

Interaktion von Schlafregulation und autonomem Nervensystem – Teil 1

Physiologie und schlafmedizinische Diagnostik

Der Schlaf ist kein passiver Zustand, sondern ein Prozess aktiver autonomer Regulation. Die unterschiedlichen Schlafphasen beeinflussen das autonome Nervensystem, damit auch die Funktionen von Atmung und Kreislauf. So variieren im Laufe der Nacht Herzfrequenz, Blutdruck, Atemvolumen und -frequenz sowie die zerebrale Durchblutung. Die Kenntnis der physiologischen Veränderungen im Laufe der verschiedenen Schlafphasen ist Voraussetzung, um Störungen diagnostizieren und einordnen zu können.

C.-A. HAENSCH, S. ISENMANN

Der Schlaf und das autonome Nervensystem sind funktionell und anatomisch eng verbunden. Schlaf als zyklisch strukturierter Prozess muss als Zustand aktiver autonomer Regulation angesehen werden. Schlaf beeinflusst die autonomen Funktionen von Atmung und Kreislauf direkt und moduliert ihre Wechselwirkung. Autonome

Funktionen werden charakteristischerweise durch den Schlaf beziehungsweise die unterschiedlichen Schlafphasen beeinflusst. Die klinische Bedeutung der Verbindungen von Atmung, Kreislauf und autonomem System dürfte erheblich sein.

Physiologische Schwankungen finden sich im autonomen Nervensystem

sowohl während der Non-REM(NREM)-als auch während der REM-Phasen und unterscheiden sich typischerweise von den Wachphasen. Diese Schwankungen zeigen ihre Charakteristika im respiratorischen und kardiovaskulären System (Atemfrequenz, Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Blutdruckmonitoring), der Sudomotorik, den Sexual-



Auch wenn der Schlafende nichts davon mitbekommt: Während des Schlafs sind eine Reihe verschiedener Regulationsmechanismen aktiv.

funktionen, der Temperaturregulation, der Pupillomotorik und der zerebralen Durchblutung [1]. Zur Erholung der Körpersysteme dient im Schlaf eine trophotrope Funktionslage mit Aktivierung des parasympathischen und eine Inaktivierung des sympathischen Nervensystems. Besonders in NREM-Stadien senken sich Blutdruck, Herzfrequenz, Schweißsekretion und auch die Atemfrequenz wird geringer. Während im REM-Schlaf eine den Tageswerten vergleichbare Erhöhung von Blutdruck und Herzfrequenz sowie eine verstärkte Variabilität dieser Parameter (s. Tab.) festzustellen ist.

Physiologische Herzfrequenzänderungen im Schlaf

Die Herzfrequenz nimmt in den NREM-Stadien 3 und 4 („Tiefschlaf“) um etwa vier Schläge pro Minute ab, vermittelt durch eine erhöhte parasympathische Aktivität. Im REM-Schlaf ist die Herzfrequenz gegenüber dem Wachzustand reduziert, gegenüber den tiefen Schlafstadien aber um bis zu zehn Schlägen pro Minute erhöht. Es zeigen sich zum Teil ausgeprägte Herzfrequenzanstiege mit erheblicher Variabilität und Blutdruckzunahme. In den frühen Mor-

genstunden überwiegt vor allem das parasympathische System, sodass die Herzfrequenz weiter um fünf bis sieben Schläge pro Minute abfällt (Maximum zwischen 2.00 Uhr und 4.00 Uhr).

Im NREM-Schlaf nimmt die ventrikuläre ektopische Aktivität des Herzens ab. In den REM-Phasen zeigt sich durch die größere Variabilität der sympathischen Aktivität oft eine Zunahme der ventrikulären Extrasystolen. Der Schlaf hat einen hemmenden Einfluss auf ventrikuläre Arrhythmien, möglicherweise mit zirkadianem Trend. Bei Jüngeren finden sich eher Bradyarrhythmien (Sinusbradykardie, Sinusarrest, AV-Block ersten und zweiten Grades), bei älteren Menschen eher supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen sowie Tachyarrhythmien. Insgesamt ist aber im physiologischen Schlaf aufgrund des verringerten Sympathikotonus im NREM-Schlaf die Wahrscheinlichkeit von Extrasystolen und Tachykardien gering.

Physiologische Blutdruckänderungen im Schlaf

Das typische zirkadiane Blutdruckverhalten zeigt einen biphasischen Verlauf mit höchsten Werten in den frühen Morgenstunden und einen deutlichen

Abfall in der Nacht um 10–15 % (dipper). Diese Rhythmik mit zirkadianem Verlauf findet sich bei normotonen Personen und bei essenzieller Hypertonie. In den NREM-Stadien 3 und 4 sinkt physiologisch der mittlere arterielle Druck am stärksten, um etwa 10–20 mmHg. Im REM-Schlaf zeigt sich ein leichter Blutdruckanstieg mit ausgeprägten Schwankungen. Das Herzzeitvolumen (HZV) zeigt einen Abfall vom Wachzustand bis zum REM-Schlaf durch den Abfall der Herzfrequenz und ein abfallendes Schlagvolumen. Die niedrigsten Werte für das HZV finden sich im REM-Schlaf [3].

Physiologische Änderungen des Atmungsmusters im Schlaf

Das basale Atmungsmuster wird durch rhythmische Aktivität respiratorischer Neurone in der Medulla oblongata (Atemzentrum) erzeugt. Dieser Rhythmusgenerator erhält Hauptafferenzen von den Chemorezeptoren, vagalen Mechanorezeptoren der Lunge und komplexen Reflexmechanismen. Im Schlaf sinkt die Empfindlichkeit des Atemzentrums für hypoxische und hyperkapnische Reize; der Abfall ist im REM-Stadium noch deutlicher als in den NREM-Stadien. Die CO₂-Empfindlichkeit ist in den frühen Morgenstunden am geringsten.

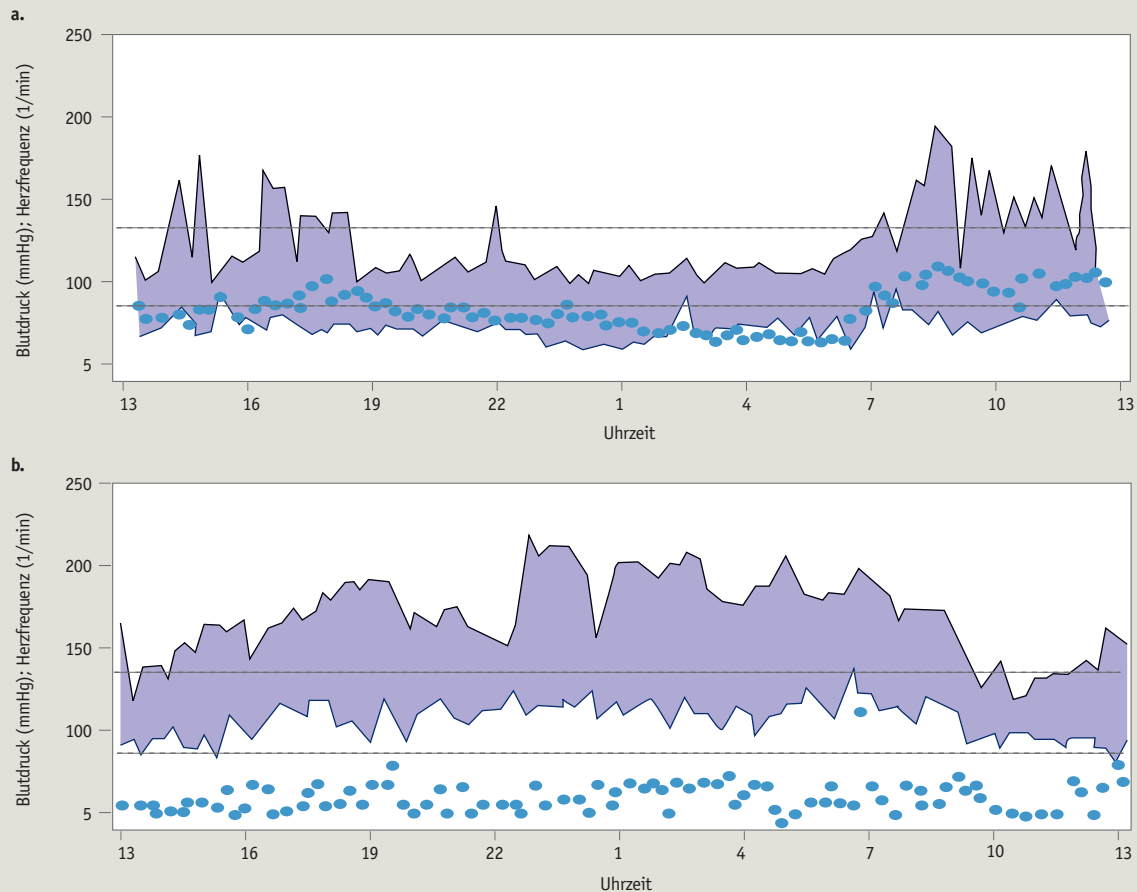
Der Schlaf disponiert auch beim Gesunden zu Atmungsstörungen, da die Reaktionen auf CO₂-Anstieg oder O₂-Abfall gegenüber der gleichen Antwort im Wachzustand bis auf ein Fünftel reduziert sind. Die geringste hypoxische Atemantwort wird im REM-Schlaf gefunden. In den Einschlafphasen tritt in 60–80 % eine instabile Atmung mit Crescendo- und Decrescendoverhalten des Atemzugvolumens auf. Die Atemfrequenz bleibt gleich, das Atemminutenvolumen reduziert sich bis 13 % gegenüber dem Wachzustand. Mit dem Einschlafen verringert sich die Ventilation, so dass durch die verminderte alveoläre Ventilation der pCO₂ um 2–4 mmHg steigt. Der O₂-Sättigungswert sinkt allenfalls gering bis maximal um 4 %. In den NREM-Stadien 3 und 4 ist die Ventilation in Amplitude und Frequenz sehr konstant, das Atemminutenvolumen liegt etwa 15 % unterhalb des Wertes im Wachzustand. Dieses geringere Atem-

Physiologische Veränderungen im Wachzustand, Non-REM- und REM-Schlaf

Tabelle 1

	Wachzustand	Non-REM-Schlaf	REM-Schlaf
Parasympathische Aktivität	++	+++	++++
Sympathische Aktivität	++	+	± oder variabel (++)
Herzrate	normaler Sinusrhythmus	Bradykardie	Bradytachyarrhythmie
Blutdruck	normal	vermindert	variabel
Atemfrequenz	normal	vermindert	variabel; Apnoen können auftreten
Alveolare Ventilation	normal	vermindert	weitere Verminderung
Oberer Atemwegsmuskeltonus	++	+	± oder –
Oberer Atemwegswiderstand	++	+++	++++
Hypoxische ventilatorische Antwort	normal	vermindert	weitere Verminderung
– = fehlend; ± = gering bis fehlend; + = gering; ++ = schwach; +++ = mittel; ++++ = deutlich			

24-Stunden-Blutdruckmessung



24-Stunden-Blutdruckprofil: physiologischer zirkadianer Blutdruckverlauf mit Abfall des Blutdrucks in der Nacht (a); aufgehobene Blutdruckrhythmik, so genannte „non-clipper“ (b).

minutenvolumen basiert auf der Abnahme des Atemzugvolumens um 15% und nicht auf einer sinkenden Atemfrequenz. Im REM-Schlaf zeigt die Ventilation eine unregelmäßige Amplitude und Atemfrequenz. Bis fünf Apnoen pro Stunde Schlafzeit sind normal und unbedenklich (das heißt Apnoe-Index = AI < 5). Die Atemwegswiderstände nehmen gegenüber NREM durch die muskuläre Atonie der Muskeln der oberen Atemwege weiter deutlich zu. Im REM-Schlaf ist die interkostale Muskelaktivität vermindert und die Aktivität des Zwerchfells um 30% erhöht [4].

Weitere, dem Schlafrhythmus unterworfenen Körperfunktionen

Sexualfunktion: Nächtliche Spontanerektionen treten in enger zeitlicher As-

soziation mit den REM-Phasen auf. Beginn der Erektion und der REM-Phasen sind weitgehend synchron. Die Erektion hält meist während der gesamten REM-Periode an. Die Erektion im REM-Schlaf ist nicht an Traum inhalte gebunden. Frauen haben während der REM-Periode eine Mehrdurchblutung der Vagina, eine Klitoriserektion und eine Lubrikation.

Thermoregulation: Die Steuerung der Thermoregulation und Integration aller Afferenzen erfolgt im posterioren Hypothalamus. Der Rhythmus der Thermoregulation ist zirkadian an den 24-Stunden-Zyklus gebunden. Der Metabolismusgrad des Organismus fällt wie die Körpertemperatur im Schlaf ab. Die Körpertemperatur ist mit einer tageszeitlichen Variation zwischen 36°C und

37,5°C konstant. Ein Temperaturminimum wird meist zwischen 5.00 Uhr und 6.00 Uhr erreicht. Das Maximum wird abends oder am späten Nachmittag erreicht. Die Körpertemperatur ist im NREM-Schlaf auf einem niedrigeren Niveau reguliert als im Wachzustand. Während der REM-Phasen ist die Temperaturregulation ausgesetzt.

Sudomotorik: Diese unterliegt ebenso wie die Körpertemperatur dem zirkadianen Rhythmus. Die Schweißsekretion ist größer in NREM 3 und 4 als im Leichtschlaf; am geringsten ist sie im REM-Schlaf.

Schlafmedizinische Diagnostik

Die Diagnostik schlafbezogener Störungen des autonomen Nervensystems umfasst neben den Untersuchungsme-

thoden im autonomen Labor [22–25] insbesondere die Schlaf- und Fremdanamnese, sowie die Polysomnografie, Polygrafie, Oxymetrie, 24-Stunden-Blutdruckmessung, das Langzeit-EKG, die Pupillografie und die penile Tumescenzmessung. In der Schlafanamnese werden Schnarchen, fremdbeobachtete Atemaussetzer, Schlafverhalten, morgendliches Befinden, Kopfschmerzen, Tagesmüdigkeit, Tagesschläfrigkeit, Einschlafneigung in monotonen Situationen und Nachtschweiß erfragt. Auch eine Alkoholanamnese wird erhoben. Sozialanamnestisch werden Schichtarbeit, Personenbeförderung, Berufskraftfahrertätigkeit und Tätigkeiten an Maschinen oder auf Gerüsten erfasst. Hilfreich und gut evaluiert sind die Schlaffragebögen PSQI (Pittsburgher Schlafqualitätsindex) [26] und als Skala für die Tagesmüdigkeit/-schläfrigkeit die ESS (Epworth Sleepiness Scale) [27] sowie die SSS (Stanford Sleepiness Scale) [28, 29].

Im Schlafmedizinischen Zentrum stellt die Polysomnografie die diagnostische Referenz dar. Bei der kardiorespiratorischen Polysomnografie werden die Funktionen Schlaf, Atmung, Kreislauf und Bewegung kontinuierlich mit mindestens zwölf Kanälen gemessen und aufgezeichnet. Eine akustische (Mikrofon) und optische (Video-)Überwachung ist Bestandteil des Monitorings. Eine Überprüfung durch geschultes Personal ist bei einer kardiorespiratorischen Polysomnografie in einem Schlaflabor der klinischen Versorgung erforderlich. Im Anschluss an die Aufzeichnung wird die Polysomnografie nach definierten Kriterien auf Schlafstadien, Atmungsstörungen, Bewegungsstörungen und weitere Ereignisse ausgewertet; die Ergebnisse werden zu einem Befund zusammengefasst. Eine computergestützte Aufzeichnung und Wiedergabe der Polysomnografie ist heute Standard, hierfür existieren Empfehlungen [30].

Besonders häufig findet sich bei schlafbezogenen Störungen des autonomen Nervensystems eine gestörte zirkadiane Rhythmik: Die diskontinuierliche Blutdruckmessung mit portablen Geräten nach dem oszillatorischen oder Korotkoff-Prinzip ermöglicht eine regelmäßige Blutdruckbestimmung in 15-

oder 30-Minuten-Intervallen über 24 Stunden. Eine erhaltene zirkadiane Blutdruckrhythmik wird angenommen, wenn im Tagesintervall von 7.00 Uhr bis 22.00 Uhr der Blutdruck um 10–15 % über den Werten des Nachtintervalls von 22.00 Uhr bis 7.00 Uhr liegt. Ursächlich für einen fehlenden Tag-Nacht-Rhythmus sind neben sekundären Hypertonieursachen (Nierenarterienstenose, Phäochromozytom, diabetische Nephropathie) Störungen des peripheren und zentralen autonomen Nervensystems bei Morbus Parkinson, Multisystematrophie, autonomer diabetischer Neuropathie und anderes (Grafik a und b). □

LITERATUR

bei den Autoren

PD Dr. med. Carl-Albrecht Haensch

Klinik für Neurologie und klinische Neurophysiologie der
Universität Witten/Herdecke
HELIOS-Klinikum Wuppertal
Heusnerstr. 40, 42283 Wuppertal
E-Mail: carl-albrecht.haensch@helios-
kliniken.de

Fortsetzung folgt ...

In der nächsten Ausgabe des NEURO-TRANSMITTERS geht es weiter mit dieser spannenden Thematik; dann beschreibt der Autor die verschiedenen Erkrankungen der Schlafregulation und des autonomen Nervensystems mit den jeweiligen typischen Symptomen und schlafmedizinisch diagnostizierbaren Veränderungen des Schlafrhythmus.