

АКТИГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАСЫПАНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**Олег Витальевич ГРИШИН¹, Виктор Григорьевич ГРИШИН²,
Сергей Валерьевич СМИРНОВ³**¹ *ФГБУ НИИ физиологии СО РАМН
630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4*² *Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН
630090, г. Новосибирск, просп. Науки, 6*³ *ГБОУ ВПО Новосибирский государственный университет
630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2*

В физиологии труда одной из нерешенных проблем остается своевременная диагностика утомления человека-оператора. В связи с этим целью настоящей работы было установить возможность диагностики засыпания или наступления поверхностной (1-й) фазы сна с помощью актиграфии предплечья под контролем полисомнографии. В исследовании принимали участие 7 здоровых мужчин в возрасте от 19 до 27 лет. Исследования проводили ночью с 22 до 03 часов и преследовали цель смоделировать ситуацию ночного дежурства оператора: бодрствование в положении «стоя», «сидя на стуле», а также сон в положении «сидя на стуле». Проводили полисомнографию и мониторинг движения руки (Mh) с помощью 3D-акселерометра Унискан. В положении «стоя» двигательная активность правого запястья составила 1100 ± 910 , в положении «сидя» – 870 ± 570 , а в состоянии поверхностного сна уже через 2 минуты – 102 ± 51 условных единиц движения ($p < 0,01$). Таким образом, с помощью актиграфии предплечья можно регистрировать наступление поверхностной фазы сна в первые 2 минуты.

Ключевые слова: актиграфия сна, полисомнография, диагностика засыпания.

Актиграфия – метод контроля или оценки физической активности человека с помощью акселерометров (актиграфов или инклинометров) – датчиков, измеряющих проекцию суммы всех сил, приложенных к его корпусу (исключая силу тяжести) [1]. В сомнологии акселерометры обычно используются в комплексе полисомнографии (ПСГ) для записи актограммы [2]. В последние 10 лет актиграфы широко используются для оценки продолжительности и характера сна в качестве относительно простого и удобного метода [3]. Актиграфия сна позволяет проводить многосуточный мониторинг поведения человека во сне, что отличает ее от полисомнографии, предназначенной для диагностики патологических и функциональных нарушений в условиях специализированного стационара. В исследованиях последних лет показано высокое соответствие динамики актограмм и динамики основных мониторируемых параметров ПСГ, таких как окулограмма

и миограмма лицевых мышц [4, 5]. Поэтому актиграфия стала широко использоваться для физиологического мониторинга сна, причем в основном у здоровых лиц, как для оценки функциональных отклонений, так и для определения оптимального периода для пробуждения [5]. Из-за высокой зависимости функционального состояния человека от продолжительности сна этот метод нашел практическое применение в физиологии труда для мониторинга работоспособности и бдительности (alertness) лиц потенциально опасных профессий, работа которых требует длительного психоэмоционального напряжения [6]. Разработаны и уже используются системы мониторинга для прогнозирования и профилактики утомления [7]. При этом одной из нерешенных проблем остается своевременная диагностика момента засыпания человека-оператора – одной из самых опасных причин различных инцидентов на транспорте и производстве из-за «отсутствия субъективного

Гришин О.В. – д.м.н., руководитель лаборатории физиологии дыхания, e-mail: ovg@physiol.ru

Гришин В.Г. – старший научный сотрудник

Смирнов С.В. – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник

восприятия оператором своего дремотного состояния» [8]. В связи с этим целью настоящей работы было установить возможность диагностики засыпания или наступления 1-й фазы сна с помощью актиграфии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 7 здоровых мужчин в возрасте от 19 до 27 лет. Исследование проводили в условиях полисомнологического кабинета Клиники НИИ физиологии СО РАМН в период с 22 до 03 часов и преследовали цель смоделировать ситуацию ночного дежурства оператора. После укрепления датчиков ПСГ и 3D-акселерометра (процедура продолжалась 45 минут) и начала мониторинга испытуемым предлагалось стоять в свободном положении в условиях темной, изолированной от звука комнаты. Допускались незначительные (по необходимости) движения тела и рук, при этом запрещалось перемещение по кабинету (положение «стоя» на одном месте). Этот период (1-й этап) соответствовал функциональному состоянию «положение стоя». Продолжительность такого положения испытуемые определяли произвольно до появления желания заснуть. Следующий 2-й этап соответствовал функциональному состоянию «физическая активность». Он представлял переход из положения «стоя» в положение «сидя», при этом испытуемый находил удобное положение для сна «сидя на стуле». Голову испытуемый «укладывал» на подушку, закрепленную на спинке стула. После «обустройства» следовал 3-й этап, который соответствовал функциональному состоянию покоя в положении «сидя на стуле» без сна. На этом этапе испытуемым предлагали заснуть в таком положении. Последний 4-й этап соответствовал функциональному состоянию сна в том же положении «сидя на стуле». Момент наступления сна и его глубина (фаза сна) определялись врачом-сомнологом после обработки данных. ПСГ проводили с помощью сомнографического компьютеризированного комплекса с автоматизированной обработкой данных («Grass Technologies», США). Методика включала мониторинг ЭЭГ, ЭКГ, миографию подъязычной мышцы, пульсоксиметрию с использованием датчика фирмы Nelcor (США), окулографию глазных яблок с обеих сторон. Параллельно проводился мониторинг движения руки (правое запястье) 3D-акселерометром («Унискан», Россия), программное обеспечение которого позволяло определять подвижность датчика с частотой 5 то-

чек в секунду и преобразовывать полученные данные в условные единицы движения (Уд).

Исследование проведено без риска для здоровья людей с соблюдением всех принципов гуманности и этических норм (Хельсинкская декларация, 2000 г., Директивы Европейского сообщества 86/609) и одобрено Комитетом по биомедицинской этике НИИ физиологии СО РАМН.

При статистическом анализе динамики количественных показателей использовали парный *t*-критерий Стьюдента. Достоверность результатов оценивали по уровню значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По каждому случаю был составлен визуальный протокол наблюдений, в котором были совмещены по времени данные 3D-акселерометра и основные показатели ПСГ с определением фаз сна (рис. 1). Продолжительность 1-го этапа, которая испытуемыми определялась индивидуально до наступления утомления, составляла от 3,5 до 24 минут (в среднем – 13,6 минуты). Продолжительность 3-го этапа, который длился от того момента, когда молодые люди находили удобное для них положение на стуле, до начала 1-й фазы сна (определялась по ПСГ), составляла от 2 до 20 минут. В 5 случаях сон был поверхностным и продолжался от 2 до 9 минут. В двух случаях сон достигал 2-й фазы, которая у одного испытуемого составила 15 минут. Максимальная общая продолжительность сна составила 22 минуты. Обращает внимание, насколько непродолжительно время, в течение которого молодые здоровые люди начинают ощущать утомление в ночное время, а также тот факт, что даже в положении «сидя» заснули все обследованные.

Из представленных данных следует, что в ночное время утомление и желание заснуть у молодых здоровых мужчин может наступить уже в первые 5 минут. При этом в свободном положении «стоя» у всех испытуемых отмечается физиологическая тахикардия (см. таблицу), частота сердечных сокращений (ЧСС) находилась в пределах от 95 до 115 ударов в минуту. Переход в положение «сидя» (от 1-го этапа к 3-му) характеризовался достоверным и значимым снижением ЧСС на 20–25 %.

Наступление фазы сна проявлялось дальнейшим достоверным снижением ЧСС – еще на 10–15 %. Таким образом, различие ЧСС в активном положении «стоя» и в фазе сна составляло 30–35 %. Такая динамика ЧСС впол-

Показатели 3D-акселерометра совмещены с полисомнографией. Время: 1 мин – 600 точек

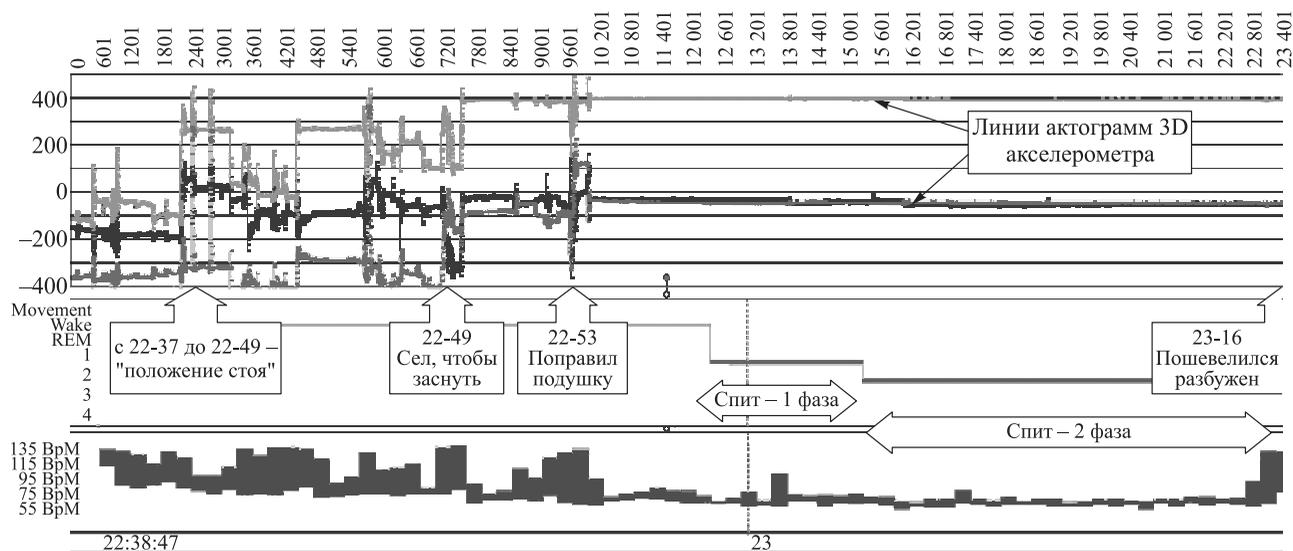


Рис. 1. Графическое совмещение 3-мерной актограммы 3D-акселерометра с графиком ПСГ (нижняя гистограмма отображает динамику ЧСС)

не согласуется с известными данными ПСГ [9]. Любой групповой анализ даст подтверждение этому факту. Однако в условиях, когда человек находится в относительно удобном положении, ЧСС в качестве индивидуального информативного параметра для определения наступления фазы сна явно не подходит. Падение ЧСС на 10–12 ударов в минуту может вполне укладываться в границы функциональной вариабельности сердечного ритма [10]. Золотым стандартом в определении наступления сна является ПСГ, в которой самым важным методом в этом плане остается ЭЭГ [11, 12]. Очевидно, что для функционального мониторинга засыпания такие методы не целесообразны, так как мешают выполнению основных обязанностей человека-оператора.

Статистический анализ показал существенную динамику показателей 3D-акселерометра на разных этапах наблюдения (рис. 2). Если в положении «стоя» двигательная активность в области правого запястья составила 1100 ± 910 Уд, то в удобном положении «сидя» – 870 ± 570 Уд. Из-за высокой индивидуальной вариабельнос-

ти различие между средними значениями было недостоверным. В то же время в фазу поверхностного сна (1-я фаза) этот показатель составил 102 ± 51 Уд (в 8–10 раз меньше), при этом индивидуальная вариабельность значений существенно снизилась. У всех обследованных в период сна показатель актиграфии варьировал в пределах от 59 до 200 Уд. Это было даже в тех случаях, когда в результате постепенного снижения мышечного тонуса руки, на которой находился датчик 3D-акселерометра, наблюдалось постепенное смещение координат. В ряде случаев уровень (максимум – минимум) 200 Уд был отмечен на 3-м этапе, который предшествовал сну. Значение 200 Уд для актиграфа «Унискан» было определено нами как максимально возможный уровень, отражающий расслабление мышц предплечья, соответствующее началу поверхностной фазы сна. Очевидно, что в актограмме имеют место временные отрезки (эпизоды), когда степень подвижности может быть ниже 200 Уд в период бодрствования. Такая низкая активность у всех обследованных была зарегистрирована только на 3-м этапе, а

Таблица

Средние значения ЧСС в разные этапы исследования ($M \pm SD$) и уровень значимости отличия этих значений

| Этап | Положение испытуемого | ЧСС | Отличие от этапа 1 | Отличие от этапа 2 | Отличие от этапа 4 |
|------|-------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Стоит | 102 ± 9 | $p > 0,05$ | $p = 0,85$ | $p < 0,01$ |
| 2 | Садится на стул | 101 ± 12 | $p = 0,85$ | $p > 0,05$ | $p < 0,01$ |
| 3 | Сидит на стуле, не спит | 80 ± 10 | $p < 0,01$ | $p = 0,01$ | $p < 0,02$ |
| 4 | Сидит на стуле, спит | 68 ± 4 | $p < 0,01$ | $p < 0,01$ | $p > 0,05$ |

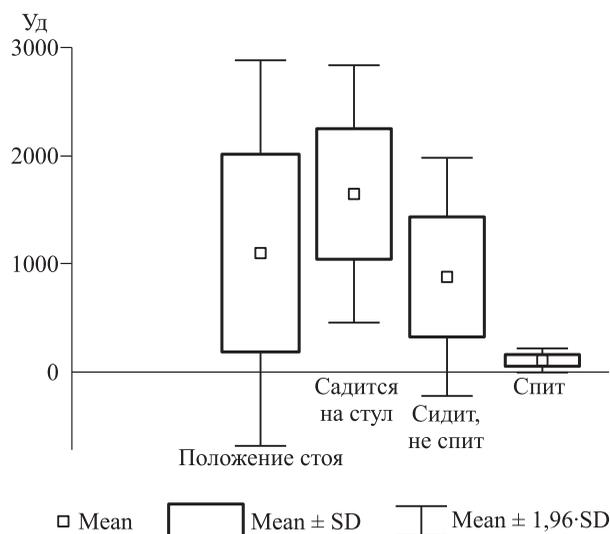


Рис. 2. Графическое сравнение средних значений показателей 3D-акселерометра на различных этапах обследования

ее максимальная продолжительность в отсутствие сна по ПСГ варьировала от 1 до 4 минут (в среднем 140 секунд). Это означает, что если показатели актиграфии ниже указанного уровня продолжают около 1 минуты, то, скорее всего, человек засыпает, а время более 4 минут означает поверхностный сон.

Таким образом, у здорового человека в ночное время суток достаточно быстро развивается чувство утомления и желание заснуть. При этом поверхностный сон может наступить уже через 2 минуты после перехода из положения «стоя» в относительно удобное положение «сидя». Это означает, что любой человек-оператор подвергается подобному испытанию в течение всего ночного или позднего вечернего дежурства. Вместе с этим из представленных данных следует, что показатели актиграфии в стадии поверхностного сна фактически на порядок ниже, чем в период бодрствования. Это позволяет использовать актиграфию в качестве метода определения наступления сна в первые 4 минуты, что может быть полезным в разработке устройств биомониторинга человека-оператора, чья деятельность требует длительного и напряженного внимания, особенно в ночное время суток.

ВЫВОДЫ

1. В ночной период времени в положении «стоя» у здоровых людей субъективное чувство утомления и желание заснуть наступает в течение 5–20 минут.

2. В ночной период времени поверхностный сон у здорового человека в положении «сидя» наступает в течение первых 20 минут.

3. С помощью актиграфии предплечья возможно регистрировать переходное состояние из бодрствования в сон в течение 1–4 минут.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа поддержана грантом 13.G25.31.0071 (Н-01/08-10) Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mathie M.J., Celler B.G., Lovell N.H., Coster A.C.F. Classification of basic daily movements using a triaxial accelerometer // *Med. Biol. Eng. Comput.* 2004. 42. 679–687.
2. Kushida C.A., Littner M.R., Morgenthaler T. et al. Practice parameters for the indications for polysomnography and related procedures: an update for 2005 // *Sleep.* 2005. 28. (4). 499–521.
3. Jean-Louis G., Kripke D.F., Cole R.J. et al. Sleep detection with an accelerometer actigraph: comparisons with polysomnography // *Physiol. Behav.* 2001. 72. (1–2). 21–28.
4. Ancoli-Israel S., Cole R., Alessi C. et al. The role of actigraphy in the study of sleep and circadian rhythms // *Sleep.* 2003. 26. (3). 342–392.
5. McCall C., McCall W.V. Comparison of actigraphy with polysomnography and sleep logs in depressed insomniacs // *J. Sleep Res.* 2011. 29. 1365–2869.
6. Sadeh A. The role and validity of actigraphy in sleep medicine: an update // *Sleep Med. Rev.* 2011. 15. (4). 259–267.
7. Dinges D.F., Mallis M.M. Managing fatigue by drowsiness detection: can technological promises be realized? // *Managing Fatigue in Transportation.* Ed. I.R. Hartley. Oxford: Pergamon, 1998. 209–229.
8. Balkin T.J., McBride S. Managing sleep and alertness to sustain performance in the operational environment // *Strategies to Maintain Combat Readiness during Extended Deployments – A Human Systems Approach* (pp. 29–1 – 29–10). Meeting Proceedings RTO-MP-HFM-124, Paper 29. Neuilly-sur-Seine, France: 2005. (<http://www.rto.nato.int/abstracts.asp>)
9. Дорохов В.Б., Деметтиенко В.В., Коренева Л.Г. и др. Электродермальные показатели субъективного восприятия ошибок в деятельности при дремотных изменениях сознания // *Журн. высш. нервн. деят.* 2000. (2). 206–218.
10. Dorokhov V.B., Dementienko V.V., Koreneva L.G. et al. Electrodermal indicators of subjective perception of performance errors during drowsiness // *Zhurn. vysh. nervn. deyat.* 2000. (2). 206–218.

10. Вейн А.М., Кхеит К. Сон человека // Физиология и патология. М., 1989. 270 с. reflex changes of autonomic activity // Am. J. Physiol. 1990. 258. (3, Pt. 2). H713–H721.
11. Saul J.P., Rea R.F., Eckberg D.L. et al. Heart rate and muscle sympathetic nerve variability during 12. Campbell I.G. EEG recording and analysis for sleep research // Curr. Protoc. Neurosci. 2009. 10. Unit 10.2.

ACTIGRAPHY IN DIAGNOSTICS OF SUBJECT-OPERATOR FALLING ASLEEP

Oleg Vital'evich GRISHIN¹, Viktor Grigor'evich GRISHIN², Sergey Valer'evich SMIRNOV³

¹ *Institute of Physiology SB RAMS*
630117, Novosibirsk, Timakov str., 6

² *Design-Engineering Institute for Computing Techniques SB RAS,*
630117 Novosibirsk, Nayka av., 6

³ *Novosibirsk State University*
630090, Novosibirsk, Pirogov str., 2

The forehanded diagnostics of subject-operator's tiredness remains the one of unsolved problems in the work physiology. So the target of current work was to determine the possibility of sleep diagnostics or diagnostics of surface (1st) sleep phase by means of forearm actigraphy under the control of polysomnography (PSG). Seven healthy males aged from 19 to 27 took part in the research. The examination has been carried out in the night from 10 p.m. to 3 a.m. The research target was to model the situation of operator's night duty in the standing position, while was sitting on a chair and as well as sleep in the sitting position. PSG and arm movement monitoring were executed by the Uniscan 3D accelerometer (Russia). Movement activity of right wrist in the standing position was 1100 ± 910 standard movement units (Sm), in the sitting position was 870 ± 570 Sm and 102 ± 51 Sm (difference is reliably, $p < 0.01$) in the state of surface sleep in 2 minutes already. Thereby the forearm actigraphy can register the occurrence of surface sleep phase in the first 2 minutes.

Key words: actigraphy, polysomnography, sleep diagnostics.

Grishin O.V. – doctor of medical sciences, head of the laboratory for respiratory physiology,
e-mail ovg@physiol.ru

Grishin V.G. – senior researcher

Smirnov S.V. – candidate of physical-mathematical sciences, senior researcher