Cabric/Appell 1987b). Die Kraft des stimulierten Muskels nahm bei relativ gut trainierten Frauen nach 14 Tagen um 16 % zu" [7].

Neben einem verbesserten neuromuskulären Zusammenspiel lassen sich die positiven Auswirkungen auf die Muskelkraft insbesondere auch auf Strukturveränderungen durch günstige Veränderungen der Muskelfasern und der Stoffwechselbedingungen im Muskel zurückführen [1]. Mikroskopische Untersuchungen der stimulierten Muskeln zeigen eine geringfügige Dickenzunahme der Muskelfasern. Dem gewonnenen Kraftzu-

wachs wird demnach unter anderem auch eine Hypertrophie des Muskels zugrunde liegen. Da die Zahl der Zellkerne in den stimulierten Muskeln vergrößert war, die einzelnen Kerne an Volumen zugenommen hatten und einen erhöhten Gehalt an Desoxyribonukleinsäure enthielten, kann von einer verstärkten zellulären Aktivität der Muskelfasern im Sinne eines Neuaufbaus von Muskelgewebe ausgegangen werden. Als weitere mögliche Ursache wird demnach also eine Vermehrung der Muskelfasern bedacht werden müssen. Ebenso war die Kapillarversorgung der elektrostimulierten Muskulatur insgesamt verbessert, was eine entsprechend verbesserte Substratversorgung begünstigt. Bezüglich des Einflusses der Elektrostimulation auf die Typ-II-Fasern war dieser wesentlich größer (35 bis 55 Prozent Veränderungen), als die Unterschiede bei Typ-I-Fasern, die nur 10 bis 20 Prozent betrugen, die Kontraktionsgeschwindigkeit der stimulierten Muskeln nahm entsprechend zu [7, 8, 28].

Müller berichtet folgendermaßen: „Die Dynamik der Kraftentwicklung während der 6-wöchigen Behandlung war in beiden Gruppen unterschiedlich: Die Experimentalgruppe (mit EMS) wies sowohl in der ersten als auch in der zweiten Behandlungshälfte kontinuierliche Kraftzuwachsraten auf, wobei der Kraftanstieg in der zweiten Behandlungshälfte nur etwas geringer war. Die Kontrollgruppe (ohne EMS) erreichte den hauptsächlichen Kraftgewinn in der ersten Behandlungshälfte (1. – 3. Woche), während in der 4. – 6. Woche kaum noch IMK-Steigerungen beobachtet wurden“ [39].

Erfahrungen mit der Intensität, Frequenz der Elektromyostimulation

Die Reizfolge, Impulsfrequenz, sowie Impulsstärke und -dauer sind für die muskuläre Kraftentfaltung, mithin auch für die Kraftausdauer und die Maximalkraft, von entscheidender Bedeutung. Bei der Elektrostimulation der Muskelfasern gilt es in bezug auf Frequenz, Impulsdauer und –stärke, sowie auch Stimulationspause mit zu berücksichtigen, ob ein Maximalkrafttraining oder eher ein Kraftausdauertraining angestrebt wird [29].

Die Impulsfrequenz: Frequenzen von weniger als 50 Hz führen zu einer physiologischen Kontraktion, wie sie auf den vorherigen Seiten beschrieben wurde. Zur so genannten Tonuspflege können diese entsprechend niedrigen Frequenzen genutzt werden. Dabei bestimmt das Ausmaß der Frequenz die Muskelkontraktionsstärke. Sind die Erregungen langsamer, kommt es zu einzelnen Muskelzuckungen der Muskelfasern. Wird die Reizfolge erhöht, kommt es um 30 Hz bei den langsamen und um 50 Hz bei den schnelleren Muskelfasern des Typ II zu tetanischen Kontraktionen. Um eine wirksame Kraftverbesserung zu erlangen, sollte im Rahmen eines Elektrostimulationstrainings die Muskelfaser bzw. ihr Nerv maximal angesteuert werden, so dass die Erschöpfungs- und nachfolgenden Regenerationsprozesse durch Anpassung zu einer vergrößerten Leistungsfähigkeit führen. Die Muskulatur ermüdet bei höheren Frequenzen schneller, da sich zum einen vermutlich die Über-

trägersubstanz an der motorischen Endplatte erschöpft, und zum anderen die in der Muskelfaser gespeicherte Energie verbraucht wird. Eine Frequenz von 50 Hz hat sich als ausreichend erwiesen, um die Muskelkraft zu verbessern.

Die Impulsstärke und Impulsdauer: „Damit eine Depolarisation an der Muskelzellmembran geschieht, müssen sowohl Impulsstärke (Stromstärke in Milliampère, mA) als auch die Impulsdauer (in Mikrosekunden µs) einen Schwellwert übersteigen, wobei umso mehr Muskelfasern angesprochen werden, je höher die Stromstärke ist. Bei erheblichem Unterhautfettgewebe wird in der Regel eine höhere Impulsstärke benötigt".

Die Stimulations- und Pausenzeit: Um eine optimale Kraftvermehrung in der Muskulatur durch Elektrostimulation zu erreichen, sollte diese möglichst erschöpfend in Anspruch genommen werden, d.h. dass die Impulsfolge, -stärke, -dauer und -frequenz dementsprechend ausgewählt werden müssen. Bei erreichen einer maximalen, vollständigen tetanischen Kontraktion, wird mit einer Dauer von 5–10 Sekunden die Kraftvermehrung erlangt. Um eine Regeneration zu gewährleisten, sollte die Pausenzeit mindestens 2-3 mal so lang sein.

1987 gibt Appell für die Praxis folgende Anhaltspunkte:

- tägliche (gegebenenfalls dreimal pro Woche) Behandlung für 20 bis 30 Minuten

- Wechselstrom, Frequenz 50 bis 100 Hertz, Impulsdauer 150 bis 300 Mikrosekunden. Impulsstärke 30 bis 40 Milliampère
- Stimulationsdauer 10 Sekunden, Pausendauer 50 Sekunden [2].

Mögliche Nebenwirkungen und Schädigungen durch Elektromyostimulation[2]

Bei der Anwendung von elektrischem Strom zur Muskelstimulierung können schmerzhafte Empfindungen als Nebenwirkungen auftreten: Zum einen können schmerzhafte Empfindungen auftreten und den Patienten irritieren, wenn z. B. der Strom beim Einschalten des Stimulationsgeräts zu groß ist, oder wenn beispielsweise bei der sublingualen Platzierung die Elektrode bei eingeschaltetem Muskelstimulator aus der Position genommen wird und dabei z. B. die Lippen berührt werden. Auch der Kontakt zu Zähnen mit Füllungen, Implantaten u. ä. und der hierdurch ermöglichte Stromfluss über Zahnnerven ist schmerzhaft. Eine korrigierte Elektrodenplatzierung ist dann notwendig oder auch eine entsprechende Isolierung.

Als eigentliche Nebenwirkungen der Elektrotherapie gelten:

1. Hautläsionen durch Elektrolyseprodukte („Verätzungen")
2. thermische Gewebezerstörung („Verbrennungen") in Gebieten mit lokal erhöhter Stromdichte.

---

[2] Das nachstehende Kapitel ist im Wesentlichen übernommen aus: Gessmann, H.-W.: Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur durch externe Elektrostimulation zur Prävention und Behandlung des Schlafapnoe-Syndroms. Verlag des PIB, Duisburg, 2000.

Elektrolyseprodukte werden durch die Anwendung von nulllinensymmetrischen (gleiche Fläche unter positivem und negativem Impulsanteil) bidirektionalen Impulsströmen verhindert, bei denen die Ionen nicht in eine Richtung, sondern immer abwechselnd hin und her wandern: Der Ionentransport wird durch eine Pendelbewegung der Ionen ersetzt. Dadurch reichern sich die Ionen im Bereich der metallischen Elektroden nicht an, Elektrolyseprodukte können nicht entstehen. Die Gefahr der Verätzung - auch zum Beispiel an metallischen Implantaten wie Zahnprothesen und -füllungen - ist bei bidirektionalen und damit elektrolysefreien Stromformen demnach grundsätzlich ausgeschlossen, weshalb die Elektroden auch direkten Kontakt mit der Haut haben dürfen.

Bei einem Herzschrittmacher, der auch als ein metallisches Implantat gesehen werden kann; muss jedoch vorrangig die mögliche Störung der Schrittmacherfunktion bedacht werden. In der Regel sind Schrittmacher heutzutage gegen den Einfluss äußerer elektromagnetischer Störungen gut abgeschirmt, so dass die Elektrotherapie mit nieder- und mittelfrequenter Impulsströmen keine unmittelbare Gefahr für die Schrittmacherfunktion darstellt. Vorwiegend aus forensischen Gründen sollten jedoch Schrittmacherträger die direkte Behandlung des Brustraums vermeiden [50].

Proportional zum Quadrat der Stromstärke (genauer Stromdichte), zur Größe des durchströmten Widerstandes und zur Zeitdauer des Stromflusses durch einen Widerstand wird

Wärme frei. Die Wärmemenge hängt dabei nicht von der Impulsform ab, bei jeder Stromform wird die gleiche Wärme frei.

Erst bei relativ hohen Stromdichten tritt beim Patienten eine wahrnehmbare Erwärmung des Gewebes auf. Da die angewendeten Reizströme eine neurophysiologisch bedingte sensible Reizwirkung haben, begrenzt die sensible Toleranzgrenze die maximale Stromdichte frühzeitig, so dass es normalerweise nicht zu Verbrennungen kommt. Ausnahmen können Patienten mit sensiblen Störungen oder zum Beispiel durch einen punktuellen Elektrodenkontakt zur Haut hervorgerufene lokale erhöhte Stromdichte sein.

Um eine bessere Rekrutierung der Muskulatur bei geringeren Stromstärken zu erlangen, wird eine extra- und intraorale Platzierung der Elektroden vorgenommen. Unerwünschte Nebenwirkungen wie Reizung der Haut, Entzündungen infolge von Dissoziationseffekten werden durch das niederfrequente Signal mit gleichstromkompensierter Amplitudenfolge und einem exponentiell geglättetem Phasenverlauf vermieden. Dieses sorgt für günstige widerstandsarme Verhältnisse beim Hautdurchgang mit einem besonders hohem Initialtransfer und ermöglicht sehr niedrige Ausgangsspannungen und Stromamplituden. Über kapazitive Schaltungen an den induktiv ausgekoppelten elektronischen Ausgängen werden die applizierte Spannung und Leistung dynamisch an den jeweiligen Hautwiderstand angepasst, wodurch weitgehend ein reizungsfreier Ladungstransfer ermöglicht wird.

Die isometrische Kraftrehabilitation soll zweimal täglich für jeweils 20 Minuten für die Dauer von acht Wochen vom Patienten mit willentlich gestützter aktiver Teilnahme vorgenommen werden.

Verfahren der Elektrostimulation der suprahyoidalen Muskulatur: Das Zungenmuskel-Training ZMT®

Das Trainingsgerät und –ablauf

Um die geschilderten Nebenwirkungen und Schädigungen auszuschließen, benutzen wir zur Elektrostimulation der suprahyoidalen Muskulatur das Gerät PolyStim 262 (ApnoeStim) der BMR NeuroTech GMBH in Überlingen.

Das Muskelstimulationsgerät

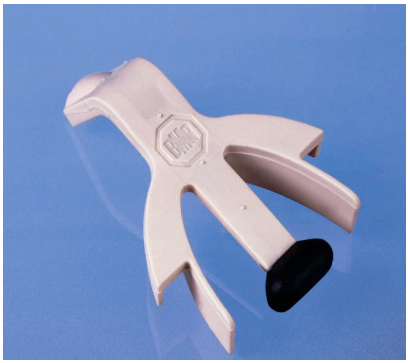
Es ist ein portables 2-Kanal Muskelstimulationsgerät, welches durch Anzeige der Behandlungszeit eine Kontrolle des tatsächlichen Geräteeinsatzes ermöglicht.

Die Trainings-Parameter sind fest programmiert, so dass die Handhabung durch den Patienten sehr erleichtert ist.

Es ist ein portables 2-Kanal Muskelstimulationsgerät, welches durch Anzeige der Behandlungszeit eine Kontrolle des tatsächlichen Geräteeinsatzes ermöglicht.

Die Trainings-Parameter sind fest programmiert, so dass die Handhabung durch den Patienten sehr erleichtert ist.

Für das Training der suprahyoidalen Muskulatur wird ein Kanal benutzt, eine Dauerhaftelektrode unter dem vorderen Kinn befestigt, eine zweite Dauerelektrode unter die Zunge gelegt und von dieser durch Druck nach unten fixiert.



Die Strom-Intensität kann vom Patienten individuell geregelt werden. Die Stimulationsdauer wird einschließlich der Signalfolgean- und –abstiegsdauer (complete pulse train envelope) gemessen. Die Netto-Kontraktionszeit bei voller gewählter Intensität beträgt 10 Sekunden. Die Pausenzeit wird in Übereinstimmung mit den vorliegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen

zu der hier verwendeten Signal-Charakteristik (50 pps, 250 µs) auf 20 Sekunden reduziert, um eine vielmalige Übungswiederholung zu gewährleisten. Unter maximalen Leistungsbedingungen bei normalem Hautwiderstand fließen als effektiv applizierte Maximalleistung bei dem angewendeten Trainingsprogramm max. < 10 mA effektiv (RMS 500 Ω VDE) als Stromdichte gemessen.

Das Muskeltraining wird zweimal täglich für 20 Minuten über 8 Wochen durchgeführt. Die Patienten geben über ihr Training auf einem vorbereiteten Protokollbogen Auskunft, auf dem Datum, Uhrzeit, Trainingsdauer, -Intensität und besondere Anmerkungen notiert werden.

Erfahrungen mit dem Zungenmuskel-Training: Patientenberichte

„...eine völlig neue Lebensqualität..." (Herr F. B.)

Acht Jahre lang musste F. B. nachts mit einer Atemmaske schlafen. Dank des Zungenmuskel-Trainings reduzierte sich die Zahl seiner Atemaussetzer von bis zu 300 auf etwa 12 pro Nacht. Herr B. hat wieder einen gesunden Schlaf. Er freut sich über den andauernden Erfolg ein halbes Jahr nach seinem Zungenmuskel-Training: "Ich habe eine völlig neue Lebensqualität und kann sogar wieder problemlos in den Urlaub fahren. Ich hoffe, dass noch viele diese befreiende Erfahrung machen können".

„...Jahre des Herumexperimentierens ohne Ergebnisse...meine Frau war sehr erstaunt. Seit dieser Zeit können wir wieder in einem Raum schlafen..." (Herr S. H.)

Herr H. veröffentlichte seine Erfahrungen mit dem ZMT® im Mai 2001:

Bereits 1989 wurde im Schlaflabor der Philips-Universität Marburg ein Schlafapnoe-Syndrom bei mir festgestellt (Apnoe-Index 39 Phasen/Stunde durch 277 Apnoen bei einer mittleren Dauer von 47 Sekunden). Eine Therapie mit einem CPAP-Gerät der ersten Generation musste ich abbrechen, das dann verordnete Theophyllin brachte auch nur negative Auswirkungen.

Es folgten Jahre des Herumexperimentierens ohne Ergebnisse. Im Juni 1998 wurde mir dann ein modernes Gerät verordnet mit einem Druck von 8 mbar. Dieses Gerät verhalf mir zu gesunde-

rem Schlaf, verursachte aber auch Fließschnupfen, der sich mit einem Luftbefeuchter verbesserte. Den allabendlichen Widerstand gegen die Maske konnte ich jedoch auch mit aller Vernunft nicht abbauen.

In den folgenden Monaten hörte ich vom Zungenmuskel-Training und bat im PIB Schlaflabor in Duisburg um ein Gespräch. Herr Dr. Gessmanns Argumente überzeugten mich und es wurde eine Kontrollnacht im Schlaflabor vereinbart. Die Auswertung ergab, dass ein Versuch mit dem Zungenmuskel-Training erfolgversprechend war und so wurde ich in die Handhabung des Stimulationsgerätes eingewiesen. Dabei handelte es sich um ein Gerät, das mit schwachem elektrischen Strom, der durch den Unterkiefer fließt, das Zungenmuskelgewebe anregt und stärkt. Dadurch fällt die Zunge im Schlaf nicht mehr nach hinten. Die Atemwege werden nicht mehr blockiert.

In den folgenden fünf Wochen setzte ich also das Gerät zweimal täglich je eine halbe Stunde (morgens und abends) ein, das heißt: ich legte eine Elektrode unter die Zunge und eine Elektrode wurde unter dem Kinn befestigt. Die Stromstärke musste ich nach und nach so stark einstellen, wie ich es vertragen konnte. Natürlich schlief ich noch jede Nacht mit meinem Beatmungsgerät. Nach Ablauf der Übungszeit folgte wieder eine Nacht im Schlaflabor, diesmal zur Kontrolle ohne CPAP-Gerät. Das Ergebnis war verblüffend: meine Werte waren die eines Gesunden. Ich konnte ohne Maske erholsam schlafen und fühlte mich total erleichtert.

Meine Frau war sehr erstaunt, dass sie mich nicht mehr schnarchen hörte. Seit dieser Zeit können wir wieder in einem Raum

schlafen. Die guten Werte wurden einige Monate später nochmals von meinem Hausarzt überprüft und bestätigt. Nach erfolgreicher Therapie mit dem Stimulationsgerät sollte ich so oft wie möglich die Zunge fest unter den Gaumen drücken – was ich oft vergesse. Sonst war für mich keine weitere Therapie notwendig.

Inzwischen sind 18 Monate vergangen und es geht mir immer noch gut. Kleinere Schnarchphasen in Rückenlage haben keinen Einfluss auf die Schlafqualität. Das beweisen auch die Aufzeichnungen eines Screening-Gerätes Mitte Januar 2001.

Das Zungenmuskel-Training hat mich – wenigstens bis zum heutigen Tag – vom Schlafapnoe-Syndrom befreit und mir damit ein großes Stück Lebensqualität zurückgegeben.

Das PIB Schlaflabor in Duisburg ist eine private schlafmedizinische Ambulanz. 80 bis 90 % der privaten Krankenkassen übernehmen die Behandlungskosten. Man sollte dies aber vorher abklären. Gesetzliche Krankenkassen beteiligen sich unter Umständen an den Kosten. Auch da sollte verhandelt werden. Die Kosten für die Verordnung einer mietweisen Überlassung eines Gerätes werden auch von den gesetzlichen Krankenkassen übernommen (Hilfsmittel).

Siegfried Hohnrath, SHG Schlafapnoe Solingen schrieb im Schlafapnoe Aktuell Nr. 12 des VdK Fachverband (Fachzeitschrift für Apnoiker, Ärzte, Schlaflabore, Krankenkassen und Hilfsmittelhersteller) vom Mai 2001

„...Ich bin vom n-CPAP befreit!!!" (Frau A. W.)

(...)
Ich kann mein Gesicht in mein Kopfkissen kuscheln, kann nachts und morgens geküsst werden und brauche nach dem Aufstehen mein Gesicht wegen der Druckstellen nicht mehr "bügeln" ...

Nach drei Jahren ist mein Nasenrücken befreit von dem obligatorischen roten Streifen - die sich oft wiederholenden Entzündungen gibt es nicht mehr! Ich habe die Lehrstunden: Wie schafft man es mit einer sog. endgültigen Diagnose (lebenslang n-CPAP) zu leben - beendet.
(...)
Dank gegenüber meinem Schicksal und Dank gegenüber dem Schlafmedizinischen Zentrum in Duisburg.

Ich sah den Bericht bei RTL im Fernsehen. Ich rief in Duisburg im Schlaflabor an. Ich hatte ein erstes Gespräch mit Dr. Gessmann, - dann die 5-wöchige Therapie - und dann das Ergebnis!!!

Noch immer kann ich es nicht fassen. Mit diesem großen Teil an geschenkter Lebensqualität könnte ich Purzelbäume schlagen!
(...)
Ganz herzliche und glückliche Grüße nach Duisburg
Ihre
A. W.

„Apnoe-Hypopnoe-Index von 44/h auf 3/h gesunken"

(Frau H. K.)

Frau K. bedankt sich nach ihren letzten polysomnographischen Untersuchungen in zwei Briefen:

Sehr geehrte Damen und Herren,

mein behandelnder Arzt Dr. Q. teilt mir nach der letzten Schlaflaboruntersuchung u. a. mit:

"Offensichtlich hat das Zungengrundmuskeltraining einen guten Erfolg bei der Patientin gebracht. Der damals in K. festgestellte Apnoe-Hypopnoe-Index von 44/h ist jetzt nur noch mit 3/h nachweisbar. Das Sauerstoffsättigungsprofil ist hervorragend, so dass eine nächtliche Hypoxie nicht mehr gesehen werden kann. ... Eine CPAP-Therapie ist zum jetzigen Zeitpunkt auf keinen Fall mehr erforderlich."

Ich freue mich sehr darüber, dass ich das Beatmungsgerät jetzt nicht mehr brauche und danke Ihnen und Ihren Mitarbeitern im PIB Schlafmedizinischen Zentrum in Duisburg ganz herzlich für die Entwicklung der neuen Behandlungsmethode.

Ihre
H. K.

Liebe Schlaflabormitarbeiter in Duisburg,

nachdem ich im Mai letzten Jahres bei Dr. Q. und Dr. O. untersucht worden bin und man dort nach meinem Zungenmuskel-Training bei Ihnen keine Schlafapnoe mehr feststellen konnte, habe ich mich jetzt wieder untersuchen lassen:

Ergebnis:

"Die nächtliche Polygraphie bestätigt den Befund vom Mai letzten Jahres, zum gegenwärtigen Zeitpunkt braucht die Patienten keine CPAP-Therapie, der Schlaf ist nicht durch respiratorische Ereignisse gestört."

Ist das nicht schön?

Ihnen meinen ganz herzlichen Dank!

Ihre
H. K.

Die Geschichte des ZMT®

Bereits zu Beginn der 70er Jahre untersuchten Sauerland und Mitchell [44,45] die atemsynchron-phasische tonische Aktivität des Musculus genioglossus elektromyographisch. Mit Harper veröffentlichte Sauerland 1976 einen Artikel über die Bedeutung der Zunge und die elektromyographische Aktivität des M. genioglossus im Schlaf [46] sowie 1978 zur Rolle der Zunge bei Schlafapnoe [21]. Im selben Jahr konnten Remmers et al. den Zusammenhang zwischen pharyngealem Unterdruck und der Muskelaktivität speziell des M. genioglossus in Relation zur Schlafapnoe nachweisen [43]. Es folgten weitere Artikel im Zusammenhang dieses Themas von Guillemineault et al., Brouilette und Thach, Strohl et al., Mathew et al., Jeffries et al., Hudgel et al. und anderen [20,5,6,53,34,27,26].

Erstmalig wurde 1988 von Surrat et al. eine vergleichende Studie zur phasischen Aktivität der dilatierenden Muskeln der oberen Luftwege während der Einatmung bei Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom und gesunden Kontrollpersonen durchgeführt [54]. Während bei den Kontrollpersonen so gut wie keine Muskelaktivität festgestellt werden konnte, war sie bei den OSAS-Patienten vorhanden, wenn nicht gar erhöht. Die Autoren beobachteten, dass junge, gesunde Personen mit einem geringen Widerstandslevel auch ein geringes Level phasischer Muskelaktivität, Patienten mit einem hohen Level an Luftwegswiderstandes hingegen ein weitaus höheres Level an Muskelaktivität aufwiesen. Suratt et al. nahmen daher einen

kompensatorischen Prozess zur Erweiterung der Atemwege bei gefährdeter Atemwegsfreihaltung oder drohender Atemwegsverlegung an [54].

Bezogen auf Suratt et al. schreiben Kryger et al. 1994 [29a]: „Unter Umständen ist aber der Grad der Erweiterung ungenügend, um die Kräfte zu überwinden, die die Tendenz haben, die oberen Luftwege zu verengen. So ist es vernünftig, über eine externe Verstärkung der oberen Luftwegsdilatoren zu spekulieren, um während der Perioden der luminalen Verengung gegen die okkludierenden Kräfte wirksam zu sein. Auf dieser Linie liegt es, wenn Miki et al. demonstrierten, dass elektrische Anregung des musculus genioglossus mit einer Frequenz von etwa 50 Hz bei anästhesierten Hunden zu einer Reduzierung des oberen Luftwegswiderstands führte."

Nachdem 1983 Gottfried et al. [17] und van de Graaff et al. 1984 [55] darüber berichtet hatten, dass elektrische Stimulation der hyoidalen Muskulatur bei anästhetisierten Hunden den Widerstand der oberen Luftwege reduziert, führten Miki et al. 1988 ebenfalls Untersuchungen zur Wirkung elektrischer Stimulation speziell des Musculus genioglossus bei anästhetisierten Hunden durch. Dabei konnten sie zeigen, dass bei einer Frequenz ab 50 Hz der obere Luftwegswiderstand am geringsten war und sich eine maximale Öffnung einstellte [37].

In einer kleinen Studie mit 6 OSAS-Patienten konnten dieselben 1989 demonstrieren, dass durch submentale elektrische Stimulation des Genioglossus mit 15 bis 40 Volt und 50 Hz während des Schlafes die durchschnittliche Häufigkeit von behindernden Apnoen von 29 auf 2 Ereignisse pro Schlafstunde abnahm [38]. Der Auslöser der elektrischen Stimulation war jeweils der fehlende tracheale Luftstrom über 5 Sekunden [29a]. Verglichen mit Kontrollnächten ohne elektrische Stimulation konnten die Autoren wiederholbare signifikante Verbesserungen der nächtlichen Atmungsparameter feststellen[3].

Submentale elektrische Stimulation des M. genioglossus während des Schlafes verringert diesen Ergebnissen zufolge das Auftreten von obstruktiven Apnoen. „Eine statistisch, aber klinisch nicht bedeutsame Verkleinerung trat in der Häufigkeit von gemischten Apnoen und keine Veränderung bei der Anzahl der zentralen Apnoen auf" [29a]. Die Veröffentlichungen von MIKI et al. waren für eine Anzahl von Forschungsgruppen ausschlaggebend, die Freihaltung der oberen Luftwege durch elektrische Stimulation während des Schlafs zu untersuchen.

Während Miki et al. aufgrund ihrer Ergebnisse auch eine Verbesserung der Schlafstruktur (Zunahme der Schlafphasen III und IV) annahmen und keine Hinweise für Aufweckreaktionen

[3] Der Apnoe-Index, Apnoe-Zeit / Gesamt-Schlafzeit, die längste Apnoe-Dauer, die Anzahl der Sauerstoffsättigungswerte unter 85% in Zeit/Stunden sanken signifikant. Die geringste arterielle Sauerstoffsättigung und die Dauer der Schlafphasen III und IV nahmen signifikant zu.

(arousals) und damit Störungen der physiologischen Schlafarchitektur durch die elektrische Stimulation finden konnten, konnte eine weitere Forschungsgruppe diese Ergebnisse nicht bestätigen:

Edmonds et al. untersuchten 1992 die transkutane elektrische Stimulation (TES) bei acht Patienten mit OSA während des Schlafs, ohne eine Verbesserung der Schlafstruktur oder Qualität noch eine Verbesserung beim Apnoe-/Hypopnoe-Index bestätigen zu können [10].

Die submentale und transhyoidale TES während des Schlafs ermöglichte demnach keine Kontrolle über die nächtlichen Atmungsstörungen bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. Stimulationen, deren Intensität ausreichte, um Apnoephasen zu verhindern, führten zu Arousals. Die Autoren verwiesen auf kommende Studien, in denen spezifischere Stimulationstechniken genutzt werden könnten, um ein Wirken der Luftwegsdilatoren zur Prävention von oberen Atemwegsverlegungen bei Patienten mit OSAS evaluieren zu können (vgl. Edmonds et al. 1992, 1035).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen 1995 Guilleminault et al. [19] in einer Studie an 7 Patienten mit schwerwiegendem obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom. Zumeist induzierten die Stimulationen alpha-EEG-Arousals, d.h. eine Verbesserung der schlafbezogenen Atmungsstörungen der 7 Patienten konnte ohne Aufweckreaktionen nicht erreicht werden.

Aus diesen Gründen schätzen Guillemineault et al. [19] und auch Broniatowski [4] die Einsatzmöglichkeit von Elektrostimulation während des Schlafs als sehr kritisch ein (vgl. Wiltfang 1997, 163).

Schwartz et al. gelang es 1993 wiederum, durch Stimulation des M. genioglossus mittels einzelner, atemsynchroner elektrischer Impulse an 9 Patienten die Anzahl der pharyngealen Obstruktionen von im Mittel 66/h auf 9/h zu reduzieren [49]. Bei einem weiteren Ansatz sollte der musculus genioglossus während der Inspiration durch zweipolige Elektroden stimuliert werden. Sehr vorläufige Ergebnisse, die drei Patienten betrafen, zeigten, dass der mittlere Apnoe-Index von ungefähr 70 auf 17 durch die Stimulation fiel.

Yoshida et al. [61] wiesen 1995 darauf hin, dass bei Schlafapnoe-Patienten während einer Apnoe am M. genioglossus signifikant geringere Amplituden gemessen werden, als dies bei gesunden Probanden der Fall ist.

Da die Aktivität des Genioglossus mit abnehmendem Druck im Pharynx im Sinne eines dilatierenden Kompensationsmechanismus zunimmt und der Ruhetonus des Muskels bei OSAS-Patienten bereits im Wachzustand höher ist als bei Gesunden, untersuchten Verse et al [56] 1999 die Möglichkeit, das Genioglossus-EMG als Parameter der Früh- und Vordiagnostik der obstruktiven Schlafapnoe zu nutzen. Ihre Pilotstudie mit 54 Patienten konnte die EMG-Ableitung des Genioglossus jedoch

nicht hinreichend als diagnostischen Parameter ausweisen[4], bestätigte aber die Vermutungen von Suratt et al. [54], sowie die Ergebnisse von Horner [24,25] und Mezzanotte et al. [36,35], wonach der Ruhetonus des M. genioglossus bei Patienten mit OSAS gegenüber Gesunden signifikant erhöht ist.

Die chinesische Arbeitsgruppe Yang H et al. [60] untersuchte 2000 die Auswirkungen submaxillarer transkutaner Elektrostimulation des Genioglossus auf unterschiedliche Bereiche des sich verengenden pharyngealen Lumens an 19 Patienten während des Schlafs. Die Autoren konnten beobachten, dass die elektrische Stimulation sich am günstigsten retroglossal, im Bereich der Zungenbasis, auswirkte: die klinischen Symptome verbesserten sich signifikant. Submaxillare Elektrostimulation während des Schlafs verbesserte demnach die obstruktive Atmungsstörung ohne auf die Schlafarchitektur störend Einfluss zu nehmen.

Auch durch die direkte Stimulation des Nervus Hypoglossus (s.o.) konnte der Atemwegswiderstand der oberen Luftwege reduziert werden. Verschiedene Arbeitsgruppen bemühten sich hier um Forschungsergebnisse und kamen im Groß zu einem positiven Ergebnis. Fairbanks und Fairbanks [11] berichteten

---

[4] Anhand des Genioglossus-EMG konnten Patienten mit einem AHI ≥ 20 mit einer Sensitivität von 85,7%, einer Spezifität von 72,5% und Patienten mit einem AHI ≥ 15 mit 82,4% und 75,7% vor einer polysomnographischen Untersuchung richtig als OSAS-Patienten klassifiziert werden. Die Ergebnisse waren nicht statistisch signifikant [56].

1993 von erfolgreicher Stimulation des Nervus hypoglossus. Schwartz et al. untersuchten im selben Jahr ebenfalls die Auswirkungen elektrischer Stimulation des Hypoglossus [49a]. Einer Studie von Hida et al. zufolge (1995) führte die Stimulation des Nervus hypoglossus zu einer erhöhten Stabilität und Weitung der oberen Luftwege bei anästhetisierten Hunden [22].

Bei fünf Patienten mit einer OSA und bei Patienten nach einer Halsoperation konnte de Backer [48a, 2001] zeigen, dass durch eine Stimulation des N. hypoglossus am Beginn einer Arousal die Atmungsparameter der Patienten verbessert werden. Auch durch eine Langzeitstimulation des N. hypoglossus mit einem implantierbaren durch den intrathorakalen Druck getriggerten Pulsgenerator (Medtronic Inspire), ließ sich bei Patienten mit milder bis mittelschwerer OSA, bei denen die Obstruktion am Zungengrund lokalisiert werden konnte und die nur selten zentrale Apnoen zeigten, ein totales Kollabieren vermeiden. De Backer gab den Hinweis [48a], die Gruppe, die von einer Stimulation des N. hypoglossus besonders profitieren kann, ausführlicher zu definieren.

Verse und seine Mitarbeiter [57] verwiesen auch hier auf beobachtete alpha-Arousals im EEG, die nennenswerte Beeinträchtigungen der Schlafarchitektur hervorriefen. Erst kürzlich entwickelte implantierbare Sensoren, welche für ein Langzeitmonitoring der Atmung geeignet sind [16], versprechen möglicherweise eine zukünftige Therapiemodalität für das obstruktive Schlafapnoe-Syndrom. „In einer ersten Fallserie an 8

Schlaf-apnoikern wurde eine unilaterale Stimulation des N. Hypoglossus während der Inspiration durchgeführt. Die Autoren konnten zeigen, dass sich der Schweregrad der OSA über die gesamte Laufzeit der Studie senken ließ [48]" [57].

Im Unterschied zu den vorgestellten Arbeitsgruppen, welche die Elektrostimulation während des Schlafs durchführten und dabei teilweise die Initiierung von Weckreaktionen mit konsekutiver Schlaffragmentierung beobachten konnten, berichteten Wiltfang et al. 1997 erstmalig über eine Muskelstraffung durch tagsüber durchgeführte submandibuläre Elektrostimulation [59]. Ziel ihrer Untersuchung war es, „eine Elektrostimulation mit extra- und intraoral applizierten Elektroden während des Tages durchzuführen, um somit durch den Trainingseffekt [...] eine Tonisierung und Kraftzunahme der suprahyoidalen Muskulatur zu erreichen" und auf diesem Wege den nächtlichen Kollaps mit Obstruktion der oberen Luftwege zu vermeiden (Wiltfang et al. 1997, 161). Damit wiesen Wiltfang et al. den Weg für eine therapeutische Maßnahme, die nicht symptomatisch ausgerichtet verfährt, sondern lösungsorientiert eine Beseitigung der pathophysiologischen Ursachen anstrebt.

Die Wirksamkeit der Elektrostimulation auf die Zungenkraft ließ sich durch entsprechende Messungen bei gesunden Probanden demonstrieren. Die Autoren stellten fest, dass ein tagsüber trainierter Muskel in der Lage sein kann, einen nächtlichen Kollaps der Zunge in den Hypopharynx mit konsekutiver Apnoe zu verhindern: Bei einem ersten Schlafapnoe-Patienten verbesser-

ten sich nach Abschluss einer vierwöchigen Elektrostimulationsphase der Apnoe-/Hypopnoe-Index (AHI) von 13,2 auf 3,9, der Sauerstoffentsättigungsindex (SaO_2) von 23 auf 2,8 und die minimale Sauerstoffsättigung von 75 auf 88%.

Angeregt durch diesen ersten Versuch von Wiltfang et al., einem Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe durch eine tagsüber durchgeführte Stimulation der suprahyoidalen Muskulatur zu einer Verbesserung der Atmungsstörung zu verhelfen, hat unsere eigene Arbeitsgruppe am PIB Schlafmedizinischen Zentrum Duisburg 1998 ein mehrjähriges Forschungsvorhaben zum Zungenmuskel-Training begonnen. Erstmalig wurden damit umfangreiche empirische Studien zur Wirksamkeit tagsüber durchgeführter Elektrostimulation der suprahyoidalen Muskulatur eingeleitet und der Begriff des Zungenmuskel-Trainings (ZMT®) geprägt und etabliert. Wir konnten in dieser Auseinandersetzung zeigen, dass das ZMT® hervorragende Behandlungsergebnisse mit nachhaltiger Verbesserung der schlafbezogenen Atmungsparameter auch bei schwergradigem obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom ermöglichen kann.

Während und seit dieser mehrjährigen Forschungsreihe haben in jüngerer Zeit auch andere Arbeitsgruppen begonnen, die Wirksamkeit eines tagsüber durchgeführten Zungenmuskel-Trainings zu untersuchen.

Verse [57] berichtet 2002 von einer ersten Pilotserie, in der ein Muskelstimulationsgerät von der eigenen Arbeitsgruppe bezüg-

lich seiner Effektivität, Anwendbarkeit und Sicherheit an 15 Patienten (im Median 59,6 +-10,7 Jahre alt) mit unterschiedlich schwerer OSA geprüft wurde. Der Body-Mass-Index lag im Durchschnitt bei 29,3 ± 3,6 kg/m^2. Es konnte eine statistisch nicht signifikante Senkung der Apnoe-Hypopnoe-Indizes von im Mittel 29,2 ± 12.5 vor der Behandlung auf 21,3 ± 11,3 nach der Behandlung erzielt werden. Bei zwei Patienten reduzierte sich der AHI um über 50% auf unter 10. Ausgezeichnete und statistisch hoch signifikante Verbesserungen zeigten sich in der subjektiven Bewertung des Schnarchens durch den Bettpartner. Trotz nicht signifikanter Verbesserungen des AHI in der Patientengruppe, zeigte eine Analyse der Ergebnisse, das Patienten mit leichtgradigem OSAS überdurchschnittlich von der Therapie profitierten. Derzeit untersucht die Arbeitsgruppe weitere Möglichkeiten, um den Behandlungserfolg zu verbessern.

Eine Forschungsgruppe der Klinik Ambrock, Hagen hat jüngst eine placebokontrollierte Doppelblind-Untersuchung zur Wirksamkeit des Zungenmuskel-Trainings unternommen. In einer Studie mit 57 Patienten (32 Verum- und 25 Placebo-Patienten) mit leicht bis mittelgradig ausgeprägtem OSAS konnten Randerath u.a. 2003 [42] über keine signifikanten Unterschiede im Apnoe-Hypopnoe-Index (AHI) und im Schlafprofil zwischen Verum- und Placebogruppe berichten, nachdem die Patienten tagsüber acht Wochen lang zweimal täglich für mindestens 20 Minuten Zungenmuskel-Training erhalten hatten. Erhebliche Verbesserungen in der Verumgruppe ergaben sich beim

Schnarchen (Basisniveau 63,6 ± 23,1 Epochen/h, bei Stimulation 47,5 ± 31,2, $p<0,05$). Zudem fiel bei 6 Patienten der Verumgruppe der AHI signifikant um mehr als 50% auf unter 10/h ((Basisniveau 18,4 ±3,9/h, mit Behandlung 6,4 ±2,7/h, $p<0,05$). Auch das Schnarchen verbesserte sich bei diesen Patienten erheblich um 58,7 ± 29,8% hinsichtlich der Zahl der Weckreaktionen, so dass eine erhebliche Verbesserung der Schlafatmungsstörung anzunehmen ist.

Bisherige Studien des Forschungsprojektes zum ZMT® am PIB Schlafmedizinischen Zentrum Duisburg

Bei einem neuen Therapieansatz ist eine gründliche Erforschung und Auseinandersetzung notwendig. Seit 1998 werden daher am PIB Schlafmedizinische Zentrum in Duisburg als eigentlicher Geburtsstätte des ZMT® regelmäßig empirische Forschungsarbeiten zur Wirksamkeit des Zungenmuskel-Trainings veröffentlicht. Folgende Studienberichte liegen bislang vor: [5]

- „Training der suprahyoidalen Muskulatur bei fünf Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe" (1998)

- „Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur durch externe Elektrostimulation zur Prävention und Behandlung des Schlafapnoe-Syndroms" (2000)

- „Das Zungenmuskel-Training (ZMT®) bei nCPAP-Patienten mit obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom" (2001)

1998 galt es in einer kontrollierten Pilotstudie an fünf Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom (RDI > 20) zu beobachten, ob eine elektrische Stimulation der suprahyoidalen Muskulatur nächtliche Atemwegsobstruktionen des Hypopharynx erfolgreich verhindern kann.

---

[5] Sie können diese Veröffentlichungen im Internet unter www.pib-zentrum.de/schlaf/index.htm lesen oder ausführlichere Darstellungen beim PIB Schlafmedizinischen Zentrum Duisburg bestellen.

Die männlichen Patienten im Alter von 31 bis 55 Jahren trainierten über vier Wochen zweimal täglich eine halbe Stunde. Der Respiratory Disease Index bzw. Apnoe-/Hypopnoe-Index (RDI bzw. AHI), der Sauerstoffentsättigungs-Index, die minimale und durchschnittliche Sauerstoffsättigung sowie der prozentuale Anteil des Schnarchens über 90 dB an der Gesamtschlafzeit wurden vor Beginn und nach Beendigung der Trainingsmaßnahmen polysomnographisch aufgezeichnet, und die Trainingsergebnisse sodann in einer Follow-up-Studie geprüft. Es zeigte sich, dass nach vierwöchiger konsequenter Muskelstimulation der Respiratory Disease Index sowie der Sauerstoffentsättigungs-Index signifikant abnahmen [12]. [6]

Die Patienten konnten nach Beendigung der Behandlung ohne nächtliche Druckbeatmung schlafen und zeigten keine unüblichen schlafbezogenen Beschwerden mehr. Um ein möglicherweise erneutes Auftreten von respiratorischen Obstruktionen durch evtl. Abnahme der Muskelkraft frühzeitig ermitteln zu können, wurden die Patienten nach Behandlungsabschluss in Abständen von ein bis vier Wochen durch ambulante Apnoe-Screenings untersucht.

Bei 56 CPAP-pflichtigen Schlafapnoe-Patienten konnte 2000 in einer weiteren Studie bestätigt werden, dass sich durch das ZMT® die nächtlichen Atmungswerte nachhaltig verbessern können. Nach erfolgtem Zungenmuskel-Training konnte bei 38

[6] Die Respiratory Disease Indizes lagen vor der Behandlung zwischen 21,1 und 49,6, nach der Behandlung zwischen 1,0 und 26,8.

Patienten (67,86%) von einer weiteren Druckbeatmung abgesehen werden. Voraussetzung zum erfolgreichen Training waren im allgemeinen niedrigere Atmungs-Störungs-, niedrigere Sauerstoff-Entsättigungs- und begrenzte Body-Mass-Indizes.

Vor und nach dem vierwöchigen Zungenmuskel-Training wurden die 10 Frauen und 46 Männern der Patientengruppe (im Alter von 39 bis 71, Durchschnittsalter von 55,6 Jahren) polysomnographisch untersucht, und die Mittelwerte, bzw. Mediane der Apnoe-, der Hypopnoe-, der Respiratory Disease und der Desaturierungs-, sowie der Body-Mass-Indizes und der Muskelstromamplituden auf die Signifikanz ihrer Differenzen vor dem Zungenmuskel-Training (t1) und nach dem Training (t2) getestet.

Zwischen der Kraft der suprahyoidalen Muskulatur und den Atmungsparametern ergab sich ein z.T. hochsignifikanter Zusammenhang. Die Amplitude der suprahyoidalen Muskulatur in der Patientengruppe nahm hochsignifikant zu.

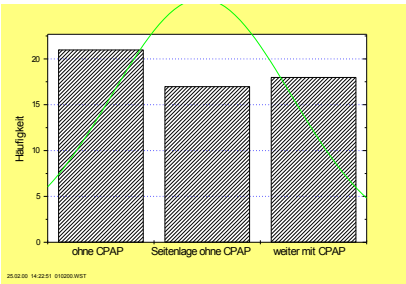
Der Hypopnoe-Index und der Respiratory Disease Index (RDI) nahmen signifikant, die minimalen Sauerstoffsättigungswerte nahmen hochsignifikant ab.

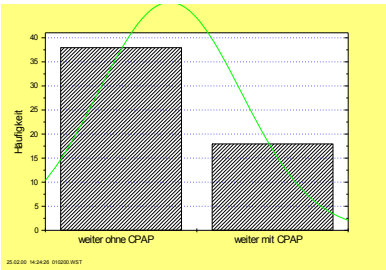
Nach der Behandlungsmaßnahme ließ sich die Patientengruppe aufgrund unterschiedlicher Trainingsergebnisse nach einem Clusterverfahren in drei Gruppen teilen: Demnach benötigten nach dem ZMT®

- 21 Patienten kein Druckbeatmungsgerät (37,5%) (Gruppe 1)

- 17 Patienten konnten in der Schlafseitenlage ohne Beatmungsgerät schlafen (30,36%) (Gruppe 2) und

- 18 Patienten benötigten weiterhin ein Druckbeatmungsgerät (32,14%) (Gruppe 3).





Für die drei Diagnosegruppen ergaben sich folgende wichtige Unterscheidungspunkte:

Die Amplituden der suprahyoidalen Muskulatur nahmen in den Gruppen 1 und 2 hochsignifikant, in der 3. Gruppe signifikant zu. Der Apnoe-Index nahm in der Gruppe 1 ohne Beatmungsgerät hochsignifikant, der RDI und der Sauerstoff-Entsättigungs-Index signifikant ab.

Die Hypopnoe-Indizes nahmen in den beiden Gruppen ohne weitere Beatmungsnotwendigkeit signifikant ab; in der 3. Gruppe veränderten sie sich nicht. Auch die minimalen Sauerstoffsättigungswerte stiegen sowohl in der 1. Gruppe als auch in der 2. Gruppe mit Schlafseitenlage signifikant an. Bei den Gruppen 2 und 3 lag der Body Mass Index im Mittelwert um 4 bzw. 6 kg/m2 höher. Das durchschnittliche Körpergewicht betrug in den Gruppen 1 und 2 ohne Beatmungsgerät 81 und 85 kg, in der Gruppe 3, mit der Notwendigkeit weiterhin ein Beatmungsgerät zu nutzen, 99 kg.

Da der Body Mass Index (BMI), das Alter, das Geschlecht sowie die Schlaflagerung auf die Trainingsergebnisse Einfluss nehmen, wurden die entsprechenden Parameter sorgfältig kontrolliert.

In den drei Diagnosegruppen unterschieden sich die Alterswerte und Geschlechterverteilungen nicht.

Das Schlafen in Rückenlage verstärkt in aller Regel die Atmungsstörungen, während durch eine Seitenlagerung die Atmung in vielen Fällen eine deutliche Besserung erfährt. Eine Verbesserung der Atmungsstörungen nach erfolgtem ZMT® aufgrund vermehrter Schlafseitenlage bzw. aufgrund veränderter Werte des BMI konnte ausgeschlossen werden.

Zusammenhänge zwischen Schlaf-Apnoe und Übergewicht sind schon länger bekannt und werden durch die vorliegende Studie

weiterhin bekräftigt. Es kann tendenziell gesagt werden, dass je größer der Körper-Massen-Index (BMI) ist, desto größer sind in der Regel die Atemstörungen und desto kleiner scheint auch eine Erfolgschance des Zungenmuskel-Trainings zu sein.

Die durchgeführte Studie zeigt, dass ein vierwöchiges tagsüber durchgeführtes Training insbesondere bei Patienten mit niedrigen Apnoe/Hypopnoe-, Sauerstoffdesaturierungs- und Body-Mass-Indizes (AHI, DI und BMI) zu einer nachhaltigen Verbesserung der nächtlichen Atmungsparameter führt. Wie schon in den Folgeuntersuchungen der ersten kleine Studie stellte sich dabei heraus, dass die erlangte Muskelrekrutierung über einen langen Zeitraum stabil bleibt. Nach einer Kontrollphase von einem Jahr verbesserten sich die Atmungsparameter teilweise sogar weiter. Dies insbesondere dann, wenn Patienten nach der Elektrostimulation selbständig die Zungenmuskulatur durch einfaches Spannen und Entspannen, ein isometrisches Training, weiter trainierten.

In der weiteren, einer retrospektiven, nicht randomisierten Studie 2001 galt es nun zu untersuchen, ob auch druckbeatmete Patienten mit höheren Atemstörungs-Indizes vom Zungenmuskel-Training profitieren können. 3 Frauen und 37 Männer zwischen 34 und 70 Jahren (55,5 Jahre im Median), welche bislang mittels nCPAP therapiert wurden, führten nach einer vorherigen Einweisung in die Benutzung des Muskelstimulationsgerätes eine fünfwöchige Elektrostimulation ihrer suprahyoidalen Muskulatur durch. Sie führten dieses Training zwei-

mal täglich, morgens und abends, für 30 Minuten durch und protokollierten es. Dabei hielten sie zwischen den Trainingszeiten eine Unterbrechung von mindestens 8 Stunden ein. Während dieser Zeit benutzten die Patienten ihr nCPAP-Gerät regelmäßig weiter. Im Durchschnitt trainierten die Patienten 29 Stunden, die durchschnittliche individuell eingestellte Intensität betrug 39,8 % der maximalen Intensität.

Sowohl vor als auch eine Woche nach der Behandlung wurden die nächtlichen Atmungsparameter ohne nCPAP-Gerät durch somnopolygraphische Untersuchungen ermittelt und miteinander

	SHyoid t1	**SHyoid t2**
Gültige Fälle	39	39
Mittelwert	54,7	94,0
Std.Abweichung	30,6	49,8
Minimum	4,2	21,6
Maximum	130,6	300

verglichen. Die Maximalamplitude der suprahyoidalen Muskulatur nahm mit einer Mittelwertdifferenz von +39,3 (=71,95 % des Ausgangswertes) hochsignifikant zu. Der Body-Mass-Index betrug im Durchschnitt 29,4 kg/m² (s = 4,22).

Aufgrund von Ähnlichkeiten wurden die Patienten nach dem ZMT® mit Hilfe einer Clusteranalyse nach bestimmten Kriterien (AI, HI und DI) in Gruppen zusammengefasst. Die Patienten ließen sich zu zwei Clustern gruppieren:

Der erste Cluster enthielt dabei 26 Patienten mit einem Apnoe-Index zwischen 0,8 und 38,8, einem Hypopnoe-Index zwischen 1,3 und 50,2 sowie einem Desaturierungs-Index zwischen 0 und 72,3 vor dem Zungenmuskel-Training. Diese Indizes reduzierten sich nach dem ZMT® in ihren Maximalwerten auf AI = 18,2, HI = 16,0 und DI = 29,1.

Die Apnoe- (AI), Hypopnoe- (HI) und Desaturierungs-Indizes (DI) sanken bei den Patienten in Cluster 1 signifikant insgesamt um durchschnittlich etwa die Hälfte ab. Es trat eine erhebliche Verbesserung der Krankheitssymptomatik bei 26 der 40 Patienten (65%) auf.

Bei den übrigen 14 Patienten des zweiten Clusters mit Apnoe-Indizes zwischen 1,2 und 47,1, Hypopnoe-Indizes zwischen 4,2 und 41,5 sowie Desaturierungs-Indizes zwischen 10,2 und 67,5 vor dem ZMT® stellten sich keine signifikanten Veränderungen der Atmungsparameter ein, obwohl auch bei ihnen eine der ersten Gruppe vergleichbare Zunahme der suprahyoidalen EMG-Aktivität beobachtet werden konnte.

Die Analyse macht deutlich, dass zwei deutlich unterschiedliche Gruppen von Patienten existieren: eine, bei der das ZMT® eine

starke Verbesserung der atmungsbezogenen Schlafparameter bewirkte, und eine, bei der keine wesentliche Veränderung der Ausprägung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms erzielt werden konnte.

Die Ursachen für die ausbleibenden Atmungsverbesserungen müssen durch weitere Untersuchungen eruiert werden. Möglicherweise liegen spezifische anatomische Verhältnisse vor, die bei dieser Patientengruppe eine Wirksamkeit des ZMT® verhindern.

Nachdem in unserer zweiten Studie das Zungenmuskel-Training insbesondere bei Patienten mit niedrigen Apnoe/Hypopnoe-, Sauerstoffdesaturierungs- und Body-Mass-Indizes (AHI, DI und BMI) eine nachhaltige Verbesserung der nächtlichen Atmungsparameter ermöglicht hatte, konnte in der weiterführenden Studie gezeigt werden, dass sich Verbesserungen der schlafbezogenen Atmungsstörungen sowohl bei Patienten mit niedrigem Ausgangs-AHI (10-20), als auch bei denen mit höheren Indizes verzeichnen ließen. So sank der höchste vor Behandlung gemessene AHI von 89,1 nach dem Zungenmuskeltraining auf 18,3. Somit können auch Patienten mit höheren Atemstörungsindizes vom Zungenmuskel-Training profitieren, so dass eine Vorhersage über einen Behandlungserfolg aufgrund des Ausgangs-AHI demnach nicht möglich ist.

Im Laufe des Forschungsprojektes konnte festgestellt werden, dass eine ungestörte Schlafatmung bei den ersten von uns

behandelten Patienten nach dem ZMT® seit über 2 Jahren anhielt. Folgeuntersuchungen zeigten, dass die durch Elektrostimulation rekrutierte suprahyoidale Muskulatur, wenn diese durch isometrisches Training aktiviert bleibt, nach 6 Monaten etwa 80% des gewonnenen Kräftezuwachses behält. Die Atmungsparameter verbesserten sich dabei teilweise sogar weiter.

Ausblick, Vorhaben

Auch für dieses und das kommende Jahr sind weitere wissenschaftliche Studien geplant:

- Die erste beschäftigt sich mit der Sauerstoffsättigung des Gehirns während der Atemstillstände im Schlaf und wie diese durch das Zungenmuskel-Training beeinflusst wird,

- die zweite wird prüfen, ob durch das Zungenmuskel-Training bei den CPAP-Patienten, die nur teilweise Behandlungserfolge zu verzeichnen hatten, eine Absenkung ihres Beatmungsdrucks ermöglicht wird,

- eine dritte Studie wird den im Laufe der Zeit wieder auftretenden Muskel-Abbau an der suprahyoidalen Muskulatur nach erfolgtem Zungenmuskel-Training prüfen und welche Auswirkungen dieser auf die Schlafatmung hat,

- eine vierte Studie wird den Einfluss des Body-Mass-Indexes auf das Zungenmuskel-Training klären.

Glossar

Acetylcholin: wird im präsynaptischen Teil bestimmter Nervenfasern biosynthetisiert und wirkt als Neurotransmitter u.a. an den motorischen Endplatten, indem es aus praesynaptischen Vesikeln durch das eintreffende Aktionspotential eines motorischen Impulses freigesetzt wird und sodann mit den Rezeptoren der postsynaptischen Membran reagiert. Dadurch wird eine Änderung der Ionenpermeabilität ($Ca2+$, $Na+$, $K+$) und eine Kontraktion angesprochener Muskelfasern ermöglicht.

AHI: Apnoe-Hypopnoe-Index: Summe von Apnoen und Hypopnoen pro Schlafstunde

AI: Apnoe-Index: Zahl der Apnoen pro Schlafstunde

Amplitude der suprahyoidalen Muskulatur: Die Amplitude der suprahyoidalen Muskulatur kann mit Hilfe einer bipolaren Oberflächenableitung submandibulär gemessen werden. Der Patient wird während der Ableitung gebeten, mit maximaler Kraft seine Zunge gegen den Gaumen nach vorne in Richtung der Schneidezähne zu pressen. Die aufgezeicheten Amplitudenhöhen werden auf ihren Mittelwert hin berechnet und von diesem der Mittelwert der Basisspannung bei entspannter Zunge subtrahiert. Die Amplitudengröße wird als Abbildung der Muskelkraft aufgefasst

Apnoe: kein Atem; Atemstillstand

Atrophie: Gewebsschwund infolge nicht ausreichender Ernährung des Gewebe z.B. bei zu geringer Zufuhr oder mangelndem Substratangebot, so dass die abbauenden Stoffwechselprozesse überwiegen.

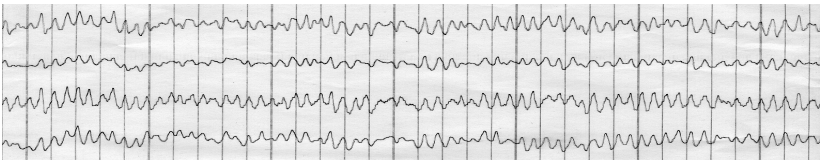
Axon (Neurit): Fortsatz einer Nervenzelle mit zylindrischer oftmals in Kollateralen verzweigter Form, der am Axonhügel des Körpers der Nervenzelle in ganz unterschiedlichen Längen entspringt und an anderen Nervenzellen oder Muskel- und Drüsenzellen (=Effektoren) synaptisch endet und neurale Erregungen weiterleitet. Wird gewöhnlich auch als Nervenfaser bezeichnet.

BMI: Body **M**ass **I**ndex, Körper Massen Index

Body Mass Index (BMI): Index, der das Verhältnis von Körpergröße in m^2 zu Körpergewicht in kg (kg/m^2) angibt.

CPAP: continuous **p**ositive **a**irway **p**ressure: kontinuierlicher positiver Atmungswegedruck

EEG: Elektro**e**ncephalo**g**raphie: Aufzeichnung des Wellenbildes der elektrischen Spannungen im Gehirn.



EMG: Elektro**m**yo**g**raphie: Aufzeichnung der elektrischen Muskelströme, der – elektronisch verstärkten – Aktionspotentiale der Muskeln in einem Elektromyogramm.

EMS: Elektro**m**yo**s**timulation, Verfahren zur Rehabilitation und Kräftigung der Skelettmuskulatur mit Hilfe eines von außen, aber auch über implantierbare Elektroden an den Muskel bzw. die innervierende Nervenfaser angelegten niederfrequenten Reizstromes (Wechselstrom).

Endplattenpotential EPP: „durch Depolarisation des Ruhemembranpotentials im subsynaptischen Bereich der motorischen Endplatte ausgelöstes Generatorpotential, das ein Muskelaktionspotential nach sich zieht. Nach der Diffusion des Acetylcholins durch die praesynaptische Membran der Endplatte u. den Synapsenspalt wird dieser Transmitter reversible an Membranrezeptoren gebunden u. ändert – in Abhängigkeit von einer ausreichenden Calciumionenkonzentration – die Durchlässigkeit der Ionenkanäle der postsynaptischen Membran für kleine Ionen (Na^+, K^+ u. Cl^-) im Rahmen der Erregungsübertragung; die auftretende Depolarisation pflanzt sich in Wellenform entlang der Zellmembran fort; sie hat Ionenverschiebungen im Zelläußeren zur Folge i.S. einer Elektronegativität der Umgebung, was zu Schwankungen in der elektr. Feldstärke führt, die sich bis zur Körperoberfläche ausbreiten und dort durch Elektroden registriert werden können (→ Elektromyographie)“ [32].

EOG, Elektro**o**kulo**g**ramm**:** Aufzeichnung der durch die Augenbewegungen erzeugten elektrischen Ströme

HI, Hypopnoe-**I**ndex**:** Zahl der auftretenden Hypopnoen pro Schlafstunde

Hyper- Vorsilbe (griechisch): "zu viel"

Hypo- Vorsilbe (griechisch): "zu wenig"

Hypopharynx: auch Laryngopharynx**,** wird der untere Schlundbereich genannt, der sich hinter und auch über dem Kehlkopf befindet. Er erstreckt sich vor dem 3. – 6. Halswirbel und geht in den Larynx und Ösophagus über. Siehe Abb. zum Pharynx.

Hypopnoe: zu wenig Atem; erhebliche Einschränkung der schlafbezogenen Atmung

Hz, Hertz: Anzahl von Wellen (Schwingungen) pro Sekunde

Kiefer-Umstellungsosteotomien: Osteotomie ist eine chirurgische Knochendurchtrennung, die etwa zur Verkürzung, Verlängerung, Achsenumstellung, Korrektur, Rotation oder Abstützung Anwendung findet.

Lumen: Lichtung eines Hohlorgans, hier bezogen auf die oberen Luftwege, das Lumen des Hypopharynx

Medulla: (latein.) Mark; Kurzform für Knochen-, Rückenmark

Medulla oblongata: Das „verlängerte Mark", auch als Nachhirn oder Myelencephalon bezeichnet, ist ein Hauptteil des zentralen Nervensystems und schließt sich kopfwärts direkt an das Rückenmark (Medulla spinalis) an und liegt in der hinteren Schädelgrube dem Clivus auf. Die Medulla oblongata reicht vom 1. Halsnervenpaar bis zum Unterrand der Brücke. Sie umfasst verschiedene Zentren, die für lebensnotwendige Funktionen wie Verdauung, Atmung und Kontrolle des Herzschlags zuständig sind. Neben anderen Hirnnervenkernen findet sich auch der Ursprungskern des Nervus hypoglossus in der Medulla oblongata.

Morbidität: kann zum einen die Erkrankungsrate, d.h. die in einem bestimmten Zeitraum registrierte Zahl der Krankheitsfälle einer definierten Krankheit, bezogen auf die Bevölkerungszahl bedeuten und zum anderen die Epidemiologie einer Krankheit meinen.

Mortalität: Sterblichkeit; Verminderung der Bevölkerungszahl durch Tod, i.e.S. die Prozentzahl der Todesfälle in einem bestimmten Zeitraum, bezogen auf die Gesamtbevölkerung oder auf Bevölkerungsteile (Sterberate, stat. Sterbeziffer)

Motoneuron: Da Motoneurone die letzten Neuronen in der efferenten Innervation der Skelettmuskulatur sind, werden sie auch als letzte „gemeinsame Endstrecke" der motorischen Leitungsbahn bezeichnet; ein M. besteht aus einer im Vorderhorn des Rückenmarks (bzw. in Gehirnkernen) gelegenen Ganglienzelle u. dem Neuriten (Axon), der bei spinalen Motoneuronen an den Muskelfasern, bei größeren α-Motoneuronen an den Skelettmuskelfasern unter Bildung motorischer Endplatten (= neuromuskuläre Synapsen) endet [32]. Die im ventralen Teil der grauen Substanz des Rückenmarks, in den Vorderhörnern, liegenden Zellkörper der Motoneurone erhalten über Synapsen sämtliche erregenden u. hemmenden Impulse des zentralen Nervensystems. Die motorischen Impulse haben dabei bei Übertragung eine Erregung des Muskels zur Folge: es kommt zur Kontraktion der Muskelfasern des Skelettmuskels, indem ein Impuls an der motorischen Endplatte des Motoneurons die Ausschüttung von Acetylcholin in den synaptischen Spalt bewirkt, was wiederum bei einem überschwelligen Reiz an der postsynaptischen Membran des quergestreiften Muskels eine Potentialänderung (Endplattenpotential) mit konsekutiver Kontraktion entsprechender Muskeleinheiten ermöglicht.

Motorische Einheit: Funktionseinheit, die aus einem einzelnen Motoneuron und den von ihm innervierten Muskelfasern besteht. Jede Faser eines Skelettmuskels wird von nur einem Motoneuron innerviert. Dieses innerviert mehrere Muskelfasern, die bei einem eintreffenden Aktionspotential zugleich als motorische Einheit kontrahieren. Je mehr motorische Einheiten

aktiviert werden, um so stärker ist die Kraftentfaltung des Muskels (Rekrutierung). Je höher die Impulsfrequenz des Motoneurons, um so stärker die Kontraktionskraft der motorischen Einheit [15]. Ein Muskel kann nur 100 aber auch 2000 Motorische Einheiten umfassen. Je mehr ME ein Muskel zu Verfügung hat, desto feiner kann seine Kontraktion eingestimmt werden.

Motorische Endplatte: ist das Endorgan der Erregungsübertragung motorischer Nervenzellen auf die postsynaptische Membran eines quergestreiften Skelettmuskels. An dieser neuromuskulären Synapse wird der motorische Impuls durch Freisetzung von Acetylcholin in den synaptischen Spalt und dessen Bindung an Rezeptoren der postsynaptischen Membran mit folgender Auslösung des Endplattenpotentials übertragen.

Musculus genioglossus: Der Ursprung des Genioglossus liegt im Unterkiefer, von wo aus er sich fächerförmig in die gesamte Zunge ausbreitet. Er wird durch den Nervus hypoglossus innerviert, so dass eine Protrusion, z.B. das Herausstrecken der Zunge, und ein Halten der Zunge in der Sagittalen ermöglicht wird. Damit ist er insbesondere an einer Weitung der oberen Luftwege beteiligt.

Musculus geniohyoideus: Dieser Mundbodenmuskel entspringt im Unterkiefer und setzt am Zungenbeinkörper an. Er ist an der Protrusion der Zunge mitbeteiligt und ermöglicht auch Zungenbeinverlagerungen nach und Unterkieferverändernungen nach unten. Er ist damit wie der Genioglossus an einer

Weitung des pharyngealen Lumens beteiligt. Innerviert wird er durch den Ramus geniohyoideus.

Musculus hyoglossus: Der Ursprung des Hyoglossus liegt im Zungenbein und er ist am Seitenrand der Zunge mit dem M. styloglossus verflochten. Er dient der Retraktion, dem Rückwärts- und Abwärtsziehen der Zunge, und wird ebenfalls von dem Nervus hypoglossus motorisch versorgt.

Musculus longitudinalis inferior und superior: Formverändernde Eigenmuskeln der Zunge

Musculus palatoglossus: Der Gaumen-Zungen-Muskel entspringt im weichen Gaumen und verläuft am Seitenrand der Zungenwurzel, so dass er das Senken des weichen Gaumens, das Heben des Zungengrundes und das Verengen der Schlundenge nach Innervierung durch die Rachenäste des N. glossopharyngeus ermöglichen kann.

Musculus styloglossus: Ebenfalls durch den Nervus hypoglossus innerviert ist der Muskel am Nachhintenziehen der Zunge beteiligt und ermöglicht so z.B. den Transport von Speisen. Er sitzt am Seitenrand der Zunge an und hat seinen Ursprung im Schläfenbein.

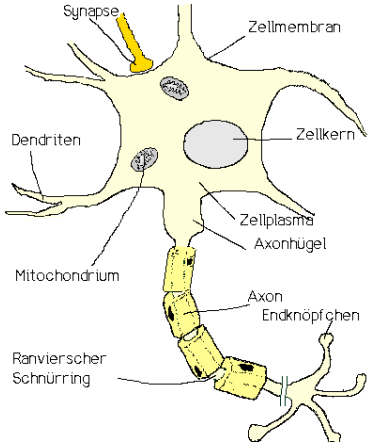
Muskelatrophie: sich abbauendes Muskelgewebe, Verminderung der Skelettmuskelmasse durch Abnahme der Faserzahl,

Verschmälerung der Fasern, Schwinden der kontraktilen Substanz, herkömmlich auch Muskelschwund

Muskeltonus: der Spannungszustand des Muskels, der sich durch Messung der elektrischen Erregung mittels Elektromyographie bestimmen lässt.

nCPAP: (engl.) **n**asal **c**ontinuous **p**ositive **a**irway **p**ressure, kontinuierliche Überdruckeatmung durch die Nase mit entsprechend entwickelten Überdruckbeatmungsgeräten

Nervus hypoglossus: der XII. rein somatomotorische Hirnnerv; dessen Ursprungskern sich im unteren Drittel der Medulla oblongata befindet, von wo aus er mit 10-15 Wurzeln im Sulcus lateralis anterior zwischen Olive und Pyramide aus dem Hirnstamm austritt und durch den Canalis hypoglossi die Schädelhöhle verlässt, um unterhalb der Schädelbasis im Bogen zur Zungenmuskulatur zu verlaufen. Dort innerviert er die Mm. Styloglossus, hyoglossus und genioglossus.



Neurit: Axon

Neuron: Nervenzelle, die aus einem Zellkörper und Fortsätzen besteht, über welche die nervöse Erregung geschieht.

Aufgrund ihrer Funktion kann zwischen sensorischen (afferenten), motorischen (efferenten) und InterNeuronen unterschieden werden. Je nach Anzahl ihrer Fortsätze gibt es unipolare, bipolare oder multipolare Nervenzellen.

NFATc1: Der Transkriptions-faktor NFATc1 (Nuclear Factor of Activated T Cells) ist entscheidend an der Ausprägung von Muskelfasern in Typ I oder Typ II beteiligt. Er wird in dephosphorylierter Form in den Zellkern transportiert und ermöglicht hierdurch die Expression von einigen Fasertyp-I-spezifischen Genen. Eine Lokalisation im Zellkern bedeutet, dass der Transkriptionsfaktor aktiviert wurde und somit die Transkription von bestimmten Genen einschalten und unterhalten kann. Eine Lokalisation im Zytoplasma hingegen bedeutet, dass NFATc1 in der inaktiven Form vorliegt. Somit scheint das Aktivitätsmuster des Motoneurons via Calcium-Calcineurin-NFATc1 in der Muskelzelle über die Expression der fasertypspezifischen Myosinketten-Isoform und damit über die Ausprägung der Muskelfaser in Typ I oder Typ II zu entscheiden [18, zitiert nach Gros 2001]

Obstruktion: (latein.) totaler Verschluss eines Hohlorgans durch Verlegung, Verstopfung oder Kompression

OD: oxygen **d**esaturation: Sauerstoff-Entsättigung

ODI: oxygen **d**esaturation **i**ndex: Zahl der Sauerstoffsättigungsabfälle je Schlafstunde

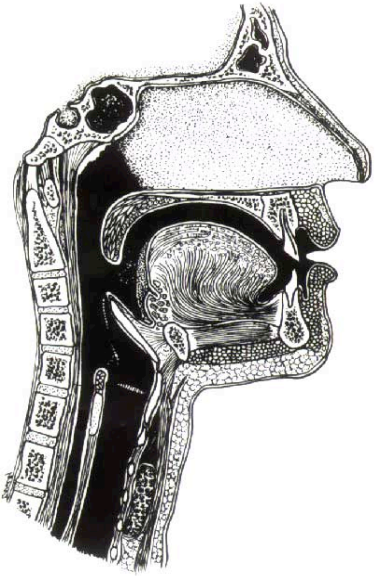
Okklusion: pathologischer Verschluss eines Hohlorganlumens

OSA: obstructive **s**leep **a**pnea**:** Atemstillstände während des Schlafes, die durch Verengung oder Verschluss der Atemwege entstehen.

OSAS: Obstruktives **S**chlaf**a**pnoe-**S**yndrom, siehe OSA

Palatum: Gaumen

Pharynx: Rachen oder Schlund; Gemeinsamer Abschnitt der Luft- und Speisewege, der in (Epi-, Meso- bzw. Hypopharynx) unterteilt wird. Sein Lumen steht in offener Verbindung zu Nasen-, Mundhöhle u. Kehlkopf.



Pharyngeal: (latein.) den Schlund (Pharynx) betreffend

Polysomnographie: Gleichzeitige Aufzeichnung verschiedener

Schlafmesswerte (EEG, EOG, EMG, EKG, Atemflussmessung, thorakale und abdominale Atemexkursionen, Sauerstoffsättigung, Körperlage u.w.) - besser: Somnopolygraphie

Posterior: (latein.) hinterer, rückwärtiger (=dorsaler)

Protrusion: (latein.) Vorschieben. Protrusion des Zungenkörpers. Gegenteil: Retraktion, Zurückziehen des Zungenkörpers

PSG: Polysomnographie

Ramus geniohyoideus: Ein Nervenast des XII. Hirnnerv (N. hypoglossus, der den M. geniohyoideus innerviert.

REM-Schlaf-Assoziation: Der Schlaf kann in mehrere Schlaftiefen definiert werden. Z. B.: Wach, 1, 2, 3, 4, wobei 4 der tiefste Schlaf ist. Jetzt entspannen sich die Muskeln deutlich. Daneben gibt es den sogenannten REM-Schlaf (auch Traumschlaf, paradoxer Schlaf genannt). REM ist die Abkürzung von **R**apid **e**ye **m**ovement (schnelle Augenbewegungen), weil sich während dieser Schlafzeit die geschlossenen Augen hin- und herbewegen, wie beim Filmgucken. In dieser Schlafphase sind die Muskeln in der Regel ganz entspannt, wohl mit dem Ziel, dass wir uns während des Träumens nicht bewegen. Die Zungenmuskulatur und die Rachenmuskulatur entspannen sich dann auch am stärksten, so dass es während dieser Schlafzeit durch das Zurückrutschen der entspannten Zunge in den Rachen zu den meisten Atemstillständen kommt. Diese Verbin-

dung von REM-Schlaf und Atemstillständen nennt man REM-Schlaf-Assoziation.

Respiratory disturbance Index (RDI): Summe von Apnoen und Hypopnoen je Schlafstunde. Der RDI gibt an, wie häufig Apnoen und Hypopnoen während einer Stunde der Schlafzeit aufgetreten sind. Er wird unter anderem in Verbindung mit den daraus oftmals folgenden Sauerstoffentsättigungen als Indikator für eine nächtliche kontinuierliche Druckbeatmung genutzt. Synonym: Apnoe-/Hypopnoe-Index (AHI). → AHI

Retraktion: Zurückziehen oder auch Schrumpfen eines Organs oder Gewebes

Retroglossal: retro...(latein.) zurück, rückwärts, hinter, zurückliegend ...glossal: auf die Zunge (Glossa) bezogen.

Retropalatal: ...palatal: den Gaumen betreffend; hinter dem Gaumen

Sagittale, Sagittalebene: ist eine Ebene, die von hinten nach vorn bzw. umgekehrt in der Körperlängsachse (d.h. senkrecht zur Frontalebene) verläuft

SaO2: Sauerstoffsättigung

SI: snoring **i**ndex: Häufigkeit von Schnarchgeräuschen je Schlafstunde

Suprahyoidal: *supra*: (latein.) oberhalb; *hyoidal*: das Zungenbein (Hyoideum) betreffend; oberhalb des Zungenbeins gelegen.
Tetanie: ist ein auftretendes Syndrom neuromuskulärer Überregbarkeit

Tetanisch: eine Tetanie betreffend → Tetanie

Tetanus: Eine stufenweise Summation von Einzelzuckungen bzw. eine zunehmende Erhöhung der Reizfolge bis zur Entfaltung eines Kräfteplateaus, das eine maximale Kontraktion der motorischen Einheit ermöglicht.

„Das Aktionspotential in einem einzelnen Nerv oder Muskel dauert lediglich 1 bis 3 Millisekunden, während die Kontraktions- und Relaxationszeit für eine Muskelzuckung ... , eine kurze Kontraktion, 10 bis 100 Millisekunden beträgt. Folglich erlaubt eine Steigerung der Impulsfrequenz, dass sich die Kräfte der aufeinanderfolgenden Zuckungen addieren. Wenn sich der Muskel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aktionspotentialen nicht entspannen kann, addieren sich die Kräfte einer jeden Einzelzuckung bis ein Kräfteplateau erreicht ist. Dieses bezeichnet man als Tetanus" [15].

Tonisch: bezieht sich auf den Tonus eines Muskels und bedeutet eine kontinuierliche Muskelkontraktion; gleichmäßiger Tonus

Transversus linguae: kurz für Musculus transversus linguae; *transversus*: (latein.) quer zur Körperachse verlaufend; *Lingua*: (latein.) Zunge; quer zur Körperachse verlaufender Eigenmuskel der Zunge, der mit den longitudinalen Muskeln verwoben ist und durch den N. hypoglossus innerviert wird. Formveränderung der Zunge z.B. beim Sprechen

UPPP: Abk. für → Uvulopalatopharyngoplastik

Uvulopalatopharyngoplastik: Operation im Rachen, am Gaumen und Zäpfchen, um Gewebe zu entfernen. *Uvula*: (latein.=kleine Weinbeere) Name des am hinteren Rand des weichen Gaumens herabhängende Zäpfchen; *palatum*: Gaumen; *Pharynx*: Rachen

Verticalis linguae: kurz für Musculus verticalis linguae; Verticalis: (latein.) senkrecht, lotrecht (auch parallel zur Körper- bzw. Extremitätenlängsachse): senkrecht verlaufender Eigenmuskel der Zunge

ZMT®: Zungen**m**uskel-**T**raining; ein spezielles Verfahren zur Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur mittels elektrischer Stimulation, das zur Prävention und Behandlung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms und Schnarchen genutzt wird. Insbesondere durch die Arbeit von Wiltfang et al. angeregt wurde und wird es am PIB Schlafmedizinischen Zentrum Duisburg seit 1998 wesentlich entwickelt und erforscht.

ZNS: Zentrales **N**erven**s**ystem: bestehend aus Gehirn und Rückenmark, gliedert sich in sieben Hauptregionen: Rückenmark, Medulla oblongata, Pons, Cerebellum, Messencephalon, Diencephalon und die cerebralen Hemisphären

z-SAS: zentrales **S**chlaf**-A**pnoe**-S**yndrom: Atemstillstände während des Schlafens, welche durch das Atemzentrum des Gehirns verursacht wurden

Zungenextensor: Ein Zungenextensor ist eine spezielle intraorale Apparatur zur Behandlung des obstruktiven Schlafapnoe-Syndroms. Um eine Erweiterung der oberen Luftwege und eine Verhinderung des pharyngealen Kollaps zu erreichen, wirken intraorale Apparaturen wie etwa die so genannte "Esmarch-Schiene", Zungen-Retainer oder Zungenextensoren durch unterschiedliche Mechanismen auf die Lage des Unterkiefers, der Zunge, des Zungengrundes und benachbarter Weichteilstrukturen. Ein Zungenextensor ist ein im Bereich der Seitenzähne mit Klammern befestigter Spannbügel, der eine bewegliche Kunststoffplatte trägt, welche ein Drücken des Zungengrundes nach ventral und kaudal ermöglicht.

Literaturverzeichnis

[1] Appel, H.-J.: Elektrotherapie zum Kraftaufbau der Skelettmuskulatur. Morphologische und elektrophysiologische Zusammenhänge. In: Wentzensen, A., Schmelz, A. (Hrsg.): Elektromyostimulation in der Traumatologie. In: Hierholzer, G., Weller, S. (Hrsg.): Traumatologie aktuell. Band 6, Thieme, Stuttgart, 1992.

[2] Appell, H.-J.: Muskeltraining durch Elektrostimulation. Der Mediziner, 4, 1987.

[3] Appell, H.-J.: Über den Einsatz der Elektrostimulation zur Muskelkräftigung in Therapie und Rehabilitation. Physikalische Therapie 8, 1987.

[4] Broniatowski, M.: The potential for neurostimulation in obstructive sleep apnea. Asaio Journal 40: p- 13-16, 1994.

[5] Brouillette, R.T., Thach, B.T.: A neuromuscular mechanism maintaining extrathoracic airway patency. J Appl Physiol; 46:772-9, 1979.

[6] Brouillette, R.T., Thach, B.T.: Control of genioglossus muscle inspiratory activity. J Appl Physiol; 49:801-8, 1980.

[7] Cabric, M.,Appell, H.-J.: Zur Wirkung hochfrequenter Elektrostimulation auf Muskelkaft und Muskelmasse. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 38, Nr. 1, 1987.

[8] Duchateau, J., Hainaut, K.: Trainings effects of sub-maximal electrostimulation in a human muscle. Med. Sci. Sports Exerc. 20: 99-104, 1988.

[9] Eccles JC, Eccles RM & Lundberg A (1957). Synaptic actions on motoneurones caused by impulses in Golgi tendon organ afferents. J Physiol (Lond) 138: 227-252

[10] Edmonds, L.C.; Daniels, B.K.; Stanson, A.W. et al.: The effects of transcutaneous electrical stimulation during wakefulness and sleep in patients with obstructive sleep apnea. Am Rev Resp Dis 146, p. 1030-1036, 1992

[11] Fairbanks, D.W.; Fairbanks, D.N.F.: Neuro stimulation for obstructive sleep apnea investigation. Ent J; 93:52-7, 1993.

[12] Gessmann, H. W.: Training der suprahyoidalen Muskulatur bei fünf Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. Verlag des PIB, Duisburg, 1998.

[13] Gessmann, H.-W.: Rekrutierung der suprahyoidalen Muskulatur durch externe Elektrostimulation zur Prävention und Behandlung des Schlafapnoe-Syndroms. Verlag des PIB, Duisburg, 2000.

[14] Gessmann, H.-W. et al.: Das Zungenmuskel-Training (ZMT®) bei nCPAP-Patienten mit obstruktivem Schlafapnoe-Syndrom. Verlag des PIB, Duisburg, 2001.

[15] Ghez, C., Gordon, J.: Muskeln und Muskelrezeptoren. In: Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessel, T.M. (Hrsg.): Neurowissenschaften. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verl., S. 512-25, 1995.

[16] Goding GS, Eisele DW, Christopherson MA, et al. Long-term monitoring of repiration with a mediastinal pressure sensor in dogs. Ann Otol Laryngol;110:215-20, 2001.

[17] Gottfried, S.B., Strohl, K.P., Van de Graaf, W., Fouke, J.M., DiMarco, A.F.: Effects of phrenic stimulation on upper airway resistance in anesthetized dogs. J Appl Physiol; 55:419-26, 1983.

[18] Gros, G.: Mechanismus der Fasertyp-Transformation im Skelettmuskel. Abteilung für Vegetative Physiologie der Medizinischen Hochschule Hannover, 2001.

[19] Guilleminault, C.; Powell, N.; Boman B.; Stoohs, R.: The effect of electrical stimulation on obstructive sleep apnea syndrome. Chest 107, p. 67-73, 1995.

[20] Guillemineault, C., Hill, M.W., Simmons, F.B., Dement, W.C.: Obstructive sleep apnea: electromyographic and fiberoptic studies. Exp Neurol; 62:48-67, 1978.

[21] Harper, R.M., Sauerland, E.K.: The role of the tongue in sleep apnea. In: Guillemineault. C., Dement, W.C., eds.: Sleep apnea syndromes. Vol. 11. New York: Alan R. Liss, 219-34 1978.

[22] Hida, W.; Kurosawa, H.; Okabe, S.; Kikuchi, Y. et al.: Hypoglossal nerve stimulation affects the pressure-volume behavior of the upper airway. Am J Respir Crit Care Med; 151:455-60 1995.

[23] Hochban, W.: Das obstruktive Schlafapnoesyndrom. Blackwell, Berlin-Wien, 1995.

[24] Horner, R.L., Innes, J.A., Holden, H.B., Guz, A. : Afferent pathway(s) for pharyngeal dilator reflex to negative pressure in man : a study using upper airway anesthesia. J Appl Physiol 436: 31-44, 1991.

[25] Horner, R.L., Innes, J.A., Murphy, K., Guz, A. : Evidence for reflex upper airway dilator muscle activation by sudden negative airway pressure in man. J Appl Physiol 436 : 15-29, 1991.

[26] Hudgel, D.; Martin, R.; Johnson, B.; Hill, P.: Mechanics of the respiratory system and breathing pattern during sleep in normal humans. J Appl Physiol (56): 133-137, 1984.

[27] Jeffries, B., Brouillette, R.T., Hunt, C.E.: Electromyographic study of some accessory muscles of respiration in children with obstructive sleep apnea. Am Rev Respir Dis; 129:696-702 198

[28] Karba, R., Stefanovska, A., Dordevic, S.: Human skeletal muscle: Phasis type of electrical stimulation increases itscontractile speed. Ann. Biomed. Engin. 18: 479-490, 1990.

[29] Kern, H.: Möglichkeiten der modernen physikalischen Medizin: Die Elektrostimulation der Muskulatur. In: Wentzensen, A., Schmelz, A. (Hrsg.): Elektromyostimulation in der Traumatologie. In: Hierholzer, G., Weller, S. (Hrsg.): Traumatologie aktuell. Band 6, Thieme, Stuttgart, 1992.

[29a] Kryger, M.H., Roth, T., Dement, W.C.: Principles and Practice of Sleep Medicine. Saunders Company, London, 1994.

[30] Kunz, M.: Das Muskelaufbautraining nach Knieverletzungen in der frühen Phase der Rehabilitaton. Krankengymnastik (KG) 42: Nr. 7, 1990.

[31] Lavie, P.; Herer, P.; Peled, J. et al.: Mortality in sleep apnea patients. Sleep (18) : 149-157, 1995.

[32] Lexikon-Redaktion des Verlages Urban & Schwarzenberg: Lexikon Medizin. 3. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München

[33] Lieber, R. L. et al.: Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery. Journal of Orthopaedic Research 14, p. 131-138

[34] Mathew, O.P., Abu-Osba, Y.K., Thach, B.T.: Influence of upper airway pressure changes on genioglossus muscle respiratory activity. J Appl Physiol; 52:438-44 1982.

[35] Mezzanotte, W.S., Tangel, D.J., White, D.P.: Influence of sleep onset on upper-airway muscle activity in apnea patients versus normal controls. Am J Respir Crit Care Med 153: 1880-1887, 1996.

[36] Mezzanotte, W.S., Tangel, D.J., White, D.P.: Waking Genioglossus electromyogram in sleep apnea patients versus controls (a neuromuscular compensatory mechanism). J Clin Invest. 89: 1571-1579, 1992.

[37] Miki, H.; Hida, W.; Shindoa, D.; Kikuchi, Y.; Chonan, T.; Tagichi, O.: Effects of the electrical stimulation of the genioglossus on upper airway resistance in anesthetized dogs. Am. Rev Respir Dis 140, p. 1279-1284, 1989a.

[38] Miki, H.; Hida, W.; Chonan T.; Kikuchi, Y.; Takishima, T.: Effects of submental stimulation during sleep on upper airway patency in patients with obstructive sleep apnea. Am. Rev Respir Dis 140, p. 1285-1289, 1989b.

[39] Müller, W.-D.: Elektromyostimulation in der Rehabilitation nach Kniegelenkendoprothetik. Inaugural-Dissertation, Göttingen, 1992.

[40] Peter, J.H.; Becker, H.; Blanhe, J. et al.: Empfehlungen zur Diagnostik, Therapie und Langzeitbetreung von Patienten mit Schlafapnoe. Med Klein; 86:46-50 1991.

[41] Podszus, T.; Peter, J.; Hochban, W. et al: Electrical hypoglossus nerve stimulation in obstructive sleep apnea (abstract). Am Rev Respir Dis (151), A538, 1995.

[42] Randerath, J.W., Galetke, W., Rühle, K.-h., Rocholl, C.C.: Zungenmuskel-Training durch intraorale Elektrostimulation bei obstruktiver Schlafapnoe. Klinik Ambrock, Hagen. Abteilung für Pneumologie, Allergologie und Schlafmedizin der Universität Witten/Herdecke, 2003.

[43] Remmers, J.E., deGroot, W.J., Sauerland, E.K., Anch, A.M.: Pathogenesis of upper airway occlusion during sleep. J Appl Physiol; 44:931-8 1978.

[44] Sauerland, E.K., Mitchell, S.P.: Electromyographic activity of the human genioglossus muscle in response to respiration and positional changes of the head. Bull Los Angeles Neurol Soc; 35:69-73 1970.

[45] Sauerland, E.K., Mitchell, S.P.: Electromyographic activity of intrinsic and extrinsic muscles of the human tongue. Tex Rep Biol Med; 33:445-55 1975.

[46] Sauerland, E.K., Harper, R.M.: The human tongue during sleep: electromyographic activity of the genioglossus muscle. Exp Neurol; 51:160-70 1976.

[47] Schmidtbleicher, D.: Sportliches Krafttraining und motorische Grundlagenforschung. In: Haltung und Bewegung beim Menschen. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1984.

[48] Schwartz AR, Bennet EL, Smith PL, et al. Therapeutic electrical stimulation of the hypoglossal nerve in obstructive sleep apnea. Arch Otolaryngeol Head Neck Surg;127: 1216-23, 2001.

[48a] Schwartz AR, Bennett ML, Smith PL, De Backer W, Hedner J, Boudewyns A, Van de Heyning P, Ejnell H, Hochban W, Knaack L, Podszus T, Penzel T, Peter JH, Goding GS, Erickson DJ, Testerman R, Ottenhoff F, Eisele DW.: Therapeutic electrical stimulation of the hypoglossal nerve in obstructive sleep apnea. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2001 Oct;127(10):1216-23

[49a] Schwartz, A.; Thut, D.; Russ, B.; Seelagy, M.; Yuan, X.; Browner, R.; Permutt, S.; Wise, R.; Smith, P.: Effect of electrical stimulation of the hypoglossus nerve on airflow mechanics int the isolated upper airway. Am Rev Respir Dis (147): 1144-1150, 1993.

[49] Schwartz, A.R.; Eisele, D.W.; Hari, A.K.; Schubert, N.; Smith, P.L.: Electrical genio-glossal stimulation increases airflow and at-

tentuates obstructive apnea during sleep (abstract). Am Rev Respir Dis 147(4):A251, 1993.

[50] Seichert, N.: Möglichkeiten und Gefahren einer Elektrotherapie bei Implantaten. Physiotherapie, 80,1989.

[51] Shepard, J.¸Thawley, S.: Localization of upper airway collapse during sleep in patients with obstructive sleep apnea. Am Rev Respir Dis (141): 1350-1355, 1990.

[52] Smith, P.; Eisele,D., Podszus, T.; Penzel, T.; Grote, L.; Peter, J.; Schwartz, A.: Electrical stimulation of upper airway musculature. Sleep 19 (10): 284-287, 1996.

[53] Strohl, K.P., Hensley, M.J., Hallett, M., Saunders, N.A., Ingram, R.H.Jr.: Activation of upper airway muscles before onset of inspiration in normal subjects. J Appl Physiol; 49:638-42 1980.

[54] Suratt, P.M., McTier, R.F., Wilhoit, S.C.: Upper airway muscle activation is augmented in patients with obstructive sleep apnea compared with that in normal subjects. Am Rev Respir Dis; 137:889-894, 1988.

[55] Van de Graaf, W.B., Gottfried, S.B., Mitra, J., van Lunteren, E., Cherniack, N.S., Strohl, K.P.: Respiratory function of hyoid muscles and hyoid arch. J Appl Physiol; 57:197-204, 1984.

[56] Verse, T., Lindenthaler, W., Breithaupt, N., Pirsig, W., Kroker, B.: Das Genioglossus-EMG als Parameter der Früh- und Vordiagnostik der obstruktiven Schlafapnoe. Somnologie 3: 14-20, 1999.

[57] Verse, T.: Transkutane Elektrostimulationstherapie bei obstruktiver Schlafapnoe. MedReport Blackwell Verlag Nr. 32, 26 Jahrgang, Berlin, Sept. 2002.

[58] Wentzensen, A., Schmelz, A. (Hrsg.): Elektromyostimulation in der Traumatologie. In Hierholzer, G. u. Weller. S. (Hrsg.): Traumatologie aktuell Band 6, Thieme, Stuttgart, 1992.

[59] Wiltfang, J.; Klotz, S. Jordan, W.; Cohrs, S.; Engelke, W.; Ludwig, A.; Hajak, G.: Erste Ergebnisse zum Training der suprahyoidalen Muskulatur bei Probanden und einem Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. Somnologie 1, S. 160-164, 1997.

[60] Yang H, Meng XG, Zhu YZ, Li H, Deng AC, Shun LY: Clinical study of effects of submaxillary transcutaneous electrical stimulation of genioglossus on obstructive sleep apnea syndrome. Department of Otolaryngology, Xingqiao Hospital, Third Millitary Medical University, Chongqing 400037. Lin Chuang Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi;14(6):250-2, Jun 2000.

[61] Yoshida K.; Thumm J.; Siebert GK: Kau- und Zungenmuskelaktivität bei Schlafapnoikern und Schnarchern. Dtsch Zahnärztl Z 50, S. 387-389, 1995.

Anhang

Was tun beim Verdacht auf eine Schlaf-Apnoe? - Erste diagnostische Schritte

Bei der Schlafapnoe handelt es sich um ein Krankheitsbild, bei dem während des Schlafs (oft mit Schnarchen verbunden) u. a. Atemstillstände von mindestens 10 Sekunden Dauer auftreten. Diese Atemstillstände sind häufig die Ursache von Schlafstörungen, weil durch sie ein Sauerstoffmangel im Körper entsteht.

Um abzuklären, ob während des Schlafes solche Atemaussetzer auftreten, können Sie z. B. im PIB Schlafmedizinischem Zentrum Duisburg einen Untersuchungs-Recorder ausleihen und (nach Einweisung in den Gebrauch) bei sich zu Hause selbst eine erste Untersuchung durchführen.

Das Aufnahmegerät wurde dem Schlaflabor des PIB-Zentrums vom Förderkreis für psychosoziale Versorgung e. V. gemeinsam mit der Stadtsparkasse Duisburg gespendet. Aus diesem Grund bietet das Duisburger Schlaflabor diese Untersuchung (einschließlich Auswertung und Befundbericht) kostenlos jedem Erst-Betroffenen an.

Beim Aufzeichnungsgerät handelt es sich um einen digitalen Rekorder, mit dem während des Schlafs verschiedene körperliche Messwerte aufgezeichnet werden können. Hierzu zählen die Atembewegung

des Brustkorbs sowie der Atemfluss durch die Nase und die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff. Des weiteren werden Schnarchgeräusche, die Herztätigkeit und die Körperlage registriert.

Für die Aufzeichnung der Messwerte werden Sie durch geschultes Personal in die Benutzung des Gerätes eingewiesen.

Die Aufzeichnung wird am darauf folgenden Tag im Labor ausgewertet und ermöglicht erste diagnostische Aussagen. Auf der Grundlage der Ergebnisse der Voruntersuchung mit dem Schlafrekorder kann dann über weitere Untersuchungen entschieden werden.

Schlafhygiene

Der Begriff *Hygiene* verweist auf Hygieia, die griechische Göttin der Gesundheit und Tochter des Asklepios (griech. Heilgott). Während dieser Begriff in der Alltagssprache meist gleichbedeutend mit Sauberkeit, Reinlichkeit verwendet wird, kommt ihm in der Medizin eine etwas spezifischere Bedeutung zu. Unter Hygiene versteht man hier (aus *Duden: Deutsches Universalwörterbuch*):

1. die Gesundheitslehre, also den Bereich der Medizin, der sich mit der Erhaltung und Förderung der Gesundheit und ihren natürlichen und sozialen Vorbedingungen befasst; und

2. die Gesundheitspflege, also die Gesamtheit der Maßnahmen in den verschiedensten Bereichen zur Erhaltung und Hebung des Gesundheitszustandes und zur Verhütung und Bekämpfung von Krankheiten.

Unter dem Begriff *Schlafhygiene* versteht man dementsprechend alle Umstände, Verhaltensweisen und Maßnahmen, die einen guten und erholsamen Schlaf bewirken (aus *Schering-Lexikon Schlafmedizin*).

Die Regeln der Schlafhygiene enthalten einfache Empfehlungen zur Veränderung von Verhaltensweisen, die den Schlaf negativ beeinflussen. Sie sind vom Patienten alleine leicht durchzuführen. Die Schlafhygiene zählt zu den nichtpharmakologischen Therapieformen. Patienten, die an Schlaflosigkeit (Insomnie) leiden, können trotz unterschiedlichster Krankheitsursachen

So sollte auch jeder Apnoe-Patient im Rahmen seiner Therapie über die Schlafhygiene informiert worden sein; die Umsetzung der schlafhygienischen Verhaltensregeln sollte in Zusammenarbeit mit dem behandelnden Arzt abgeklärt worden sein. Die Empfehlungen zur Schlafhygiene haben unterstützende und ergänzende Funktion im Rahmen der nCPAP-Therapie. Bei Patienten mit geringem Apnoe-Index (durchschnittliche Anzahl der Atempausen pro Stunde) kann

Schlafhygiene alleine (vor allem Gewichtsreduktion, Sedativa- und Alkoholvermeidung) eine entscheidende Besserung bewirken.

Eine Nichtbeachtung der Schlafhygiene kann zur Folge haben, dass Schlafstörungen trotz nCPAP-Therapie fortbestehen.

Empfehlungen zur Schlafhygiene

(nach Hajak u. Rüther: *Insomnie*)

1. Einhalten der individuell notwendigen Schlafmenge: Der Schläfer soll den Zeitraum, den er im Bett verbringt, auf das Maß beschränken, das er von beschwerdefreien Zeiten kennt. Schläft er länger, wird der Schlaf oberflächlicher, weniger erholsam und häufiger von Erwachen durchsetzt.

Wenn sie das Maß überschreiten, sind beide böse: der Schlaf und das Wachen.
Hippokrates

2. Einhalten regelmäßiger Schlafzeiten: Regelmäßige Zeiten für das Zubettgehen und das morgendliche Aufstehen stabilisieren die Schlaffälligkeit und den Schlaf-Wach-Rhythmus. Insbesondere dürfen sich die Schlafzeiten auch am Wochenende und an Feiertagen, bzw. im Urlaub, nicht von denen der Arbeitswoche unterscheiden.

3. Angenehme Schlafbedingungen: Das Schlafzimmer sollte angenehm und schlaffördernd gestaltet sein, der Schläfer sich sicher und geborgen fühlen. Dazu gehören eine angenehme, meist leicht kühle Zimmertemperatur und eine weitgehende Licht- und Schallisolierung des Schlafzimmers. Dinge, die an den Beruf oder andere Stressoren erinnern - beispielsweise ein Schreibtisch oder

Bügelbrett -, gehören nicht in den Schlafraum eines Schlafgestörten. Keinesfalls darf eine Uhr im Schlafzimmer sichtbar oder zu hören sein. je mehr Zeit ohne Schlaf vergangen ist, desto aufgeregter und wacher würde der Schlafgestörte beim Blick auf die Uhr werden.

4. Ausgeglichene Ernährung: Sowohl Hunger als auch ein übervoller Magen stören den Schlaf. Große Portionen, fette und scharf gewürzte Speisen sind abends zu vermeiden. Ein leichter Imbiss vor dem Zubettgehen kann das Einschlafen verbessern, was neben physiologischen wohl auch psychologische Ursachen hat. Beschränkte Flüssigkeitsmengen reduzieren zudem den Harndrang.

Mit einem leeren Magen und einem leeren Kopf schläft es sich am besten.
Eleonore van der Straten-Sternberg

5. Koffeinkarenz: Koffeingenuss stört den Schlaf selbst bei Menschen, die dies subjektiv nicht wahrnehmen. Vermeiden sollte der Insomniepatient daher den abendlichen Genuss von Cola und schwarzem Tee.

6. Alkohol- und Nikotinkarenz: Die schlafstörende Wirkung von Nikotin sollte zur Beschränkung des abendlichen Zigarettenkonsums führen. Obwohl abendlicher Alkoholgenuss das Einschlafen fördern kann, wird der Schlafverlauf unruhiger und fragmentiert. Auch sollte man der Gefahr einer Abhängigkeitsentwicklung, bei oftmals guten

Anfangserfolgen als Selbstherapeutikum, vorbeugen. Besonders abendlicher Alkoholkonsum bewirkt eine Vermehrung und Verlängerung von Atempausen und sollte daher besonders von Apnoe-Patienten vermieden werden.

7. Körperliches Training: Bei Schlafgestörten soll ein abgeflachter zirkadianer Rhythmus der Temperatur zum schlechten Schlaf beitragen. Körperbewegungen erhöhen die Körpertemperatur und intensivieren den Stoffwechsel. Etwa 4 - 6 Std. nach der Anstrengung, zeigen beide Parameter eine kompensatorische Gegenauslenkung. Die Veränderung der Körpertemperatur könnte erklären, dass Sport 4 - 6 Std. vor dem Zubettgehen den Schlaf fördern soll. Körperliche Aktivitäten kurz vor dem Schlafen sind für eine gegenteilige Wirkung bekannt. Vor allem die fitnessstärkende regelmäßige sportliche Tätigkeit verbessert den Schlaf. Intensives, aber nicht regelmäßiges Turnen hilft dagegen nicht.

8. Entspannende Abendgestaltung. Prinzipiell sind Tätigkeiten zu vermeiden, die eine innere Erregung oder körperliche Anstrengung verursachen. Viele Menschen haben zudem einen Lebensstil, der sie verleitet, abends später nach Hause zu kommen und zu später Stunde das Abendessen einzunehmen, wonach sie dann gezwungen sind, schnell einzuschlafen, um morgens frisch aufstehen zu können. Dieser Verlust entspannender Abendstunden kann das Einschlafen schwierig machen. Ein Insomniepatient sollte sich daher den Tag so einteilen, dass ihm

abends ausreichende Zeit zur Erholung zur Verfügung steht.

9. Tun Sie am Abend das, was Sie entspannt; aufregende Tätigkeiten oder solche, die an die Probleme des Tages erinnern, sollten vermieden werden.

10. Stellen Sie Ihr Leben gerade in denjenigen Punkten um, wo Sie am weitesten von den Empfehlungen abweichen.

Kontakt

Besonders hinweisen möchten wir Sie auf unsere Webseite, auf der Sie z.B. die Studien zum ZMT finden, die Möglichkeit haben, ihren Body Mass Index schnell und einfach zu bestimmen, und viele weitere Informationen und Anregungen erhalten. Hier finden sie auch ein Forum für schlafmedizinische Themen, in welchem Sie Fragen an uns richten können, mit anderen Interessierten sich austauschen und Kontakt aufnehmen oder einfach von Ihren Erfahrungen berichten können.

Bei Fragen oder Anregungen erreichen Sie uns unter folgender Anschrift.

PIB
Schlafmedizinisches Zentrum Duisburg

Ltd. Arzt Reinhard Hegemann
Laborleiter Hans-Werner Gessmann

Rheinstraße 24

47198 Duisburg-Althomberg

Tel. 0 20 66 / 469 500
FAX 0 20 66 / 469 502
E-Mail info@pib-zentrum.de
web-site www.pib-zentrum.de