

Корреляция Каролинской шкалы сонливости с поведенческими показателями монотонного бимануального психомоторного теста

© А.Е. МАНАЕНКОВ^{1, 2}, Н.О. ПРОХОРЕНКО^{1, 3}, О.Н. ТКАЧЕНКО¹, Д.С. СВЕШНИКОВ⁴, В.Б. ДОРОХОВ¹

¹ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук», Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;

³ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

⁴Медицинский институт ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Резюме

Цель исследования. Оценка объективности измерения уровня сонливости у испытуемых при помощи разработанного монотонного психомоторного бимануального тэппинг-теста, выполняемого на мобильных устройствах под ОС Android.

Материал и методы. На 102 студентах проведено 494 часовых эксперимента с выполнением психомоторного теста. С помощью метода смешанных линейных моделей оценивали корреляции между уровнями сонливости по Каролинской шкале сонливости (KSS) и Эпвортской шкале сонливости (ESS) и поведенческими показателями теста.

Результаты. Показаны статистически значимые взаимосвязи между увеличением баллов по KSS и такими показателями, как снижение общего количества нажатий на кнопку и увеличение частоты эпизодов «микросна». Статистически значимых взаимосвязей балльных характеристик ESS с поведенческими показателями теста не выявлено.

Заключение. На большом статистическом материале показана достоверная корреляция параметров психомоторного теста с уровнем сонливости по KSS, что позволяет использовать разработанное мобильное приложение для определения текущего уровня сонливости/бдительности в полевых условиях.

Ключевые слова: психомоторный тест, мобильное приложение, дневная сонливость, Каролинская шкала сонливости, Эпвортская шкала сонливости.

Информация об авторах:

Манаенков А.Е. — <https://orcid.org/0000-0003-1284-8247>

Свешников Д.С. — <https://orcid.org/0000-0002-1050-7871>

Прохоренко Н.О. — <https://orcid.org/0000-0001-8966-3860>

Дорохов В.Б. — <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>

Ткаченко О.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-5100-8980>

Автор, ответственный за переписку: Манаенков А.Е. — e-mail: allomulder@gmail.com

Как цитировать:

Манаенков А.Е., Прохоренко Н.О., Ткаченко О.Н., Свешников Д.С., Дорохов В.Б. Корреляция Каролинской шкалы сонливости с поведенческими показателями монотонного бимануального психомоторного теста. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2023; 123(5 вып. 2):28–34. <https://doi.org/10.17116/jnevro202312305228>

Correlation of the Karolinska sleepiness scale with performance variables of the monotonous bimanual psychomotor test

© А.Е. MANAENKOV^{1, 2}, N.O. PROKHORENKO^{1, 3}, O.N. TKACHENKO¹, D.S. SVESHNIKOV⁴, V.B. DOROKHOV¹

¹Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Moscow, Russia;

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

³Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

⁴Medical Institute of Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Abstract

Objective. To assess the objectivity of measuring the level of sleepiness in the subjects using a monotonous psychomotor bimanual tapping test developed by us, performed on mobile devices running Android OS.

Material and methods. Four hundred and ninety-four hour-long experiments with the performance of a psychomotor test were conducted on 102 students. Using the method of mixed linear models, correlations between the levels of sleepiness according to the Karolinska Sleepiness Scale (KSS) and the Epworth Sleepiness Scale (ESS) and the behavioral indicators of the test were evaluated.

Results. Statistically significant correlations between the increase in KSS scores and such indicators as a decrease in the total number of button taps and an increase in the frequency of «microsleep» episodes are shown. Statistically significant correlations of ESS score characteristics with the behavioral indicators of the test were not found.

Conclusion. A large statistical material shows a reliable correlation of the parameters of the psychomotor test with the level of sleepiness on the Karolinska scale, which allows using the mobile application developed by us to determine the current level of sleepiness/alertness in the field.

Keywords: psychomotor test, mobile app, daytime sleepiness, Karolinska Sleepiness Scale, Epworth Sleepiness Scale.

Information about the authors:Manaenkov A.E. — <https://orcid.org/0000-0003-1284-8247>Prokhorenko N.O. — <https://orcid.org/0000-0001-8966-3860>Tkachenko O.N. — <https://orcid.org/0000-0002-5100-8980>**Corresponding author:** Manaenkov A.E. — e-mail: allomulder@gmail.comSveshnikov D.S. — <https://orcid.org/0000-0002-1050-7871>Dorokhov V.B. — <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>**To cite this article:**

Manaenkov AE, Prokhorenko NO, Tkachenko ON, Sveshnikov DS, Dorokhov VB. Correlation of the Karolinska sleepiness scale with performance variables of the monotonous bimanual psychomotor test. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2023;123(5 vyp 2):28–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro202312305228>

Оценка текущего уровня сонливости человека имеет большую практическую значимость в современном обществе [1]. При выполнении монотонной операторской деятельности высокий уровень сонливости может негативно сказываться на трудоспособности работника [2], в частности водителей транспортных средств [3], особенно если монотонная деятельность сопряжена со сменой часовых поясов, что часто наблюдается у пилотов [4]. Кроме того, перспектива оценки уровня сонливости вне исследовательской лаборатории открывает широкие возможности перед телемедициной и медициной сна в целом, оказывая влияние на качество жизни [5].

Состояние повышенной сонливости является переходным между бодрствованием и сном, однако достоверных методов измерения сонливости в данный момент не существует, поскольку физиологические показатели и субъективное ощущение сонливости связаны неоднозначно. В то же время исследованиями подтверждено, что испытуемые время от времени совершают ошибки в моменты, когда самостоятельно оценивают свою сонливость как невысокую. Вопрос, какой показатель может быть универсальным физиологическим маркером сонливости, остается спорным [6].

Удобными скрининговыми инструментами для оценки уровня сонливости являются опросники субъективного ощущения сонливости [7]. Каролинская шкала сонливости (KSS) широко используется для количественной оценки сонливости/бдительности на момент заполнения опросника в хронобиологических исследованиях и исследованиях сна. Шкала состоит из одного вопроса «Насколько Вы СЕЙЧАС чувствуете себя бодро или сонливо?» и 9-балльной шкалы: от 1 (максимальное бодрствование) до 9 (максимальная сонливость) [8]. Данные KSS хорошо коррелируют с другими показателями текущей сонливости (поведенческими и полисомнографическими), что свидетельствует о высокой валидности этого теста [9, 10].

Эпвортская шкала сонливости (ESS) оценивает сонливость человека не в момент прохождения теста, а в среднем. Шкала состоит из 8 вопросов, предлагающих испытуемому оценить, насколько для него характерна дремота в разных ситуациях, по шкале от 0 до 3 [11]. Подтверждено, что психометрические показатели ESS считаются достаточно надежными и валидными [12, 13], хотя есть и иные мнения [14].

При всех достоинствах опросников их сложно использовать во время операторской деятельности [15, 16], поэтому для оценки состояния человека используют поведенческие методы. Их принято разделять на две категории: активные и пассивные [17, 18].

Активные методы добавляют к операторской деятельности дополнительную задачу, требующую реакции ис-

пытываемого на внешние стимулы (нажатие на кнопку либо вербальный ответ). В частности, к этой группе относится широко используемый тест психомоторной бдительности (PVT) [19], оценивающий скорость моторной реакции испытуемого во время выполнения основной деятельности. Активные методы обеспечивают непрерывную оценку состояния оператора в реальном времени и предоставляют достаточное количество данных для анализа, однако меньше подходят для исследований сна, поскольку вмешиваются в процесс естественного засыпания.

Пассивные методы не требуют от испытуемого выполнения дополнительных задач. В частности, к ним относятся актиграфия и тэппинг-тест. По некоторым свидетельствам, разновидности тэппинг-теста являются наиболее удачными вариантами применения пассивных методов на практике [20].

Один из вариантов пассивного поведенческого теста был ранее предложен В.Б. Дороховым [21, 22]. Тест заключается в том, что испытуемый, лежа с закрытыми глазами, считает в уме от 1 до 10 и одновременно нажимает на кнопки, поочередно правой и левой руками. Монотонный характер теста и минимальное взаимодействие с внешним миром вызывают быстрое снижение уровня бодрствования даже в дневное время. У большинства испытуемых возникает чередование кратковременных засыпаний, определяемых по отсутствию нажатий на кнопки, и пробуждений с частичным или полным восстановлением выполнения теста. Этот тест позволяет определять уровень бодрствования испытуемого по пропускам или неправильному количеству нажатий, а в сочетании с методами электроэнцефалографии (ЭЭГ) с большей точностью фиксирует переходы между сном и бодрствованием [21, 22]. Количество последовательных нажатий на кнопки одной рукой позволяет отслеживать динамику перехода от бодрствования ко сну с большей точностью, по сравнению со стандартными психомоторными тестами, где в серии из 10 нажатий учитываются ошибочное количество нажатий.

Цель исследования — оценка объективности измерения уровня сонливости у испытуемых при помощи разработанного нами монотонного психомоторного бimanуального тэппинг-теста, выполняемого на мобильных устройствах, работающих на ОС Android.

Материал и методы

Набор участников происходил из числа студентов-медиков. Изначально для участия в исследовании зарегистрировался 201 человек, однако после применения критериев исключения число испытуемых уменьшилось.

Критерии невключения: отсутствие имени либо номера студенческого билета в отчетах; общая длина одной попытки <50 мин; отсутствие сообщения о прекращении эксперимента; испытуемый осуществил менее трех попыток теста; длительность отдельного эпизода отсутствия нажатий превышала полчаса (при дистанционном проведении экспериментов нельзя определить, заснул испытуемый или отложил телефон); испытуемый нарушал инструкцию в течение всего времени исследования.

В исследование были включены 102 студента-медика (76 девушек и 26 юношей, средний возраст $19,7 \pm 1,7$ года). Испытуемые выполняли психомоторный тест в приложении, разработанном для использования смартфонов на ОС Android, что позволило проводить исследование в домашних условиях и существенно увеличить объем выборки. Мобильное приложение было синхронизировано с двумя портативными Bluetooth-кнопками и регистрировало их нажатия в ходе теста. Каждый испытуемый проходил тест от 3 до 5 раз, что позволило оценить вклады внутри- и межиндивидуальной вариабельности на результаты исследования [23–26].

Каждый испытуемый устанавливал мобильное приложение на свой смартфон и получал две Bluetooth-кнопки. В приложении испытуемый предварительно вносил основную информацию о себе (имя, пол, дата рождения, город, место учебы и ведущая рука), а также заполнял информированное согласие и однократно заполнял встроенную в программное обеспечение (ПО) анкету уровня сонливости по ESS, а перед каждой попыткой в обязательном порядке выполнял тест KSS.

Испытуемых инструктировали проводить исследование в тихом изолированном помещении, принять удобное горизонтальное положение, надеть наушники либо включить телефон на максимальную громкость для лучшей слышимости пробуждающего сигнала.

Каждое исследование продолжалось 60 мин, во время которых испытуемый должен был с закрытыми глазами считать в уме от 1 до 10 с частотой приблизительно 1 раз в 1 с, одновременно с каждым счетом нажимая на кнопку 10 раз, правой и левой руками поочередно. Если испытуемый не нажимал на кнопки в течение 2 мин, смартфон генерировал звуковой сигнал, чтобы испытуемый проснулся и продолжил тест. Если испытуемый не возобновлял нажатия после звукового сигнала, сигнал повторялся каждые 10 с. По истечении 1 ч исследование автоматически завершалось, отчет о результатах высылался на сервер.

Общее количество проанализированных попыток составило 494. Время проведения исследований не было фиксированным, что позволило провести тест на разных уровнях сонливости. Распределение количества проведенных тестов в соответствии со временем суток представлено на **рис. 1**.

Все испытуемые были ознакомлены с процедурой исследования и дали письменное согласие на участие в нем. Исследование соответствует этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Об утверждении правил надлежащей клинической практики», утвержденными Приказом Минздрава России от 01.04.16 №200н. Исследование одобрено Этической комиссией Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (протокол №2 от 03.06.19).

Предобработка данных: выгрузка, приведение в табличный вид, первичная визуализация и отсеивание попыток ненадлежащего качества (см. ниже), проводилась с использованием языка программирования Python версии 3.10.5.

В качестве независимых переменных в исследовании использовались баллы по шкалам KSS и ESS. Для упрощения интерпретации результатов KSS была центрирована так, чтобы средний для шкалы балл 5 имел значение 0. Таким образом, если испытуемый оценил свою сонливость в диапазоне 1–4 (градации бодрствования), его баллы были <0; а если в диапазоне 6–9 (градации сонливости) — >0. В качестве зависимых переменных использовались: общее количество нажатий на кнопки в течение 60 мин исследования (в дальнейшем taps); количество эпизодов «микросна», когда испытуемый прекращал нажимать на кнопки в течение более чем 10 с (в дальнейшем sleeps); средний интервал между последовательными нажатиями на кнопку одной рукой: 0 — в состоянии бодрствования (wake), без ошибок в количестве нажатий, 1 — в состоянии выраженной сонливости, когда количество нажатий было ошибочным (в дальнейшем iti — от intertrial interval); общее количество эпизодов, когда испытуемый нажимал на кнопку одной рукой подряд менее 9 либо более 11 раз (в дальнейшем errors).

Обычно для оценки взаимосвязи между двумя численными переменными используются коэффициенты корреляции либо линейный регрессионный анализ. Оба указанных метода предполагают независимость наблюдений, что не выполняется в нашем исследовании, поскольку один и тот же испытуемый участвовал в тесте несколько раз. Для исключения сопоставления данных одного и того же испытуемого с самим собой нами применена модель линейного регрессионного анализа со смешанными эффектами, используя подход, описанный в работе Z. Yu и соавт. [27].

Формально уравнение линейной модели со смешанными эффектами можно записать следующим образом:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta x + u_i + \epsilon_{ij},$$

где x и y — переменные, взаимосвязь которых анализируется; β — коэффициент, обозначающий силу и характер линейной связи между x и y ; β_0 — константа, обозначающая значение y при условии, что x равна 0; ϵ — остатки уравнения, необъясненная часть дисперсии; u_i обозначает некоторый параметр, уникальный для конкретного испытуемого i ; ϵ_{ij} обозначает, что конкретное наблюдение j принадлежит испытуемому i .

Модель содержит две категории параметров:

1. Параметры, являющиеся общими для всей выборки (так называемые фиксированные эффекты).
2. Параметры, характерные для конкретного испытуемого (так называемые случайные эффекты).

Таким образом, модель использует как общую для всей выборки информацию, так и уникальную для каждого конкретного испытуемого, что позволяет более точно оценивать связь между двумя переменными и ее статистическую значимость. Также модель позволяет оценивать роль интраиндивидуальной изменчивости через анализ случайных эффектов: дисперсию случайных эффектов, коэффициент детерминации (R^2), интраклассовый коэффициент корреляции (ICC).

Дисперсия случайных эффектов — это разброс интраиндивидуальных средних. R^2 — мера того, насколько хорошо одна переменная «объясняет» другую. Этот показатель является стандартным для анализа качества регрессионной модели. Для моделей со смешанными эффектами

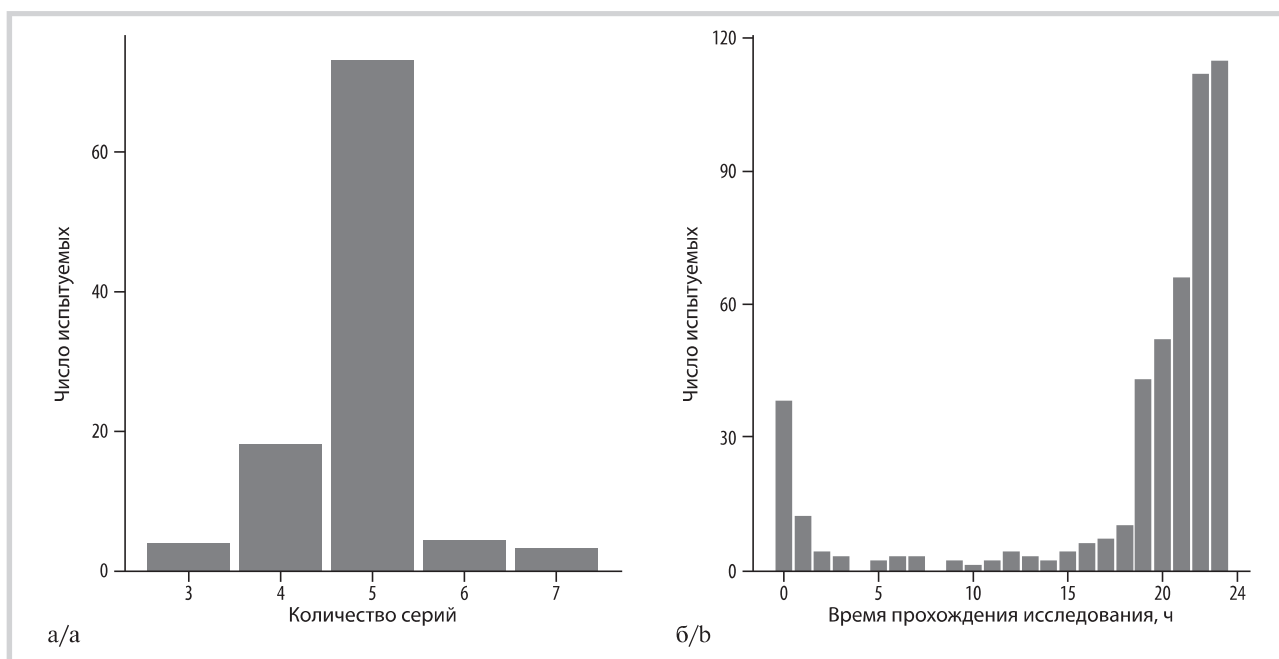


Рис. 1. Распределение количества проведенных тестов в соответствии со временем суток.

а — диаграмма распределения количества экспериментов, пройденных испытуемыми во время исследования (абсцисса — суммарное количество серий исследования, ордината — число испытуемых); б — диаграмма времени суток начала эксперимента для всех испытуемых (абсцисса — время, ордината — число испытуемых, которые начали исследование в определенные часы).

Fig. 1. Spreading of the number of tests performed according to the time.

а — bar plot of the experiments' quantity completed by each subject (x-axis is the total number of experiments, y-axis is the number of subjects who completed as many experiments); б — bar plot of the subjects who started experiments at different times of a day (the x-axis is the time of the experiment start, the y-axis is the number of subjects who have been started an experiment at that hour).

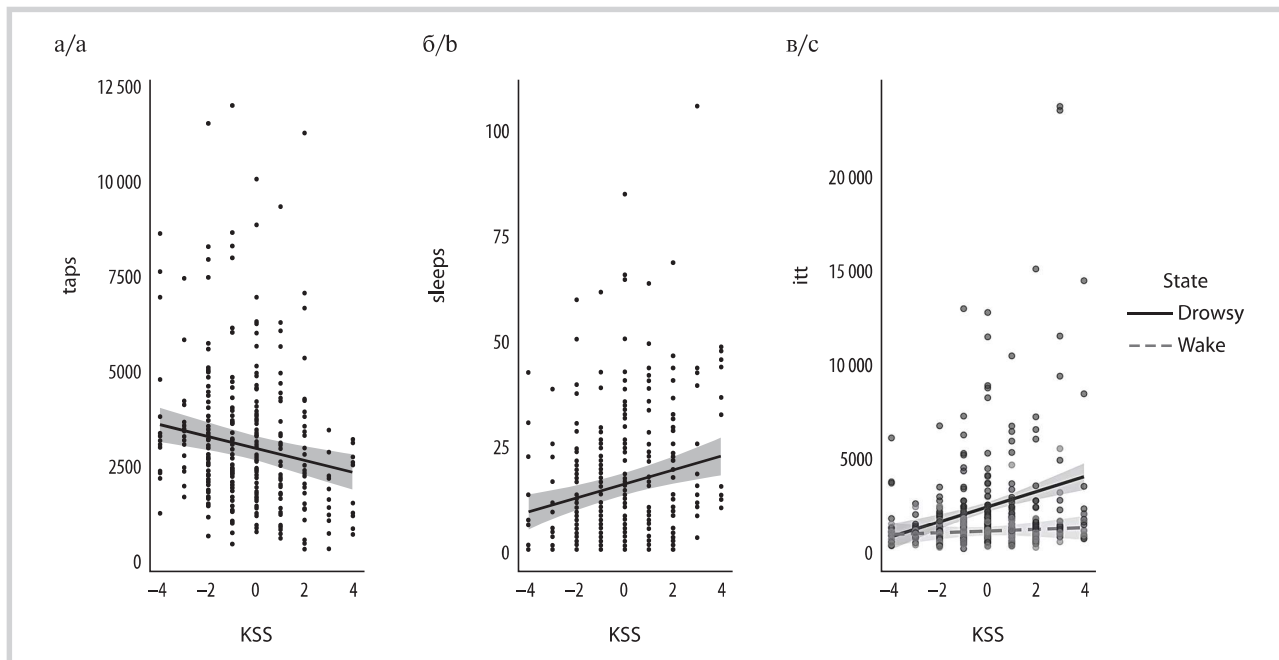


Рис. 2. Корреляция между баллом по KSS (абсцисса) и тремя поведенческими показателями теста (ордината).

Точки — значения показателей для каждого испытуемого. Черная линия — смешанная линейная модель, построенная по всем испытуемым. Серым цветом изображен 95% доверительный интервал. а — показатель taps (общее количество нажатий за 60-минутный эксперимент); б — показатель sleeps (количество эпизодов «микросна» в эксперименте); в — показатель itt (средний интервал между нажатиями); пунктир — состояние бодрствования (wake), непрерывная линия — состояние дремоты (drowsy) — ошибочные нажатия, предшествующие эпизоду «микросна».

Fig. 2. Graphical representation of the correlation between the KSS score (x-axis) and three behavioral indicators (y-axis).

Black dots mark each subject's data values. Black line indicates the mixed linear model fitted to all participants. Gray-colored interval represents the 95% confidence interval. а — the total number of taps within experiment; б — the number of «microsleep» episodes; в — the average interval between taps (intertap interval, itt). The dotted line represents the state of wakefulness (wake), the continuous line represents the state of drowsiness before falling asleep (drowsy) — error taps preceding the episode of microsleep.

вычисляются два варианта: R^2 Marg. — маржинальный (только фиксированные эффекты) и R^2 Cond. — условный (фиксированные и случайные эффекты). Так, можно оценить вклад интраиндивидуальной изменчивости в модель. ICC — степень корреляции между интраиндивидуальными наблюдениями. Принимает значения от 0 (наблюдения не скоррелированы) до 1 (идеальная корреляция между наблюдениями).

Более подробно методология анализа смешанных линейных моделей со случайными эффектами описана в работе [27].

Результаты

Для каждого из четырех поведенческих показателей (taps, sleeps, iti, errors) были построены смешанные линейные модели для баллов шкал KSS и ESS по отдельности.

При подготовке данных для построения моделей использовали следующие библиотеки языка программирования R версии 4.2.1: tidyverse v1.3.2 [28] — для подготовки данных к анализу и визуализации; easystats v0.5.2 — для извлечения и интерпретации параметров моделей; lme4 v1.1-30 [29] — для построения моделей.

Были обнаружены следующие статистически значимые корреляции поведенческих показателей с уровнем сонливости по KSS (p — вероятность нулевой гипотезы, β — коэффициент при соответствующей переменной в модели, 99% ДИ — границы доверительного интервала, включающего 99% данных).

В среднем при увеличении KSS на 1 балл: общее количество нажатий в эксперименте (taps) уменьшалось на 156 нажатий ($\beta = -156,08$; 99% ДИ $[-260,21, -51,95]$, $p < 0,001$); количество эпизодов засыпаний (sleeps) увеличивалось на 1—2 эпизода сна ($\beta = 1,65$; 99% ДИ $[0,49, 2,80]$, $p < 0,001$); интервал между последовательными нажатиями одной рукой (iti) перед эпизодом засыпания увеличивался на 399 мс ($\beta = 399,12$; 99% ДИ $[187,35, 610,89]$, $p < 0,001$); интервал между последовательными нажатиями одной рукой (iti) в бодрствовании в среднем снижался на 1300 мс ($\beta = -1300,55$; 99% ДИ $[-1674,11, -927,00]$, $p < 0,001$); эффект KSS на iti в бодрствовании был слабее ($\beta = -354,45$; 99% ДИ $[-561,92, -146,97]$, $p < 0,001$). Иными словами, при увеличении KSS на 1 балл iti в бодрствовании увеличивался на $399 - 355 = 44$ мс; статистически значимой взаимосвязи между уровнем сонливости по KSS и общим количеством ошибок (errors) обнаружено не было.

Графически полученные данные представлены на **рис. 2**. Численные данные приведены в **таблице**.

Статистически значимых связей между уровнем средней сонливости, оцененным по ESS, и всеми анализируемыми поведенческими показателями выявлено не было.

Отметим, что для показателей taps и sleeps в соответствующих моделях оказался высок вклад случайных (интраиндивидуальных) эффектов. Фиксированные эффекты объясняют для каждого из них лишь 3% дисперсии, а суммарно фиксированные и случайные эффекты — 74,3 и 46,2% дисперсии соответственно. Это подтверждается и высокими значениями ICC (0,74 и 0,44 соответственно).

Вклад случайных эффектов в модель iti (интервал между последовательными нажатиями одной рукой) оказался меньше: фиксированные эффекты объясняют 15,5% дисперсии, суммарно фиксированные и случайные эффекты — 22,7% дисперсии, а ICC равен 0,09.

Основные параметры смешанных регрессионных моделей, использованных для оценки корреляции между KSS и поведенческими показателями теста

The main parameters of the mixed regression models used to assess the correlation between KSS and the behavioral indicators of the test

Параметр	taps	sleeps	iti	errors
(Intercept)	2985,479 (166,248)	16,546 (1,316)	2458,665 (130,933)	585,286 (70,829)
KSS	-156,081 (40,216)	1,648 (0,446)	399,122 (81,965)	-59,672 (54,997)
State (wake)			-1300,554 (144,582)	
KSS × State (wake)			-354,446 (80,303)	
SD (Intercept id)	1497,409	10,486	534,865	571,716
SD (KSS id)	151,189		398,454	452,550
SD (Observations)	895,876	11,785	1756,991	455,027
R^2 Marg.	0,025	0,036	0,155	0,021
R^2 Cond.	0,743	0,462	0,227	0,620
ICC	0,7	0,4	0,1	0,6
RMSE	770,96	10,54	1658,84	364,23

Примечание. По столбцам расположены модели, по рядам — параметры этих моделей. Референтная категория для показателя iti — состояние дремоты (drowsy). В скобках указаны стандартные ошибки коэффициентов уравнения. (Intercept) — константа регрессионного уравнения, State (wake) — коэффициент, обозначающий состояние бодрствования, KSS × State (wake) — статистическое взаимодействие соответствующих коэффициентов, SD (Intercept id) — дисперсия случайной константы, SD (KSS id) — дисперсия случайного коэффициента, SD (Observations) — остаточная дисперсия, RMSE — показатель средней ошибки уравнения.

Note. The models are arranged in columns, and the parameters of these models are arranged in rows. The reference category for the iti indicator is the drowsy state. The standard errors of the coefficients are indicated in parentheses. (Intercept) is the constant parameter of the regression equation, State (wake) is the coefficient indicating the wake state, KSS × State (wake) is the statistical interaction of the corresponding coefficients, SD (Intercept id) is the variance of a random intercept, SD (KSS id) is the variance of a random slope, SD (Observations) — residual variance, RMSE — root mean squared error (indicator of the average error).

Обсуждение

Предположение о связи между поведенческими показателями психомоторного теста и субъективным уровнем сонливости было подтверждено: общее количество нажатий в течение 1 ч статистически значимо снижалось, а количество эпизодов «микросна» и интервал между нажатиями перед засыпанием увеличивались. Полученные результаты говорят о достаточной чувствительности использованных показателей к функциональному состоянию испытуемого, что согласуется с результатами работ [9, 20], где также анализируется взаимосвязь между поведенческими реакциями и уровнем сонливости.

Использованная нами методология регрессионного анализа со смешанными эффектами позволила выделить особенности интра- и интериндивидуальной изменчивости показателей taps и sleeps. Значительная доля дисперсии, объясненной случайными эффектами, и соответствующие значения ICC свидетельствуют о выраженных различиях

между испытуемыми. Другими словами, в этих показателях высок вклад стабильных характеристик испытуемых.

Между испытуемыми *iti* имеет гораздо меньший разброс значений. Этот показатель в большей степени зависит от ситуативного состояния, а не стабильных характеристик испытуемых. В пользу такой интерпретации говорит также отсутствие статистически значимой корреляции между *iti* и баллом KSS в бодрствовании и наличие такой корреляции перед эпизодом засыпания. Можно предположить, что показатель *iti* сам по себе не связан с ситуативной сонливостью, пока человек достаточно бодр, чтобы выполнять тест без ошибок, однако картина меняется по мере развития сонливости.

Общее количество совершенных ошибок не показало статистически значимой корреляции с баллами шкалы KSS, что противоречит нашим наблюдениям в предыдущих исследованиях с использованием такого же дизайна психомоторного теста [21, 22]. Это противоречие можно объяснить тем, что уровень бодрствования имеет более сложные динамические взаимосвязи с процессом совершения ошибок, к которым KSS нечувствительна. Также вероятен неудачный выбор оценки количества ошибок, поэтому для более точной оценки связи совершаемых ошибок с уровнем сонливости потребуются дополнительные исследования, где анализ комплексной динамики ошибок будет сочетаться с регистрацией полисомнографических данных. Такое исследование позволит разработать интегральный показатель уровня сонливости аналогично «кривой уровня бодрствования» на основе альфа-, дельта- и тета-активности ЭЭГ, как это было предложено в работе М. Pregel и соавт. [18].

Отметим также отсутствие статистически значимых взаимосвязей между показателями психомоторного теста и шкалой ESS. Так как ESS является методом оценки сонливости как стабильной характеристики испытуемого, а KSS отражает ситуативную сонливость, то подобные расхождения могут означать большую чувствительность нашего теста именно к ситуативной сонливости, чем к средней сонливости конкретного испытуемого.

Неоднозначным выглядит наличие выраженных межличностных различий в количестве нажатий и эпизодов «микросна», описанных выше. Возможно, это объясняется тем, что ESS и поведенческие показатели выполнения психомоторного теста отражают разные процессы. Тест ESS был разработан для диагностики нарушений сна у больных [11]. Возможно, отсутствие статистически значимых корреляций говорит о недостаточной чувствительности ESS к различиям в уровне сонливости у здоровых испытуемых. Для проверки пригодности предлагаемого теста разграничивать здоровую и патологическую сонливость в перспективе необходимо провести дополнительное исследование у группы лиц, страдающих нарушениями сна.

Заключение

На 102 испытуемых в 494 исследованиях длительностью по 60 мин показана статистически значимая корреляция ряда поведенческих показателей выполнения теста с измеренным посредством KSS уровнем сонливости. Так, общее количество нажатий и величина интервалов между ними уменьшаются, а количество эпизодов «микросна» возрастает при увеличении уровня сонливости по шкале KSS.

Уровень средней сонливости, оцененный по шкале ESS, не показал статистически значимых корреляций ни с одним из рассмотренных поведенческих показателей. Это свидетельствует о большей чувствительности разработанного нами психомоторного теста в отношении ситуативной сонливости.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант №22-28-01769.

The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 22-28-01769.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflict of interest.**

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Дорохов ВБ. Сомнология и безопасность профессиональной деятельности. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2013;63(1):33-47. Dorokhov VB. Somnology and occupational safety. *Zhurnal vysshei nervnoi Deiatelnosti im. I.P. Pavlova*, 2013;63(1):33-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0044467713010048>
2. Ulfberg J, Carter N, Talbäck M, Edling C. Excessive daytime sleepiness at work and subjective work performance in the general population and among heavy snorers and patients with obstructive sleep apnea. *Chest*. 1996;110(3):659-663. <https://doi.org/10.1378/chest.110.3.659>
3. Boyle LN, Tiffin J, Paul A, Rizzo M. Driver Performance in the Moments Surrounding a Microsleep. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav*. 2008;11(2):126-136. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2007.08.001>
4. Zhang F, Li W, Li H, et al. The effect of jet lag on the human brain: A neuroimaging study. *Hum Brain Mapp*. 2020;41(9):2281-2291. <https://doi.org/10.1002/hbm.24945>
5. Ohayon MM. Epidemiology of Excessive Daytime Sleepiness. *Sleep Medicine Clinics*. 2006;1(1):9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2005.11.004>
6. Dinges DF. Sleep debt and scientific evidence. *Sleep*. 2004;27(6):1050-1052.
7. Curcio G, Casagrande M, Bertini M. Sleepiness: evaluating and quantifying methods. *International Journal of Psychophysiology*. 2001;41(3):251-263. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00138-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00138-6)
8. Åkerstedt T, Gillberg M. Subjective and objective sleepiness in the active individual. *Int J Neurosci*. 1990;52(1-2):29-37. <https://doi.org/10.3109/00207459008994241>
9. Kaida K, Takahashi M, Åkerstedt T, et al. Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology*. 2006;117(7):1574-1581. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.03.011>
10. Putilov AA, Donskaya OG. Construction and validation of the EEG analogues of the Karolinska sleepiness scale based on the Karolinska drowsiness test. *Clin Neurophysiol*. 2013;124(7):1346-1352. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.01.018>
11. Johns MW. A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*. 1991;14(6):540-545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>
12. Lapin BR, Bena JF, Walia HK, Moul DE. The Epworth Sleepiness Scale: Validation of One-Dimensional Factor Structure in a Large Clinical Sample. *J Clin Sleep Med*. 2018;14(8):1293-1301. <https://doi.org/10.5664/jcs.m.7258>

13. Rosenberg R, Babson K, Menno D, et al. Test—retest reliability of the Epworth Sleepiness Scale in clinical trial settings. *Journal of Sleep Research*. 2022;31(2):45-49. <https://doi.org/10.1111/jsr.13476>
14. Omobomi O, Quan SF. A Requiem for the Clinical Use of the Epworth Sleepiness Scale. *J Clin Sleep Med*. 2018;14(5):711-712. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7086>
15. Arnardóttir H, Þorsteinsson H, Karlsson K. Dynamics of Sleep—Wake Cyclicity at Night Across the Human Lifespan. *Frontiers in Neurology*. 2010;1(8):345-351.
16. Yoshino K, Inomoto S, Iyama A, Sakoda S. Dynamic sleep stage transition process analysis in patients with Parkinson's disease having sleep apnea syndrome. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2021;25:100656. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2021.100656>
17. Ogilvie RD. The process of falling asleep. *Sleep Med Rev*. 2001;5(3):247-270. <https://doi.org/10.1053/smr.2001.0145>
18. Prerau MJ, Hartnack KE, Obregon-Henao G, et al. Tracking the Sleep Onset Process: An Empirical Model of Behavioral and Physiological Dynamics. *PLoS Comput Biol*. 2014;10(10):e1003866. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003866>
19. Basner M, Moore TM, Nasrini J, Gur RC, Dinges DF. Response speed measurements on the psychomotor vigilance test: how precise is precise enough? *Sleep*. 2021;44(1):zsa121. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsa121>
20. Casagrande M, De Gennaro L, Violani C, et al. A finger-tapping task and a reaction time task as behavioral measures of the transition from wakefulness to sleep: which task interferes less with the sleep onset process. *Sleep*. 1997;20(4):301-312. <https://doi.org/10.1093/sleep/20.4.301>
21. Дорохов В.Б. Альфа-веретена и К-комплекс — фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушений психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты. *Журн. Высш. Нервн. Деят.* 2003;53(4):502-511.
22. Dorokhov VB, Tkachenko ON, Ushakov VL, Chernorizov AM. Neuronal Correlates of Spontaneous Awakening and Recovery of Psychomotor Performance. In: Velichkovsky BM, Balaban PM, Ushakov VL, eds. *Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics*. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer International Publishing; 2021;429-435. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71637-0_49
23. Agnew Jr. HW, Webb WB, Williams RL. The First Night Effect: An Eeg Study of Sleep. *Psychophysiology*. 1966;2(3):263-266. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1966.tb02650.x>
24. Curcio G, Ferrara M, Piergianni A, et al. Paradoxes of the first-night effect: a quantitative analysis of antero-posterior EEG topography. *Clinical Neurophysiology*. 2004;115(5):1178-1188. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.12.018>
25. Tamaki M, Bang JW, Watanabe T, Sasaki Y. Night Watch in One Brain Hemisphere during Sleep Associated with the First-Night Effect in Humans. *Curr Biol*. 2016;26(9):1190-1194. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.02.063>
26. Button KS, Ioannidis JPA, Mokrysz C, et al. Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*. 2013;14(5):365-376. <https://doi.org/10.1038/nrn3475>
27. Yu Z, Guindani M, Grieco SF, et al. Beyond t test and ANOVA: applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. *Neuron*. 2022;110(1):21-35. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.10.030>
28. Wickham H, Averick M, Bryan J, et al. Welcome to the Tidyverse. *JOSS*. 2019;4(43):1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
29. Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. 2015;67:1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>

Поступила 08.03.2023

Received 08.03.2023

Принята к печати 16.03.2023

Accepted 16.03.2023