

Kapitel 14

DIE PHYSIOLOGIE DES SCHLAFES

J. Zulley

Der Schlaf ist gekennzeichnet durch einen zeitlich begrenzten Zustand reduzierter Bewußtseins und Aktivitätslage. Ein Bewußtsein fehlt entweder oder ist im Traumgeschehen verändert. Die motorische Aktivität ist neben einer allgemeinen Verringerung gekennzeichnet durch das Fehlen einer zielgerichteten Motorik. Die Reagibilität des Organismus auf Umweltreize ist im Schlaf eingeschränkt. Im Gegensatz zum komatösen Zustand kann der Schlaf jedoch jederzeit durch entsprechende Reize unterbrochen oder beendet werden.

Zur Abgrenzung gegenüber anderen Ruheformen ist es erforderlich, eine elektrophysiologische Registrierung der zentralnervösen Aktivität durchzuführen. Diese Messung ist seit der Einführung des Elektroenzephalogramms (EEG) möglich. Registriert wird hierbei die elektrische Potentialdifferenz zwischen Elektrodenpaaren, die an der Oberfläche des Schädels angeklebt werden. Je nach Tätigkeit und Bewußtseinslage des Probanden lassen sich charakteristische Veränderungen der elektrischen Aktivität des Cortex nachweisen.

Das Schlaf-EEG ist durch bestimmte, sich charakteristisch ändernde Frequenzen und Amplituden gekennzeichnet. Außer dieser veränderten Hintergrundaktivität ist das Schlaf-EEG auch durch bestimmte Wellenmuster gekennzeichnet (Abb. 1). Die wichtigsten sind K-Komplexe und Schlafspindeln. Die K-Komplexe im EEG sind hochamplitudige ($< 300 \mu\text{V}$) biphasische Wellenkomplexe, häufig mit schnellen alpha-wellenartigen Nachschwankungen. K-Komplexe können auch durch Sinnesreize oder durch interne somatische Reize ausgelöst werden. Die Spindeln sind an- und abschwellige Kurvenzüge mit einer Frequenz von 13 - 15 Hz. Bisher ist recht wenig über diese typischen Kennzeichen des Schlaf-EEG's bekannt.

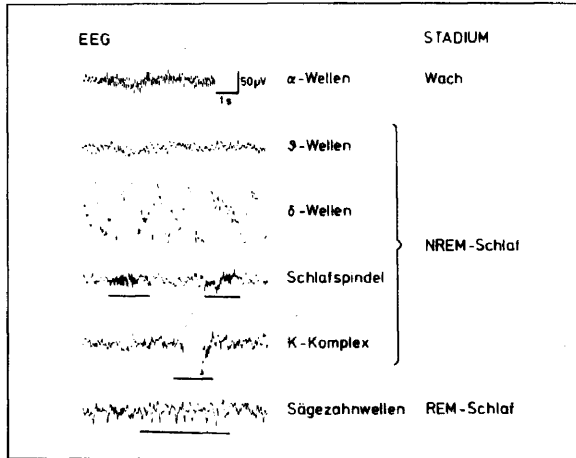


Abb. 1 Charakteristische EEG-Muster für die Bestimmung der Schlafstadien.

Die Schlafstadien

Die heute noch gängigsten Auswertekriterien für das Schlaf-EEG sind von Rechtschaffen und Kales (1) aufgestellt worden. Dieses normative System stellt Mindestanforderungen für die Registriertechnik sowie Regeln für die Bestimmung der einzelnen Schlafstadien fest. Für die Erkennung von Schlafstadien sind mindestens folgende physiologischen Messungen erforderlich:

Das Elektroenzephalogramm (EEG) der Zentralregion (C3-A2, C4-A1) nach dem internationalen ten-twenty System. Die horizontalen Augenbewegungen, die mit Hilfe des Elektroofokulogramms (EOG) gemessen werden. Hinzu kommt der Tonus der Haltemuskulatur, welcher beim Menschen mittels des Elektromyogramms (EMG) über die Anspannung der

Kinnmuskulatur aufgezeichnet wird. Diese Mehrkanalaufzeichnung wird als Schlafpolygrafie oder Polysomnografie bezeichnet.

Mit Hilfe dieser Messmethoden lassen sich folgende Schlafstadien definieren: Wach, REM-Schlaf und die Schlafstadien 1,2,3 und 4 (Abb. 2).

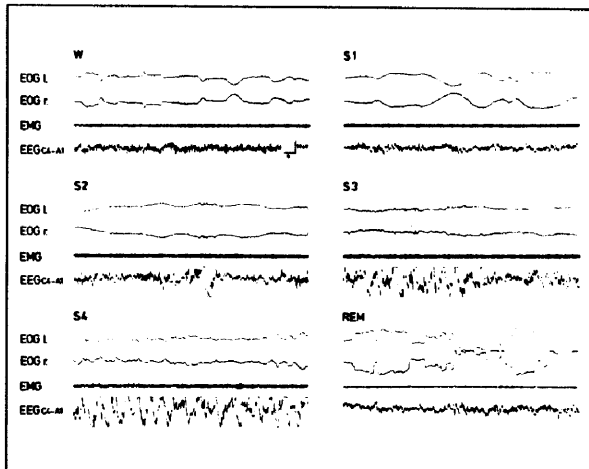


Abb. 2 Beispiele für die Schlafstadien (S1 - S4, REM) und das Stadium Wach nach Rechtschaffen und Kales (1968).

Je nach Fragestellung werden die Stadien 1 - 4 auch als NREM - Schlaf zusammengefaßt. Desweiteren werden Bewegungsartefakte im EEG als MT ("Movement Time) gekennzeichnet. Die aufeinanderfolgenden Schlafstadien werden meistens in 30 Sekunden Abschnitten der kontinuierlich aufgezeichneten Polygrafie zugeordnet.

Die leichteste Form des Schlafes ist Schlafstadium 1, häufig nur schwierig vom Wachzustand zu unterscheiden. Es ist charakterisiert durch eine Verlangsamung des EEG's und durch langsame horizontale Augenbewegungen. Die alpha-Wellen, die im entspannten Wachzustand auftreten können, verschwinden im

Schlafstadium 1. Deutlicher vom Wachzustand zu differenzieren ist das Schlafstadium 2, vor allem durch seine charakteristischen K-Komplexe und Spindeln. In diesem Stadium sind keine Augenbewegungen zu erkennen. In den Schlafstadien 1 und 2 zeigt das EMG unterschiedliche Tonuslagen. Als Tiefschlaf, Delta Schlaf oder SWS (Slow Wave-Sleep) werden die Schlafstadien 3 und 4 bezeichnet. In diesen Stadien treten Delta Wellen auf. Im Schlafstadium 3 sind 20 - 50 % einer Auswerteeinheit (30 sec) mit Delta-Wellen belegt, im Schlafstadium 4 über 50%. Im EOG sind in diesen Stadien keine Augenbewegungen zu beobachten, auftretende Schwankungen des EOG sind durch EEG Artefakte bedingt. Der Muskeltonus zeigt auch hier unterschiedliche Tonuslagen.

Der REM Schlaf

Eine besondere Rolle unter den Schlafstadien nimmt der REM-Schlaf ein. Seine Bezeichnung stammt von der auffälligsten Eigenart dieses Stadiums, den schnellen Augenbewegungen (Rapid - Eye - Movement). Dieses Schlafstadium wird auch paradoxer Schlaf genannt. Hierbei wird auf eine weitere Eigenart dieses Stadiums Bezug genommen, dem hochfrequenten, niederamplitudigen EEG, welches auf eine hohe zentrale Aktivierung hinweist. Ein weiteres Charakteristikum des REM-Schlafes ist eine vollständige Atonie der Haltemuskulatur. Trotz dieser Atonie kommt es während längerer REM-Schlaf Episoden zu myoklonischen Zuckungen sowie größeren und kleineren Körperbewegungen. Im REM-Schlaf ist auch die Regulation vegetativer Funktionen verändert. Es kommt zu tonischem Blutdruckabfall, phasischen Veränderungen der Herzfrequenz und einer Arrhythmie der Atmung. Periphere sowie zentrale Mechanismen der homeothermen Temperaturregulation (z.B. Kältezittern) sind während der REM-Episoden unterdrückt. Weiterhin typisch für diese Schlafphase ist eine Aktivierung der peripheren Sexualorgane mit Erektionen beim Mann und einer verstärkten vaginalen Durchblutung bei der Frau.

Besonderes Interesse erregt diese Schlafstadium auch durch den Befund, daß neben den physiologischen Merkmalen psychische Aspekte eine große Rolle spielen. Bei Weckungen im REM-Schlaf wurde überwiegend von Traumerlebnissen berichtet. Weckungen im NREM-Schlaf zeigen dies in weit geringerem Ausmaß; außerdem ist die Qualität der Traumberichte verändert. Berichte aus NREM-Schlafphasen sind eher gedankenähnlich während Berichte aus REM-Schlaf Phasen bizarrer, farbiger somit traumähnlicher sind.

Der Schlafverlauf

Die einzelnen Schlafstadien zeigen im Verlauf einer Nacht eine regelhafte Abfolge (Abb. 3).

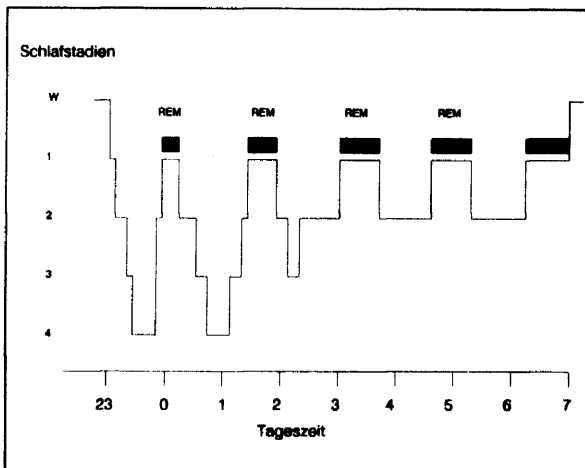


Abb. 3 Typischer Verlauf der Schlafstadien während eines Nachtschlafes (vereinfachte Darstellung).

Nach dem Zubettgehen und dem Löschen des Bettlichts (im Schlaflabor: "Licht aus") liegt der Schläfer für einige Zeit wach (Stadium Wach) um dann ins Stadium 1 zu wechseln. Nach

einigen Minuten erfolgt der Wechsel ins Schlafstadium 2. Das erste Auftreten dieses Schlafstadium wird im allgemeinen als Schlafbeginn gekennzeichnet. Der Zeitraum von "Licht aus" bis zu diesem Zeitpunkt wird als "Einschlaflatenz" bezeichnet. Nach dem Auftreten von Stadium 2 werden die Stadien 3 und 4 durchlaufen und nach ca. 60 min erscheint erstmals Stadium REM auf. Dieses Stadium tritt im weiteren Verlaufe des Schlafes blockweise in ca 90 - 100 min Abständen sehr regelhaft auf. Der zyklische Wechsel von REM und NREM-Schlaf wird wegen seiner Zykluslänge als ultradiane (kleiner als 24 Std.) Periodik bezeichnet. Die Dauer der REM-Phasen wird im Verlaufe des Schlafes länger. Die Wahrscheinlichkeit für das Erwachen ist zu Beginn und am Ende einer REM-Phase erhöht. Die ersten NREM-Zyklen sind noch durch das Auftreten von Stadium 3 und 4 gekennzeichnet, während die späteren NREM-Phasen nur noch Stadium 1 und 2 enthalten (2).

Altersabhängigkeit der Schlafstadienstruktur

Im Laufe der Ontogenese finden Veränderungen der Schlafstadienstruktur statt (Tab. 1). Während die Gesamtschlafzeit bis in das hohe Alter abnimmt, zeigt sich ab ca. 40 Jahren eine Verringerung der Schlaffeffizienz welches auf zunehmende Wachphasen während des Schlafes wie auch auf eine Verlängerung der Einschlaflatenz hinweist. Stadium REM und vor allem Stadium 3 und 4 verringern sich deutlich ab dem 20. Lebensjahr. Im hohen Alter findet man häufig kein Stadium 3 und 4 mehr. Der Schlaf besteht dann vor allem aus den Stadien 1 und 2. Übersicht siehe (3).

Spektralanalyse des Schlaf-EEG

Die bisher beschriebene Methode der Schlaffauswertung hat den Nachteil, daß quantitative Veränderungen (Anteil der Delta-Wellen im EEG) durch die Schlafstadienklassifikation (Stadium

2,3 und 4) in qualitative Unterschiede umgewandelt werden. Somit werden mittels eines relativ willkürlichen Kriterium Klassen gebildet, wobei Informationen verlorengehen (tatsächlicher Anteil an Delta-Wellen). Diesem Nachteil wurde in letzter Zeit zunehmend durch die Verwendung der Spektralanalyse des Schlaf-EEG begegnet (4). Die Spektralanalyse zerlegt die unregelmäßige Kurve des EEG in seine Frequenzanteile zerlegt. Aus dem Spektrum läßt sich dann ersehen, wie groß der tatsächliche Anteil an Delta-Wellen im Verlaufe Nacht ist. Es ist anzunehmen, daß diese Methode in Zukunft die bisherige Schlafstadienklassifikation ablösen wird.

Chronobiologie des Schlafes

Der Schlaf steht unter dem Einfluß der endogen erzeugten, zirkadianen (tagesperiodischen) Rhythmik (siehe Kapitel 8). Schlafuntersuchungen im natürlichen 24-Stunden-Tag und unter Zeitisolation konnten Einflüsse interner Steuerungsmechanismen auf die Schlaf-Wach-Regulation und auf die interne Schlafstadienstruktur nachweisen (Übersicht siehe 5). Die Einschlafhäufigkeit (Anzahl der Schlafanfänge pro Stunde) zeigt mehrere bevorzugte Zeitpunkte im zirkadianen Temperaturzyklus. Unter bestimmten experimentellen Bedingungen erfolgt der Wechsel von Schlafen und Wachen mit einer ultradianen Vier-Stunden-Periodik (Abb. 4). Neben dem Nachtschlaf tritt Tagschlaf vor allem um 10.00, 14.00 und 18.00 Uhr auf. Entsprechend diesem Rhythmus zeigt sich gegen 4.00 Uhr morgens eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Erwachen. Überlagert ist diese ultradiane Rhythmik von einer zirkadianen Schwingung, wobei nach dem Nachtschlaf ein stetiger Abfall der Schlafbereitschaft während des Tages bis zu einem deutlichen Minimum am frühen Abend hin erfolgt. Dann steigt die Schlaftendenz rasch wieder an. Der Tagessgang der Schlafbereitschaft verläuft invers zu dem der zirkadianen Körpertemperatur.

Auch die Schlafdauer zeigt einen deutlichen Tagesgang. Eine Schlafepisode ist umso kürzer, je mehr der Schlafbeginn in den folgenden Tag hinein verlegt wird. Auch hier findet sich ein deutlicher ultradianer Einfluß. Nach einer Schlafdauer von vier Stunden besteht eine erhöhte Tendenz zu erwachen; ein Überschlafen dieses kritischen Zeitraums führt zu einem deutlich längeren Schlaf.

In der Schlafstadienstruktur zeigen sich ebenfalls zirkadiane Einflüsse. der Anteil von REM-Schlaf ändert sich über den Tag hinweg mit einem Maximum beim zirkadianen Temperaturminimum in den frühen Morgenstunden.

Die Steuerung von Schlafen und Wachen ist offensichtlich an den endogenen zirkadianen „Oszillator“ angekoppelt, der auch die anderen physiologischen Prozesse steuert. Sie wird jedoch zusätzlich von dem homöostatisch regulierten Schlafbedarf beeinflusst.

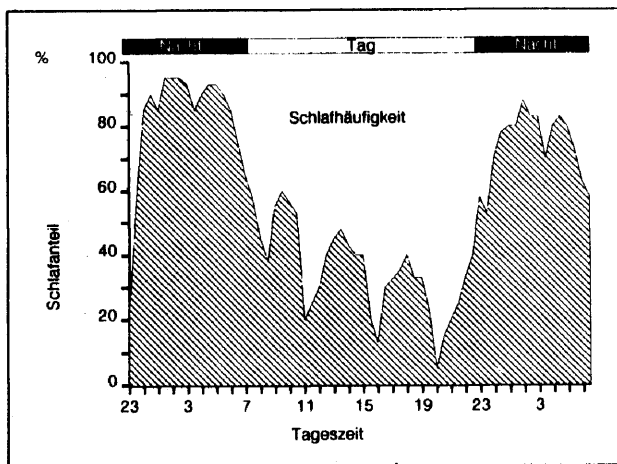


Abb. 4: Schlafneigung im Laufe einer Nacht, des Tages und der folgenden Nacht. Dargestellt ist die stündliche relative Häufigkeit, mit der Schlaf auftritt (= mittlere Schlafzeit pro Stunde).

Literatur

1. Rechtschaffen, A., Kales, A. (Eds.): *A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System*. Public Health Service, U.S. Government Printing Office, Washington/D.C., 1968
2. Koella, W.P.: *Die Physiologie des Schlafes*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1988
3. Kemper, J, Zulle, J (Eds.): *Gestörter Schlaf im Alter*. MMV Medizin Verlag München, 1994
4. Borbely, A.: *Das Geheimnis des Schlafes*. Ullstein Sachbuch 34761 Frankfurt, 1991
5. Zulle, J.: *Schlafen und Wachen als biologischer Rhythmus*. Roderer, Regensburg, 1993