

УДК 612.821.7, 796.071.424.2

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПРИЛОЖЕНИЯ К СМАРТФОНУ *SLEEP CYCLE* ДЛЯ АНАЛИЗА СНА В СПОРТИВНОЙ ПРАКТИКЕ

© 2023 г. А. Н. Вётош^{1, 2, *}, А. Б. Петров², А. С. Котова², О. В. Тихомирова³

¹ФГБУН Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВПО Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, Россия

³ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vjotnn@yahoo.com

Поступила в редакцию 17.03.2023 г.

После доработки 21.05.2023 г.

Принята к публикации 08.06.2023 г.

Выполнена синхронная регистрация сомнологической активности у здоровых испытуемых женского пола методом полисомнографии и путем регистрации акустической активности спящего организма с помощью приложения к смартфону *Sleep Cycle*. Произведено сравнение 16 основных временных и структурных характеристик сна, полученных двумя вышеуказанными способами. Установлена высокая степень совпадения общей длительности сна, времени пребывания в постели, значений эффективности сна, полученных полисомнографическим и акустикосомнографическим методами. Выявлено, что качество сна в процентах, рассчитываемое по версии *Sleep Cycle* с высокой степенью совпадает со значениями эффективности сна, определяемой по данным полисомнографии.

Ключевые слова: сомнологические параметры, *Sleep Cycle*, полисомнография, спорт.

DOI: 10.31857/S0131164623700388, **EDN:** ESRYTA

Клиническая, трудовая, спортивная и бытовая практика человека предполагают использование спектра различных нагрузок. Обязательным элементом поствазгочного периода является восстановление, важную роль в котором играет сон. Мониторинг функционального состояния организма во время сна можно обеспечить несколькими способами. “Золотым стандартом” регистрации и анализа данных специалисты-сомнологи сегодня считают полисомнографию (ПСГ). У этого метода есть неоспоримое достоинство — объективная количественная регистрация многокомпонентных изменений состояния центральной нервной системы, моторных и вегетативных систем в ходе ночной формы покоя. Наряду с этим ПСГ присущи неотъемлемые особенности, которые не позволяют считать полисомнографию свободным от недостатков методом исследования сна. Полномасштабная ПСГ — дорогая, не домашняя, а лабораторная, требующая участия высокопрофессионального специалиста-сомнолога процедура, успешно культивируемая в крупных лечебно-профилактических учреждениях. Ком-

промиссным в данном случае следует считать “сон как дома, но без потери качества регистрируемых параметров” [1].

В поисках будущего идеала специалисты фокусируют свои интересы на приложениях к смартфонам, которые позволяют, по мнению их разработчиков, адекватно регистрировать временные и структурные характеристики сна человека. Корректное применение таких альтернативных сомнологических подходов требует предварительного проведения валидации возможностей конкретного приложения к смартфону. Под валидацией в данном случае понимается процесс оценки степени, в которой методика или измерительный инструмент количественно определяет то, для измерения чего они предназначены [2]. Валидация возможностей приложения к смартфону *Sleep Cycle* по отношению к данным классической полисомнографической регистрации сна молодых здоровых испытуемых является целью настоящей работы. *Sleep Cycle* было выбрано в связи с тем, что оно неинвазивно регистрирует акустическую активность спящего человека, распространяется

бесплатно для операционных систем *Android* и *iOS*, имеет рыночный рейтинг 4.7 и доступно для пользователей более 6 лет [3]. Публикации по валидации альтернативных средств сомнографии все чаще появляются в зарубежной научной печати [1–4].

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 8 практически здоровых молодых женщин, средний возраст которых составлял 19.8 ± 1.47 лет, рост — 165 ± 4.3 см, индекс массы тела — 18.8 ± 1.76 , систолическое артериальное давление — 110.5 ± 9.5 торр, диастолическое давление 69.7 ± 6.2 торр. Каждая испытуемая на 4–5 день от начала индивидуального овариально-менструального цикла проходила двухдневное обследование в отделе клинической неврологии и медицины сна ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова (г. Санкт-Петербург). Первая ночь пребывания в амбулатории была адаптационной, при этом полисомнографическая регистрацию не выполняли. В течение второй ночи проводили регистрацию сна электрографически полисомнографическим методом с использованием оборудования фирмы *Nicolet* (США). В комплект полисомнографической регистрации входили 6 каналов электроэнцефалограммы в монополярных отведениях — F_3A_2 , F_4A_1 , C_3A_2 , C_4A_1 , O_1A_2 , O_2A_1 , 2 канала электроокулографии, 2 канала подбородочной электромиографии, 1 канал электрокардиограммы, регистрация ороназального потока, дыхательных движений грудной и брюшной стенок, шума дыхания, SpO_2 , положения тела в постели с параллельным видеомониторированием. Последующую расшифровку полисомнографических данных и клиническое заключение выполнял квалифицированный врач сомнолог.

Установку приложения *Sleep Cycle* на смартфон испытуемого производили за месяц до начала предстоящего полисомнографического исследования. После этого ежедневно выполнялись акустикосомнографические записи сна владельцем смартфона, в ходе которых программа *Sleep Cycle* адаптировалась к индивидуальным особенностям его обладателя. По данным литературы, для такой адаптации необходимо не менее 4-х ночей [5]. Вечером перед второй ночью проведения полисомнографической регистрации оборудование фирмы *Nicolet* и программа *Sleep Cycle* активировались одновременно. Утром следующего дня оба средства сомнографического мониторинга отключались также одновременно. При последующей обработке синхронно записанных результатов ПСГ и акустикосомнограммы сравнение между ними производили по 16 параметрам. Выбор этих параметров для сравнения производили на основе интернациональной полисомнографической классификации стадий сна [6].

Для сравнительного анализа использовали результаты ПСГ регистрации, имеющие значение эффективности сна (*SE*) не менее 85%. По этой причине данные одной из испытуемых были исключены из рассмотрения. Еще одно исключение из анализируемого массива данных было сделано для другой испытуемой по причине не корректной регистрации сна в утренние часы.

Хорошо известно, что частота вентиляции легких меняется синхронно со сменой циклов сна, идентифицируемой полисомнографически. Стадиям N_2 и N_3 соответствует уменьшение частоты дыхания (ЧД). А на стадии сна с быстрыми движениями глаз (*Rem*), ЧД увеличивается и становится переменной [7, 8]. Названные особенности позволяют предположить, что минимальная акустическая активность спящего человека должна коррелировать с глубокими ортодоксальными стадиями сна, акустическая активность средней степени — с легким, поверхностным сном, усиливающаяся акустическая (дыхательная) активность может означать переход к стадии парадоксального сна. Можно ожидать, что максимально возможная акустическая активность спавшего свидетельствует о переходе от сна к бодрствованию. Кратковременные 30–60-секундные пробуждения во время ночного сна (*WDS*), которые успешно идентифицируются методом полисомнографии, очевидно не доступны для акустикосомнографической регистрации.

Статистический анализ данных выполняли с использованием пакета прикладных программ *Microsoft Excel* для *Windows* и методами описательной статистики и ранговой корреляции по Спирмену в рамках возможностей пакета программ *IBM SPSS Statistics 23*. Данные в табл. 1 представлены как средние арифметические значения $\pm$ значения стандартного отклонения: $m \pm \sigma$, дополнены значениями межквартильного разброса *IQR* [Q_1 ; Q_3] и коэффициента корреляции *K* для каждого сравниваемого сомнологического параметра. Сходство сравниваемых данных считали статистически значимым при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение результатов регистрации сна испытуемых производилось по 16 параметрам, регламентированным ассоциацией сомнологов для полисомнографии и, в то же время, доступных для экстракции из акустикосомнограмм *Sleep Cycle* (табл. 1). Сопоставление в режиме “эпоха за эпохой” между данными регистрации с помощью ПСГ и *Sleep Cycle* не проводилось, т.к. сведение данных полисомнографической регистрации к 7-минутным эпохам (именно такое разрешение дает анализ данных *Sleep Cycle*) не достоверно [9]. Поэтому мы сравнивали суммарные значения каждого избранного для анализа параметра за

Таблица 1. Сравнительная характеристика сомнологических параметров

№ п/п	Наименование параметра сравнения	Данные полисомнографии			Данные <i>Sleep Cycle</i>			Корреляционные отношения	
		<i>m</i>	$\pm\sigma$	<i>IQR</i>	<i>m</i>	$\pm\sigma$	<i>IQR</i>	<i>K</i>	<i>p</i>
1	Общее время пребывания в состоянии сна (<i>TST</i>), мин	448.0	14.0	27.5	429.5	47.1	104	0.899	0.05
2	Время пребывания в постели (<i>TIB</i>), мин	478.8	3.4	6.25	482.2	3.3	4.5	0.882	0.05
3	Эффективность сна (<i>SE</i>), %	93.6	3.0	5.64	88.8	9.8	21.56	0.829	0.05
4	Время достижения первого нижнего экстремума сомнограммы (максимальной “глубины” 1-го цикла сна) (<i>t1</i>), мин	19.8	13.7	25.625	30.7	15.4	19.5	0.486	>0.05
5	Длительность 1-го цикла сна (<i>T1</i>), мин	74.5	11.9	24.5	73.8	14.2	21.5	0.493	>0.05
6	Суммарное время пребывания в <i>Rem</i> фазе сна (<i>TRem</i>), мин	80.2	33.1	32.75	25.0	20.4	27.75	0.588	>0.05
7	Процентное значение пребывания в <i>Rem</i> фазе сна по отношению к <i>TST</i> (<i>Rem%</i>)	18.2	8.1	7.7	5.8	4.4	7.175	0.543	>0.05
8	Время от начала отсчета <i>TST</i> до начала первой <i>Rem</i> стадии сна (<i>LRem</i>), мин	146.0	39.5	110.25	177.2	51.9	98	0.464	>0.05
9	Суммарное время “кратковременных пробуждений” (<i>WDS</i>), мин	6.1	6.0	6.875	17.2	12.1	10.75	0.059	>0.05
10	Время от начала отсчета <i>TST</i> до начала первого кратковременного пробуждения (<i>LWDS</i>), мин	158.3	91.0	175	206.7	94.5	124.75	−0.600	>0.05
11	Суммарное время пребывания в фазах сна N_1 (TN_1), мин	6.0	5.2	2.5	72.5	32.7	65	0.068	>0.05
12	Процентное значение пребывания в фазах сна N_1 по отношению к <i>TST</i> ($N_1\%$)	0.23	0.2	0.6	18.9	7.1	14.15	−0.169	>0.05
13	Суммарное время пребывания в фазах сна N_2 (TN_2), мин	240.5	46.9	84	120.0	14.7	29.75	0.657	>0.05
14	Процентное значение пребывания в фазах сна N_2 по отношению к <i>TST</i> ($N_2\%$)	53.5	7.8	15.15	27.9	2.6	4.925	0.257	>0.05
15	Суммарное время пребывания в фазах сна N_3 (TN_3), мин	125.7	23.2	47.5	203.3	49.5	106.75	0.058	>0.05
16	Процентное значение пребывания в фазах сна N_3 по отношению к <i>TST</i> ($N_3\%$)	28.1	5.3	10.325	46.7	7.8	16.3	−0.086	>0.05

весь период сна. Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволяет считать достоверно совпадающими для ПСГ и *Sleep Cycle* значения общего времени пребывания в состоянии сна (*TST*), времени пребывания в постели (*TIB*), эффективности сна (*SE*).

Сравнение сомнологических параметров испытуемых, характеризующих сон с быстрыми движениями глаз (*TRem*) и процентное значение пребывания в *Rem* фазе сна по отношению к *TST* (*Rem%*), а также суммарное время пребывания в фазе N_2 (пункты 6, 7, 13 табл. 1) выявило значения

коэффициента корреляции Спирмена более 0.5 при $p > 0.05$. Это не позволяет считать подобное достаточно высокое сходство статистически значимым. Значения коэффициентов корреляции Спирмена для *WDS*, времени от начала отсчета *TST* до начала первого кратковременного пробуждения (*LWDS*), суммарное время пребывания в фазах сна N_1 , N_3 (TN_1 , TN_3), и их процентных эквивалентов ($N_1\%$, $N_3\%$) (пункты 9, 10, 11, 12, 15, 16 табл. 1) в нашем исследовании имели крайне низкие, и даже отрицательные значения. Это свидетельствует об отсутствии статистически значи-

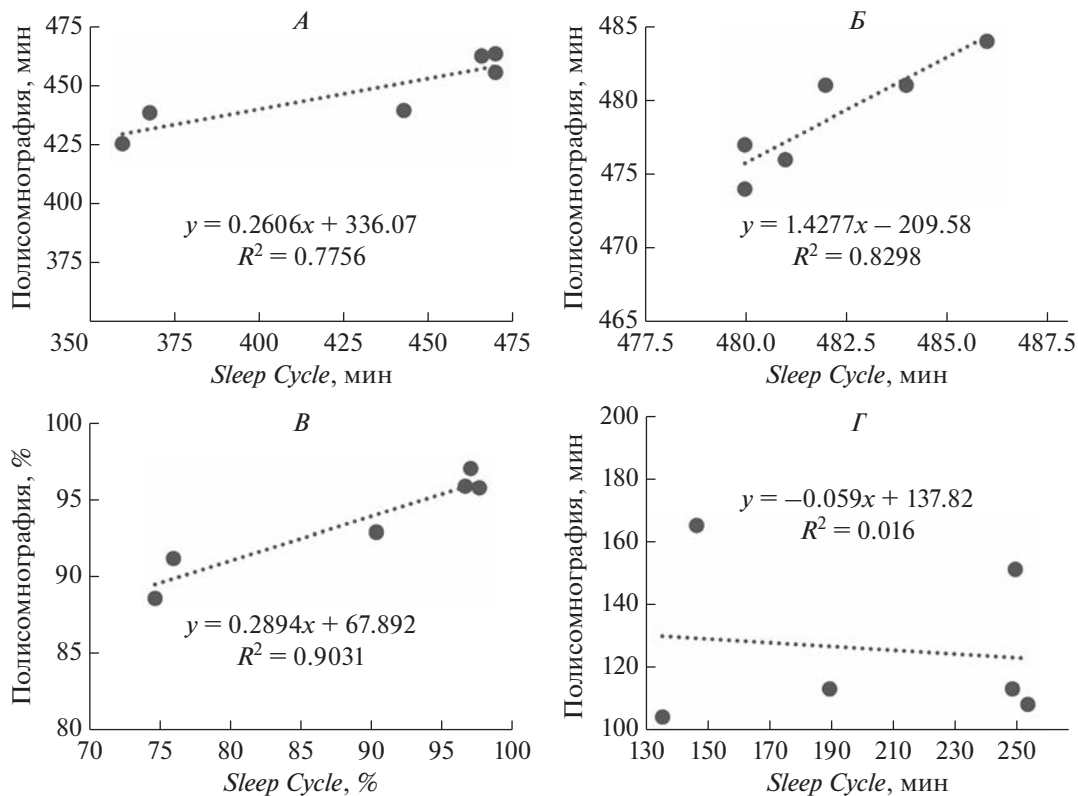


Рис. 1. Диаграммы сравнения и коэффициенты детерминации данных, полученных с помощью полисомнографии и *Sleep Cycle*. А — полное время сна (*TST*), Б — время пребывания испытуемых в постели (*TIB*), В — эффективности сна (*SE*), Г — суммарное время пребывания в фазе N_3 . Временные интервалы измерены в мин. *SE* измерена в %. R^2 — коэффициент детерминации сравниваемых параметров.

мых связей между актами кратковременных пробуждений, фазами сна N_1 и N_3 , регистрируемыми с помощью *Sleep Cycle* в сравнении с данными ПСГ.

Примером слабой связности вышеперечисленных сомнологических параметров, характеризующих фазы сна, является расчет коэффициента детерминации, между TN_3 по версии ПСГ и *Sleep Cycle*, приведенный на рис. 1, Г. В то же время коэффициенты детерминации при сравнении *TST*, *TIB*, *SE* составили 0.776, 0.830, 0.903 соответственно (рис. 1, А–В).

Следует отметить, что значение качества сна, вычисляемое программой *Sleep Cycle* по итогам каждой ночи, с очень высокой степенью совпадало со значениями эффективности сна по версии ПСГ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Спортивная практика, включающая различные варианты тренировочных и соревновательных традиций, отличается от клинической практики, в рамках которой успешно используется полисомнографическая регистрация параметров

функционального состояния человека. Поиск вариантов сомнологического мониторинга, адекватных особенностям спортивной практики, ведется в направлении уменьшения инвазивности при сохранении помехозащищенности и высокой информативности возможной альтернативы ПСГ. Избранное нами для проверки приложение к смартфону *Sleep Cycle* может быть использовано неквалифицированным оператором в домашних условиях или во время пребывания на спортивных сборах для регистрации, хранения и анализа персональной сомнологической активности и сопоставления ее с особенностями физической нагрузки. Недостатком названного приложения к смартфону является отсутствие данных о результатах валидации акустичесомнографической регистрации по отношению ПСГ со стороны производителя и (или) независимых экспертов.

Полученные нами данные можно рассматривать как попытку валидации метода акустичесомнографии на основе *Sleep Cycle* по отношению к синхронной полисомнографической регистрации параметров сна у молодых здоровых испытуемых. Попарное сравнение средних значений шестнадцати сомнологических параметров, при-

веденных в табл. 1, показало высокую степень совпадения трех временных количественных характеристик процесса сна по версии ПСГ и *Sleep Cycle*. Эти совпадения подкрепляются высокими коэффициентами детерминации сравниваемых индивидуальных данных (рис. 1, А–Г).

В последние годы в доступной нам литературе начали появляться сведения о попытках валидации некоторых приложений к смартфонам, ориентированных на регистрацию и анализ сомнологических параметров [1.3–6.9]. В том числе *M.S. Ameen et al.* [1] провели сравнение результатов, полученных синхронно с помощью *Sleep Cycle* и полисомнографии. В этом исследовании было выявлено высокая степень совпадения *TST*, *TIB*, *SE* и времени, в течение которого испытуемые засыпали, что подтверждает полученные нами результаты.

Можно считать, что основные временные характеристики сомнограмм по версии ПСГ и *Sleep Cycle* совпадают в высокой степени, и это обусловлено, главным образом, синхронным использованием регистрирующей аппаратуры. Сомнологические параметры, характеризующие структуру сна в случае сравнения ПСГ и *Sleep Cycle*, совпадают в значительно меньшей степени. Это можно объяснить тем, что интенсивность акустической активности (частота, глубина и ритмичность вентилиции легких) у спящего человека коррелирует с наступлением фаз сна более сложным образом, чем кажется на первый взгляд. Можно только предполагать, что авторы-разработчики *Sleep Cycle* озабочены расшифровкой и программным обеспечением этой закономерности. Эксперты-валидаторы, в свою очередь, должны в дальнейшем взять на себя обязательство попытаться обосновать более сложные, чем это кажется сегодня, процедуры извлечения и анализа сомнологически значимых параметров из акустикосомнограмм *Sleep Cycle* в его современных версиях [10–11].

ВЫВОДЫ

1. Приложение к смартфону *Sleep Cycle* можно применять для регистрации и анализа таких временных сомнологических параметров, как общее время пребывания в состоянии сна (*TST*), время пребывания в постели (*TIB*), эффективность сна (*SE*). Это позволит количественно оценивать эффективность ночной фазы процесса восстановления после спортивных тренировок.

2. Качество сна в процентах, рассчитанное по версии *Sleep Cycle*, практически совпадало по величине в нашей выборке со значением эффективности сна по версии ПСГ.

3. В нашем исследовании сомнологические параметры, характеризующие структуру сна (N_1 ,

N_2 , N_3 , *Rem* и кратковременные пробуждения), измеренные полисомнографически и методом *Sleep Cycle*, не совпадали, а коэффициенты корреляции и детерминации этих значений свидетельствуют об отсутствии значимой связности сравниваемых параметров. Это ограничивает применение метода *Sleep Cycle* в сфере количественного анализа структуры сна пользователей.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены Биоэтическим комитетом Национального государственного Университета физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта (Санкт-Петербург).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирования работы. Источник финансирования работы ГЗ 2023 075-00967-23-00.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Вклад авторов в публикацию. А.Н. Вётош, А.Б. Петров — концепция и план исследования. А.С. Котова, О.В. Тихомирова — сбор данных. А.Н. Вётош, О.В. Тихомирова, А.С. Котова — анализ данных и выводы. А.Н. Вётош, О.В. Тихомирова, А.Б. Петров — подготовка рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ameen M.S., Cheung L.M., Hauser T. et al.* About the Accuracy and Problems of Consumer Devices in the Assessment of Sleep // *Sensors*. 2019. V. 19. № 19. P. 4160.
2. *Baron K.G., Abbott S., Jao N. et al.* Orthosomnia: Are Some Patients Taking the Quantified Self Too Far? // *J. Clin. Sleep Med*. 2017. V. 13. № 2. P. 351.
3. *Ong A.A., Gillespie M.B.* Overview of smartphone applications for sleep analysis // *World J. Otorhinolaryngol. Head Neck Surg*. 2016. V. 2. № 1. P. 45.
4. *Lee J.-M., Byun W., Keill A. et al.* Comparison of Wearable Trackers' Ability to Estimate Sleep // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2018. V. 15. № 6. P. 1265.
5. *Fino E., Plazzi G., Filardi M. et al.* (Not so) Smart sleep tracking through the phone: Findings from a polysomnography study testing the reliability of four sleep applications // *J. Sleep Res*. 2020. V. 29. № 1. P. e12935.
6. *Kushida C.F., Littner M.R., Morgenthaler T. et al.* Practice Parameters for the Indications for Polysomnography and Related Procedures: An Update for 2005 // *Sleep*. 2005. V. 28. № 4. P. 499.
7. *Бирбаумер Н., Шмидт Р.Ф.* Ритм сна-бодрствования и внимание. Глава 9 / *Физиология человека с*

- основами патофизиологии // Под ред. Шмидт Р.Ф., Ланг Ф., Хекманн М. Пер. с нем. М.: Лаборатория знаний, 2021. С. 224.
- Birbaumer N., Schmidt R.F.* Sleep-wake rhythm and attention. Chapter 9 / *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* // Eds. Schmidt R.F., Lang F., Heckman M. Springer, 2021. P. 224.
8. *Siyahjani F., Molina G., Barr S., Mushtaq F.* Performance Evaluation of a Smart Bed Technology against Polysomnography // *Sensors*. 2022. V. 22. № 7. P. 2605.
 9. *Toon E., Davey M., Hollis S. et al.* Comparison of Commercial Wrist-Based and Smartphone Accelerometers, Actigraphy, and PSG in a Clinical Cohort of Children and Adolescents // *J. Clin. Sleep Med*. 2016. V. 12. № 3. P. 343.
 10. *Бумарскова Н.Н., Калинин А.Л.* Изучение сна студентов-спортсменов // *Вестник спортивной науки*. 2010. № 4. С. 30.
Bumarskova N.N., Kalinkin A.L. Study of sleeping patterns in collegiate athletes // *Sports Science Bulletin*. 2010. № 4. P. 30.
 11. *Гончар Е.В., Михалёва Е.С., Полуэктов М.Г.* Оценка точности определения сна при помощи фитнес-трекера / *Материалы научно-практической конференции "Интегративная неврология, нейродегенерация и десинхроноз"*. 7 июня 2019 г., Санкт-Петербург. СПб.: Альта Астра, 2019. С. 7.

Possibilities and Limitations on Use Sleep Cycle Smartphone Apps for Sleep Analysis in Sports Practice

A. N. Vjotosh^{a, b, *}, A. B. Petrov^b, A. S. Kotova^b, O. V. Tikhomirova^c

^a*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the RAS, St. Petersburg, Russia*

^b*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg, Russia*

^c*Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, St. Petersburg, Russia*

**E-mail: vjotnn@yahoo.com*

Synchronous recording of somnological activity in healthy female subjects was performed using the polysomnography method and by recording the acoustic activity of a sleeping organism using the Sleep Cycle smartphone application. A comparison was made of 16 basic temporal and structural characteristics of sleep, obtained by the two above methods. A high degree of coincidence of the sleep total duration, the time spent in bed, the sleep efficiency, obtained by polysomnographic and acousticsomnographic methods, was established. It was found that the quality of sleep in percent, calculated according to the Sleep Cycle version, coincides with the values of sleep efficiency, determined according to polysomnography data, with a high degree.

Keywords: somnological parameters, Sleep Cycle, polysomnography, sport.