

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ УМСТВЕННОГО УТОМЛЕНИЯ И АДАПТИВНОЙ ФУНКЦИИ ДНЕВНОГО СНА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ¹

ПУЧКОВА А. Н., Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

ТКАЧЕНКО О. Н., Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

ДОРОХОВ В. Б., Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

Проблема умственного утомления как причины снижения работоспособности становится с каждым годом все более острой. С целью исследования данного психофизиологического феномена был разработан психомоторный тест для моделирования развития умственного утомления у оператора при работе за компьютером. Испытуемые должны были решать арифметические задачи с максимальной скоростью и точностью в ходе двух рабочих сессий, разделенных 90-минутным перерывом для отдыха. Методика позволяет отслеживать движение взгляда испытуемого и курсора «мыши» во время выполнения теста и сравнивать влияние дневного сна и спокойного бодрствования на восстановление работоспособности и параметров зрительно-моторной координации. Результаты исследования продемонстрировали, что умственная работа вызывает ухудшение субъективного самочувствия и активности, а любой тип отдыха восстанавливает их до исходного уровня. Дневной сон оказывается предпочтительнее бодрствования как разновидности отдыха, поскольку обеспечивает поддержание самочувствия и активности на высоком уровне в ходе последующей работы.

Дальнейшее развитие данной методики будет способствовать разработке бесконтактной системы мониторинга состояния оператора и определению индивидуальных характеристик динамики развития утомления при работе за компьютером, а также определению оптимальной стратегии восстановления работоспособности при развивающемся умственном утомлении.

Ключевые слова: дневной сон, умственное утомление, движения глаз, видеотрекинг глаз, работоспособность.

Введение

В современной жизни все большую роль играют умственный труд и сложная, ответственная операторская работа, требующая постоянной сосредоточенности. Продолжительное выполнение такой работы приводит к развитию состояния утомления. И хотя до сих пор четкого определения понятия «утомление» не сформулировано, именно этим термином в общем случае исследователи описывают состояние сниженной работоспособности и потребности в отдыхе, развивающееся в ходе трудовой деятельности. В данном тематическом контексте используются самые различные и часто релятивные определения утомления. Однако все эти определения объединяет общее понимание того факта, что «утомление – это гипотетическая концепция, которая связывает ряд факторов, которые служат причиной развития усталости, вызывающей нарушения безопасности де-

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РГНФ, проект №12-36-01296а2.

тельности» (Williamson et al., 2011). На развитие утомления влияет множество факторов, включая время суток, количество часов сна в предыдущие сутки, продолжительность бодрствования и самой деятельности, сложность выполняемых задач, специфику выполняемой работы, соотношение трудозатрат и ожидаемого результата, мотивацию (Boksem, Tops, 2008; Williamson et al., 2011; Дорохов, 2013). Утомление может вести к нарушению функций внимания, нарушению реагирования на внешние стимулы и росту числа ошибок, неоптимальному отслеживанию собственной эффективности (Boksem et al., 2005; Lorist et al., 2005). Монотонность задания и необходимость постоянно удерживать высокий уровень внимания являются особенно опасными факторами развития нарушений продуктивности работы (Kato et al., 2009; Williamson et al., 2011). При этом следует отличать ухудшение параметров деятельности, вызванное «перегрузкой» в случае сложного задания и «недостаточной нагрузкой» в случае достаточно простого и монотонного задания. Однообразное и скучное задание, субъективно невоспринимаемое как сложное, может само по себе вызывать состояние монотонии, сопровождающееся ухудшением функций внимания и сонливостью (Pattyn et al., 2008).

Множество работ посвящено исследованию утомления водителей автотранспорта, поскольку сонливость и утомление за рулем являются одними из ключевых факторов аварийности (MacLean et al., 2003; Powell, Chau, 2011; Williamson et al., 2011). Поиск биологических маркеров сонливости ведется во многих научно-практических направлениях, среди которых наибольший интерес представляют бесконтактные методы, и, в частности, метод видеотрекинга по показателям глазодвигательной активности, не требующие крепления датчиков на теле испытуемого. Для определения степени сонливости и общего утомления довольно эффективными оказались такие параметры движений глаз, как частота моргания, длительное закрывание глаз и появление сверхдлинных фиксации взгляда – более 900 мс (Schleicher et al., 2008).

Менее изучено умственное утомление при выполнении непрерывной, требующей интенсивного внимания когнитивной деятельности, когда развитие сонливости недопустимо, а развитие монотонии подавляется сосредоточением на выполнении заданий. Показано, что умственное утомление приводит к ухудшению функций произвольного внимания, замедляет дискриминацию стимулов и увеличивает время реакции. Кроме того, умственное утомление ухудшает способность субъективного восприятия своих ошибок и в целом нарушает работу систем реагирования на стимулы (Boksem et al., 2005; Kato et al., 2009; Tassi et al., 2006; Wolfgang, 1999).

Утомление и движения глаз

Когнитивную нагрузку и степень умственного утомления невозможно измерить напрямую, в связи с чем возникает задача не прямой оценки данных параметров с помощью так или иначе связанных с ними косвенных показателей. Таким образом стали популярными электроэнцефалографические (ЭЭГ) методики, которые позволяют выделить характерные для утомления изменения мозговой активности (Boksem et al., 2005; Kato et al., 2009; Lorist et al., 2005; Trejo et al., 2007; Wolfgang, 1999).

Современный бесконтактный метод видеотрекинга с помощью специальных камер, работающих в инфракрасном диапазоне, позволяет с большей точностью регистрировать многие показатели движений глаз и фиксации взгляда (Di Stasi et al., 2011 a; Di Stasi et al., 2011 b; Schleicher et al., 2008, Hofer-Tinguely et al., 2005).



Результаты тематических экспериментальных исследований показали, что такой параметр движений глаз, как пиковая скорость саккад, может отражать степень когнитивной нагрузки (Di Stasi et al., 2011a), однако для регистрации этого параметра нужны требующие полной фиксации головы высокочастотные видеотрекеры.

Помимо регистрации движений глаз современная аппаратная техника позволяет отслеживать с высокой точностью движения «мышь», с которой работает сидящий за компьютером оператор, а также предоставляет возможности для сопоставления этих движений с другими параметрами деятельности и анализа их скоординированности. Ранее нами было показано, что анализ зрительно-моторной координации (движений глаз и руки оператора) может быть основой создания бесконтактного метода экспресс-диагностики критических уровней сонливости, развивающихся при выполнении монотонного задания (Дорохов и др., 2011). Данная методика развивает уже намеченный исследовательский подход и предназначается для выявления коррелятов умственного утомления в продуктивности и параметрах движений глаз и руки оператора. Кроме того, предлагаемая методическая схема позволяет исследовать влияние дневного сна на эти параметры, их динамику в ходе развития умственного утомления и восстановление после отдыха.

Дневной сон как метод восстановления работоспособности

Способность кратковременного дневного сна восстанавливать работоспособность была показана во множестве исследований. Многие профессионалы, особенно работающие посменно, используют кратковременный сон как метод борьбы с сонливостью.

К кратковременному сну обычно относят значительно более короткие, чем основной за сутки, периоды сна; такой сон может длиться от нескольких минут до нескольких часов. Однако в обычной жизни люди в течение дня спят, как правило, около 30–90 минут (Lovato et al., 2010). Дневной сон сравним (или даже превосходит по своей эффективности) с другими мерами предотвращения развития сонливости и снижения эффективности работоспособности. Данные многочисленных исследований кратковременного сна и его длительности свидетельствуют о том, что кроме собственно длительности на эффективность дневного сна влияет большое количество факторов, в том числе время сна относительно циркадного ритма. Пик дневной сонливости приходится на период с 13:00–16:00 часов (Hayashi et al., 1999a; Hayashi et al., 1999b). Кратковременный сон (5–15 минут) дает практически незамедлительный эффект, длящийся максимум 3 часа, сон длительностью более 30 минут оказывает более продолжительное воздействие, однако проявляется оно через некоторое время после пробуждения (Driskell, Mullen, 2005; Lovato et al., 2010).

Положительные эффекты сна не всегда проявляются сразу после пробуждения. Если период сна был достаточно длительным (например, 2 часа), то проснувшийся человек испытывает выраженное состояние инерции сна: сонливость, временную дезориентацию и/или снижение работоспособности. Однако инерция сна экспоненциально ослабевает со временем, а положительные эффекты более длительного сна сохраняются в течение более продолжительного периода времени (Achermann et al., 1995; Driskell, Mullen, 2005; Jewett et al., 1999). Кроме того, выраженность негативных эффектов инерции сна зависит от предыдущего ночного сна. Так, было показано, что в случае нормального по длительности ночного сна (8 часов) влияние инерции дневного сна на параметры ЭЭГ и эффективность выполнения тестов ограничено по сравнению с ситуацией де-

привации сна (2 часа) (Tassi et al., 2006). Поэтому достаточно продолжительный дневной сон является эффективной мерой длительного восстановления работоспособности, особенно при его приуроченности к послеобеденному времени, при условии нормального ночного сна.

Методика

В экспериментах участвовали 15 добровольцев обоего пола (6 женщин, 9 мужчин) в возрасте 18–28 лет, правши, способные читать крупный шрифт с экрана компьютера без очков и не страдающие выраженной дневной сонливостью. Для контроля дневной сонливости использовалась шкала сонливости Эпворта (Epworth Sleepiness Scale) (Johns, 1991). Перед участием в эксперименте проводился опрос, касающийся предпочтительного времени отхода ко сну и пробуждения, для отсева ярко выраженных «жаворонков» и «сов». Испытуемых просили приходить на опыты в 11:00, проспав накануне нормальное для буднего дня время. Перед началом и в течение опыта они не пили содержащих кофеин напитков.

Для достижения умственного утомления применялся психофизиологический тест, требующий исключительно когнитивной работы и зрительного поиска ответов. В качестве основного задания были выбраны арифметические примеры, являющиеся по своей сути когнитивными задачами, навыком решения которых изначально владеют все испытуемые (для минимизации эффектов обучения) и выполнение которых требует постоянной сосредоточенности. При выполнении подобной задачи испытуемый может быстро выйти на максимальный для себя темп решения, который впоследствии будет изменяться в соответствии с изменением состояния испытуемого.

В ходе опытов испытуемые должны были решать арифметические примеры, демонстрируемые на экране компьютера, и выбирать правильный вариант ответа из двух предложенных. Их инструктировали работать как можно быстрее и точнее и всегда полностью решать предложенный пример, не пытаясь угадать ответ. В каждом опыте испытуемые выполняли задание в ходе двух рабочих сессий, разделенных полуторачасовым перерывом. Каждый из них принимал участие в двух опытах: основном (со сном во время перерыва) и контрольном (без сна). Порядок экспериментов для разных испытуемых менялся. Интервал между опытами составлял неделю.

Программа для моделирования умственного утомления оператора

Примеры состояли из четырех различных случайных двузначных чисел, между которыми в произвольном порядке стояли два знака «+» и один «-». Примеры выводились черным шрифтом на сером фоне экрана монитора с разрешением 1280 на 1024 пикселя. Пример располагался в рамке размером 300 на 100 пикселей в центре экрана. Испытуемый должен был как можно быстрее найти решение примера и щелкнуть курсором «мыши» в пределах рамки. После этого справа и слева от примера появлялись варианты ответа в рамках (140 на 100 пикселей). Правильный ответ был не меньше 30, неправильный отличался от правильного не более, чем на 15. Испытуемый должен был как можно быстрее найти правильный ответ, перевести на него курсор и щелкнуть кнопкой «мыши». После щелчка по любому из ответов экран пустел. Испытуемый должен был вернуть курсор «мыши» в исходное положение в центре экрана (рис. 1). Через 3 секунды предъявлялся следующий пример.

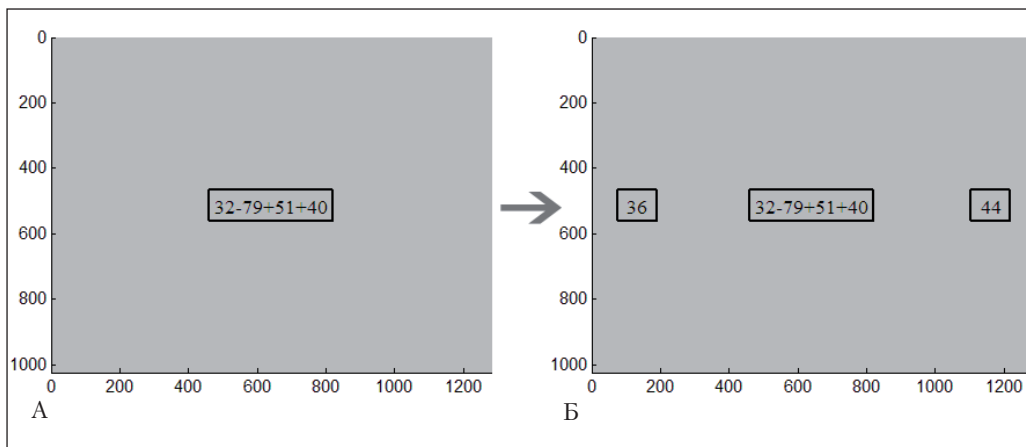


Рис 1. Экспериментальное задание. На осях отмечены координаты монитора по X и Y. А – предъявляемый пример, Б – предъявляемые после щелчка курсором «мыши» ответы

Подобная схема предъявления ответов позволяла испытуемому не отводить глаз от монитора на протяжении всей рабочей сессии. Примеры, рамки и ответы были выведены черным шрифтом на сером фоне. Яркость освещения в экспериментальной камере составляла 500 люкс.

Выполнение такого рода заданий должно вызывать умственное утомление при достаточно продолжительной работе (1 час и более). Задание адаптировано из работы EEG-Based Estimation of Mental Fatigue: Convergent Evidence for a Three-State Model (Trejo et al., 2007).

Для предъявления и выполнения заданий использовалась специальная компьютерная программа, которая также проводила каждые 15 мс регистрацию координат курсора «мыши», состояние левой кнопки «мыши» (нажата/не нажата), вариантов предъявляемого испытуемому стимульного материала (пример, пример с ответами, пустой экран). Примеры и ответы загружались из отдельного файла, созданного с помощью программы Matlab 7.1. Всего было четыре набора примеров и ответов, по одному на рабочую сессию. Для всех испытуемых наборы были одинаковы, но предъявлялись в разном порядке.

Схема эксперимента

При первом посещении лаборатории испытуемый заполнял шкалу сонливости Эпворта (Epworth Sleepiness Scale) для оценки общей дневной сонливости перед началом первой рабочей сессии. Кроме того, перед началом и по окончании каждой рабочей сессии испытуемые заполняли опросник САН (субъективная оценка текущего самочувствия, активности и настроения). После заполнения опросников испытуемый выполнял задание в течение первой рабочей сессии. Затем он обедал и отдыхал. В основном опыте во время отдыха испытуемого на 60 минут укладывали спать в темную звукоизолированную комнату. В контрольном опыте испытуемый это же время спокойно бодрствовал. Между пробуждением и началом второй рабочей сессии был разрыв в 15 минут для устранения эффектов инерции сна. Всего перерыв длился 90 минут. После отдыха началась вторая рабочая сессия, необходимая для проверки восстановления работоспособности.

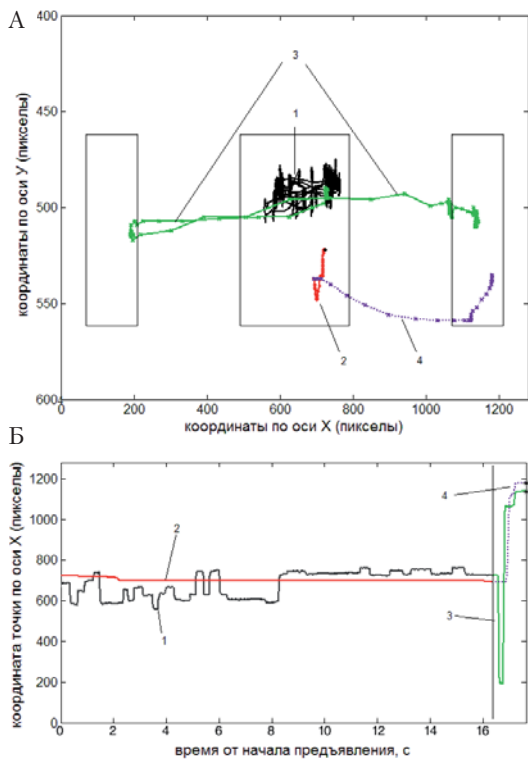


Рис. 2: А – траектории движения зрения и курсора «мыши» испытуемого при решении одного примера. Правильный ответ располагается справа. По осям – координаты точек в пикселях (на графике пропорции экрана не соблюдены). Черные прямоугольники – рамки, в которых предъявлялись пример и ответы. Интервал между маркерами – 15 мс; Б – временная развертка горизонтальной компоненты движений глаз и «мыши» в ходе решения одного примера. Крайние левые координаты – внизу графика, крайние правые – вверху. Вертикальной пунктирной чертой отмечен момент щелчка по примеру; 1 – движения зрения в ходе вычисления решения примера, 2 – движения «мыши» в ходе вычисления решения примера, 3 – движения зрения в ходе поиска ответа, 4 – движения «мыши» в ходе поиска ответа

Для отработки методики были проведены две серии экспериментов, отличающиеся длительностью выполнения задания и его сложностью. В списки примеров для второй серии входили только примеры, в первой серии отнимавшие у испытуемых более 6 секунд на решение. В первой серии первая рабочая сессия длилась 60 минут, вторая – 30. Во второй серии первая сессия длилась 90 минут, вторая – 40. Также для увеличения мотивации к решению задания во второй серии испытуемые в перерыве между примерами видели в центре экрана зеленый прямоугольник – если выбранный ответ был правильным, и красный – если неправильным.

Все время работы происходила регистрация ЭЭГ в шести отведениях (F3, F4, C3, C4, O1, O2), электрокардиограммы (ЭКГ) и электроокулограммы (ЭОГ) испытуемых с помощью программы LEONARDO BRAINMAP, а также регистрация движений глаз и динамики направления зрения. Для регистрации движений глаз использовалась система видеотреккинга Eyegaze Analysis System (программа NYAN 2.0), основанная на отражении инфракрасного излучения от роговицы глаза, с временным разрешением 120 Гц. Задачи предъявлялись на ЖК-мониторе с диагональю 19 дюймов и разрешением 1280 на 1024 пикселя, находящемся на расстоянии 57–60 см от глаз испытуемого (горизонтальный угол обзора около 32°, вертикальный – около 25°). Во время сна записывалась полисомнограмма (ПСГ): ЭЭГ в шести отведениях, электромиограмма подбородочных мышц, ЭОГ и ЭКГ.

Возможности методики

Разработанная методика позволяет анализировать широкий спектр психофизиологических параметров: движения глаз, параметры движений руки, зрительно-моторную координацию и время решения задачи.

К параметрам глазодвигательной активности, динамику которых можно исследовать при предъявлении описываемого теста, относятся: длительность фиксаций зрения в ходе



решения примеров и при поиске ответов, скорость, форма и длина саккад при поиске ответа (рис. 2, траектории 1 и 3). Возможна оценка точности саккадических движений: насколько точно саккада переводит взор на объект и, в частности, на высвеченные на экране ответы. На рис. 2 видны множественные фиксации взора в области примера в ходе его решения и два саккадических движения: от примера к ответу слева и от ответа слева к ответу справа.

В ходе эксперимента регистрируются движения «мыши», что позволяет оценивать точность движений руки: длину траектории, пройденной «мышкой» при переводе ее на рамку с ответом, скорость движения, затраченное на движение время. Описание траектории и характеристик движений «мыши» может дать информацию о контроле над движениями в условиях работы на скорость (рис. 2, траектории 2 и 4).

Возможен и анализ координации между движением взора и руки испытуемого, основным параметром которой может служить задержка между зрительным обнаружением правильного ответа и началом движения руки к нему или щелчком по ответу (рис. 2, траектории 3 и 4).

Временные характеристики работы в данной методике измеряются по времени, затраченному и на решение каждого примера, и на поиск ответа; кроме того, методика позволяет производить регистрацию ошибочных решений и случаев пересчета примера после появления ответов. На рис. 2 время решения задачи – 16,44 с, время поиска ответа – 1,28 с (выбрано правильное решение).

Дизайн эксперимента обеспечивает регистрацию ЭЭГ при выполнении тестов и во время сна, что позволяет отслеживать динамику изменений в электрофизиологических параметрах ЭЭГ – активности мозга, а также исследовать структуру сна у утомленных испытуемых.

Целью работы было исследование физиологических и поведенческих характеристик умственного утомления и проведение сравнительного анализа дневного сна и спокойного бодрствования как методов восстановления работоспособности. Для выполнения этой задачи был разработан психомоторный тест, позволяющий моделировать интенсивную и постоянную умственную нагрузку и регистрировать широкий спектр психофизиологических показателей. Кроме того, дизайн эксперимента позволяет провести сравнительный анализ эффективности дневного сна и спокойного бодрствования для восстановления работоспособности.

Результаты

Все 15 испытуемых в основном эксперименте во время отдыха засыпали и достигали 2-й стадии сна, у девяти испытуемых была также зарегистрирована и более глубокая, 3-я стадия сна. Парадоксальный (быстрый, REM) сон не отмечался, поскольку выделенное для сна время было недостаточно продолжительным для прохождения полного цикла сна (около 90 минут). Четверо испытуемых просыпались до конца периода сна, остальные были разбужены через 60 минут после получения инструкции «закройте глаза и постарайтесь уснуть». Среднее время сна составило $41 \pm 3,4$ минуты (табл. 1). При этом связи между наблюдаемой структурой сна и описанными испытуемыми привычками к дневному сну не наблюдалось. Типичные полисомнограммы сна представлены на рис. 3.

Таблица 1. Параметры дневного сна испытуемых; в скобках указаны минимальные и максимальные значения

Параметры сна	Длительность, мин
Длительность засыпания	12,6±2,2 (1,5–33)
Общее время сна	41,0±3,4 (19,5–54,5)
1 стадия	5,9±1,1 (1,5–15,5)
2 стадия	26,6±2,2 (14,5–39,5)
3 стадия	8,57±2,6 (0–30)

В экспериментах первой серии участвовали четверо испытуемых. В экспериментах усложненной, второй серии – 11 испытуемых. Поскольку общая динамика продуктивности и изменения субъективных параметров в сериях оказались сходны, результаты серий были объединены.

Результаты диагностики изменений субъективных показателей по опроснику САН свидетельствуют в пользу влияния самого экспериментального задания и дневного сна на: 1 – самочувствие и 2 – уровень активности. Оценки настроения не изменялись на протяжении прохождения испытаний. Такой результат подтвердил отсутствие эмоционального компонента во всех исследуемых состояниях: состоянии работоспособности при решении задания, состоянии утомления и состоянии отдыха. Оценки всех параметров по этому опроснику могут колебаться в пределах 1–7 баллов.

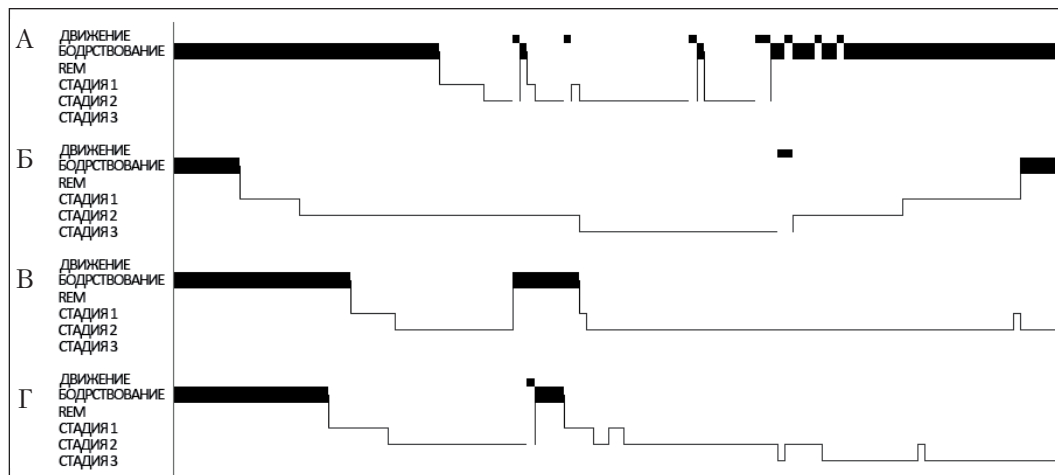


Рис. 3. Структура дневного сна четырех испытуемых (полисомнограммы). Длительность всех записей – 1 час. REM – парадоксальный (быстрый) сон, А – кратковременный сон, доходящий до 2-й стадии, со спонтанными пробуждениями, Б – сон, доходящий до 3-й стадии, со спонтанными пробуждениями во второй трети сна и в конце, В – сон, разделенный периодом бодрствования, доходящий до 2-й стадии: испытуемый разбуден, Г – сон, разделенный периодом бодрствования, доходящий до 3-й стадии: испытуемый разбуден



Показатели самочувствия значимо снижались в ходе первой рабочей сессии (с $5,22 \pm 0,92$ до $4,42 \pm 1,06$ в опыте со сном, с $5,2 \pm 0,9$ до $4,35 \pm 0,88$ в опыте без сна, критерий Вилкоксона, $p < 0,05$). Отдых обоих типов приводил к значимому по сравнению с концом первой сессии восстановлению параметров до исходных значений ($5,19 \pm 0,82$ в опыте со сном, $5,01 \pm 0,75$ в опыте без сна). После окончания второй рабочей сессии в основном и контрольном опытах параметры самочувствия продемонстрировали различную динамику. В случае, если испытуемый во время отдыха бодрствовал, показатели самочувствия значимо снижались (с $5,01 \pm 0,75$ до $4,44 \pm 0,74$, $p < 0,05$), если спал – практически не изменялись по сравнению с измерением сразу после отдыха ($5,29 \pm 0,86$). Показатели самочувствия в опыте со сном были значимо выше, чем в опыте с бодрствованием и находились на уровне исходных значений.

Показатели активности отличались совершенно сходной динамикой, однако в количественном отношении не достигли уровня статистической значимости: между ними не было обнаружено статически значимых различий в основном и контрольном опытах в первых трех измерениях, но было обнаружено расхождение в показателях активности в опытах со сном как вариантом отдыха и в опытах простого бодрствования в качестве отдыха при измерении их после второй рабочей сессии (рис. 4).

Таким образом, результаты анализа полученных данных позволяют сделать следующие выводы: продолжительная умственная работа в первой сессии снижала субъективные показатели активности и самочувствия, перерыв в деятельности восстанавливал их до исходных значений. Однако только дневной сон способствовал дальнейшему сохранению этих параметров на высоком уровне в ходе второй рабочей сессии. Простое бодрствование в качестве отдыха не препятствовало повторному развитию утомления.

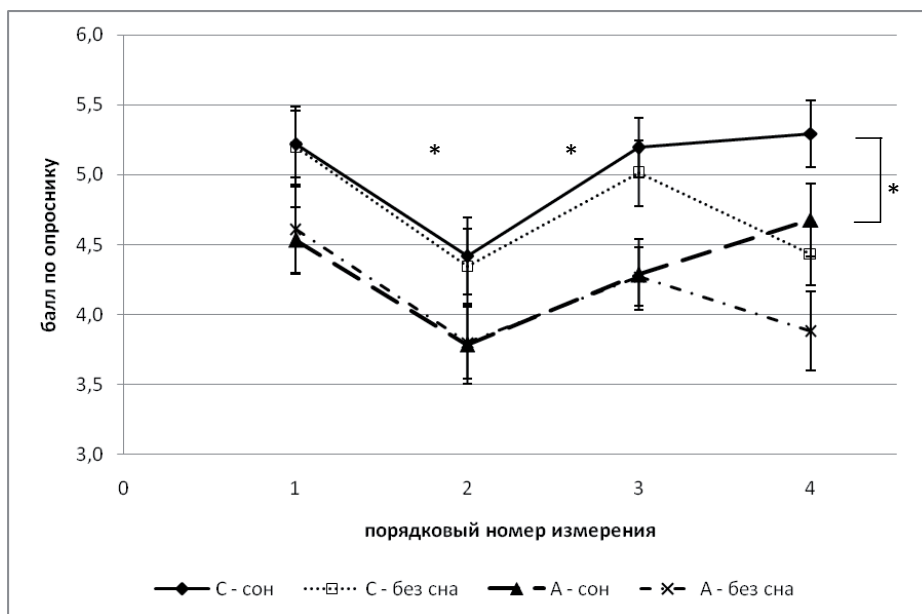


Рис. 4. Показатели самочувствия (С) и активности (А) по опроснику САН в ходе экспериментов со сном и спокойным бодрствованием. Звездочкой отмечены достоверные изменения (критерий Вилкоксона, $p < 0,05$)

Обработка записей движений глаз велась с помощью программы Matlab 7.1. Проводилась синхронизация записей движений глаз и записей состояний испытуемых при работе в программе предъявления задания. Показатели фиксаций взгляда оказались нечувствительны к изменению состояния оператора. Средняя длительность и распределение длительностей фиксаций не менялись в ходе эксперимента (см. рис. 2); доля длительных (более 1 секунды) фиксаций также не нарастала в ходе рабочей сессии, хотя в более раннем исследовании характеристик работоспособности и утомления у водителей было продемонстрировано нарастание количества сверхдлинных фиксаций с ростом утомления (Schleicher et al., 2008).

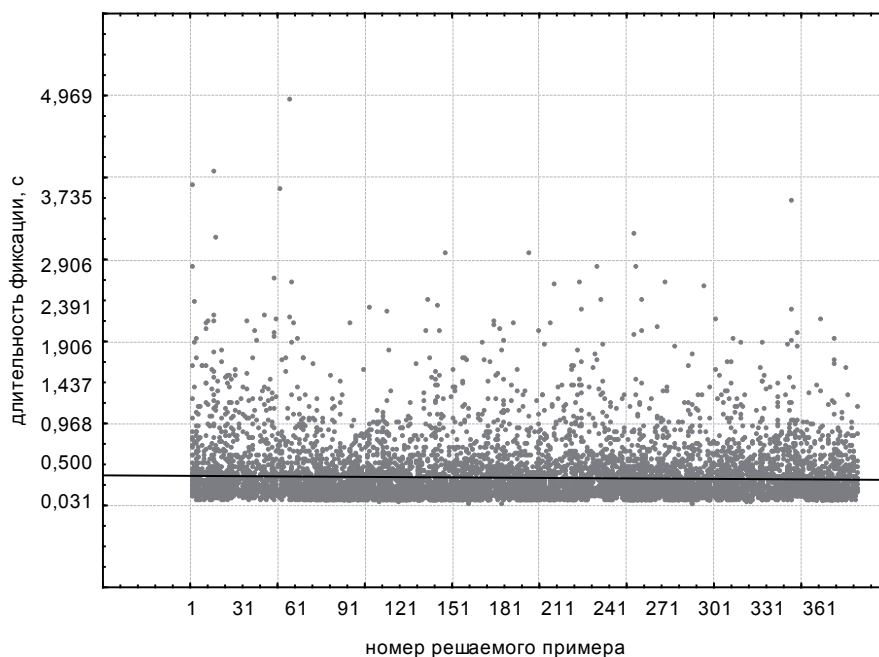


Рис. 5. Распределение длительности фиксаций в ходе первой рабочей сессии для одного испытуемого

В ходе первой рабочей сессии в обеих сериях экспериментов испытуемые успешно справлялись с заданием, демонстрируя сходную динамику в обоих экспериментах и не показывая заметной тенденции к снижению темпа решения задач и поиска ответа. В ходе второй рабочей сессии некоторые испытуемые продемонстрировали тенденцию к ухудшению скорости решения примеров в эксперименте простого бодрствования как варианта отдыха и стабильную работу в эксперименте со сном как вариантом отдыха (рис. 5). Однако тенденция не была ярко выражена. При этом количество ошибок и пересчетов оставалось стабильно низким для всех сессий. Остальные испытуемые показали схожую динамику работы во второй рабочей сессии в обоих экспериментах. Видимо, несмотря на изменения в субъективно воспринимаемом состоянии, испытуемые не выходили за пределы фазы устойчивой компенсации эффектов утомления (Бодров, 2009).

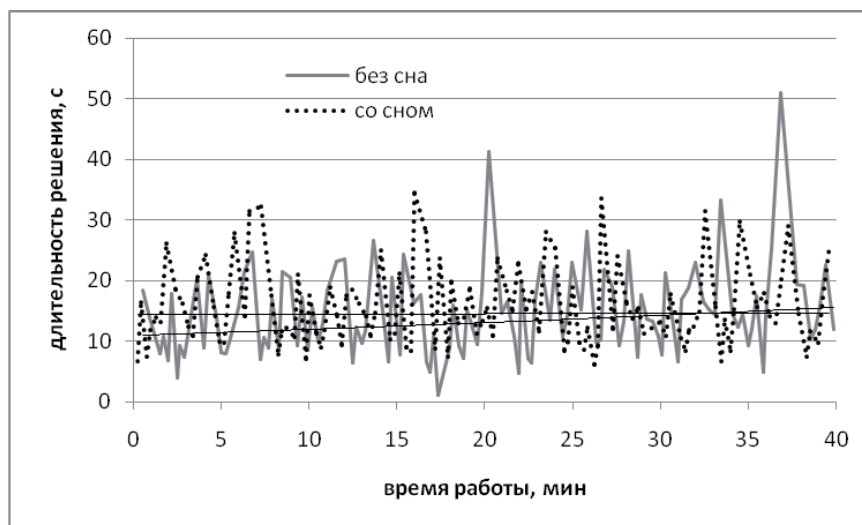


Рис. 6. Динамика работы во второй рабочей сессии в опытах со сном и без сна для одного испытуемого

Выводы

Разработанная методика позволяет моделировать развитие когнитивного утомления при одновременной регистрации движений глаз и рук и исследовать изменения скорости работы, параметры глазодвигательной активности испытуемых. Развитие методики позволит исследовать изменение координации между движениями глаз и рук испытуемых.

Испытуемые успешно компенсируют непрерывную когнитивную нагрузку длительностью до 90 минут, но развивающееся утомление негативно сказывается на уровне субъективного самочувствия и активности. Регистрируемые показатели длительности фиксации взгляда оказались нечувствительными к развивающемуся утомлению, что ставит вопрос о дальнейшем поиске и разработке точных способов определения коррелятов как состояния работоспособности, так и состояния утомления.

Дневной сон и спокойное бодрствование сразу после отдыха одинаково хорошо влияют на субъективное самочувствие и активность, но только дневной сон обладает выраженным продолженным эффектом и поддерживает эти параметры на прежнем уровне в ходе дальнейшей умственной работы.

Литература

- Бодров В.А. Профессиональное утомление. М.: Наука, 2009.
- Дорохов В.Б. Сомнология и безопасность профессиональной деятельности // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2013. Т. 63. № 1 (в печати).
- Дорохов В.Б., Арсеньев Г.Н., Захарченко Д.В., Лаврова Т.П., Ткаченко О.Н., Дементюенко В.В. Психомоторный тест для исследования зрительно-моторной координации при выполнении монотонной деятельности по прослеживанию цели // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2011. Т. 61. № 4. С. 1–9.
- Achermann P., Werth E., Dijk D., Borbely A. Time course of sleep inertia after nighttime and daytime sleep episodes // Arch Ital Biol. 1995. V. 134. № 1. P. 109–119.
- Boksem M. A. S., Meijman T. F., Lorist M. M. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study // Cognitive Brain Research. 2005. V. 25. № 1. P. 107–116.

- Boksem M. A. S., Tops M.* Mental fatigue: Costs and benefits // *Brain Research Reviews*. 2008. V. 59. № 1. P. 125–139.
- Di Stasi L.L., Antoli A., Canas J.J.* Main sequence: an index for detecting mental workload variation in complex tasks // *Appl Ergon*. 2011 a. V. 42. № 6. P. 807–813.
- Di Stasi L.L., Antoli A., Cañas J.J.* Evaluating mental workload while interacting with computer-generated artificial environments // *Entertainment Computing*. 2011 b. DOI: 10.1016/j.entcom.2011.03.005.
- Driskell J.E., Mullen B.* The Efficacy of Naps as a Fatigue Countermeasure: A Meta-Analytic Integration // *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 2005. V. 47. № 2. P. 360–377.
- Hayashi M., Ito S., Hori T.* The effects of a 20-min nap at noon on sleepiness, performance and EEG activity // *International Journal of Psychophysiology*. 1999 a. V. 32. № 2. P. 173–180.
- Hayashi M., Watanabe M., Hori T.* The effects of a 20 min nap in the mid-afternoon on mood, performance and EEG activity // *Clinical Neurophysiology*. 1999 b. V. 110. № 2. P. 272–279.
- Hofer-Tinguely G., Achermann P., Landolt H.-P., Regel S.J., Rétey J.V., Dürri R., Borbély A.A., Gottselig J.M.* Sleep inertia: performance changes after sleep, rest and active waking // *Cognitive Brain Research*. 2005. V. 22. № 3. P. 323–331.
- Jewett M., Wyatt J., Ritz-De Cecco A., Khalsa S., Dijk D., Czeisler C.* Time course of sleep inertia dissipation in human performance and alertness // *J Sleep Res*. 1999. V. 8. № 1. P. 1–8.
- Johns M.* A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale // *Sleep*. 1991. V. 14. № 6. P. 540–545.
- Kato Y., Endo H., Kizuka T.* Mental fatigue and impaired response processes: event-related brain potentials in a Go/NoGo task // *International Journal of Psychophysiology*. 2009. V. 72. № 2. P. 204–211.
- Lorist M.M., Boksem M.A.S., Ridderinkhof K.R.* Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue // *Cognitive Brain Research*. 2005. V. 24. № 2. P. 199–205.
- Lovato N., Lack L.* The effects of napping on cognitive functioning // *Progress in Brain Research*. 2010. V. 185. P. 155–166.
- MacLean A.W., Davies D.R.T., Thiele K.* The hazards and prevention of driving while sleepy // *Sleep Medicine Reviews*. 2003. V. 7. № 6. P. 507–521.
- Pattyn N., Neyt X., Henderickx D., Soetens E.* Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? // *Physiology & Behavior*. 2008. V. 93. № 1-2. P. 369–378.
- Powell N.B., Chau J.K.M.* Sleepy Driving // *Sleep Medicine Clinics*. 2011. V. 6. № 1. P. 117–124.
- Schleicher R., Galley N., Briest S., Galley L.* Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? // *Ergonomics*. 2008. V. 51. № 7. P. 982–1010.
- Tassi P., Bonnefond A., Engasser O., Hoefl A., Eschenlauer R., Muzet A.* EEG spectral power and cognitive performance during sleep inertia: The effect of normal sleep duration and partial sleep deprivation // *Physiology & Behavior*. 2006. V. 87. № 1. P. 177–184.
- Trejo L., Knuth K., Prado R., Rosipal R., Kubitz K., Kochavi R., Matthews B., Zhang Y.* EEG-Based Estimation of Mental Fatigue: Convergent Evidence for a Three-State Model // *Foundations of Augmented Cognition* / Eds. D. Schmorow, L. Reeves. Springer Berlin; Heidelberg. 2007. P. 201–211.
- Williamson A., Lombardi D. A., Folkard S., Stutts J., Courtney T. K., Connor J. L.* The link between fatigue and safety // *Accident Analysis & Prevention*. 2011. V. 43. № 2. P. 498–515.
- Wolfgang K.* EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain Research Reviews*. 1999. V. 29. № 2-3. P. 169–195.



EXPERIMENTAL MODEL AIMED TO STUDY MENTAL FATIGUE AND ADAPTIVE FUNCTION OF A DAYTIME NAP FOR RESTORATION OF OPERATIONAL CAPABILITY

PUCHKOVA A. N., Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, RAS, Moscow

TKACHENKO O. N., Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, RAS, Moscow

DOROKHOV V. B., Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, RAS, Moscow

The problem of operational capability decreased by fatigue is becoming more and more important. To study this psychophysiological phenomenon we have developed a psychomotor test which models the development of mental fatigue in computer operator. Our subjects had to solve arithmetical sums as precisely and as quickly as possible during two working sessions separated by 90-minute rest period. The method allows to track eye-movements of a working subject and to compare the influence of daytime nap and calm wakefulness on the recuperation of operational capability and visual-motor coordination.

The results of the study show that mental work causes deterioration of subjective well-being and activity, and any type of rest restores them to the initial level. Daytime nap is more preferable in comparison with the waking state as a kind of rest, because it ensures the maintenance of well-being and activity at a high level in the course of further work.

Further development of this method will contribute to the development of contactless operator's state monitoring system. It will also help to determine individual characteristics of fatigue development while working at the computer and to determine an optimal strategy of operational capability restoration in case of mental fatigue.

Keywords: daytime sleep, nap, mental fatigue, eye-movements, eye-tracking, operational capability.

Transliteration of the Russian references

Bodrov V.A. Professional'noe utomlenie. M.: Nauka, 2009.

Dorohov V.B. Somnologija i bezopasnost' professional'noj dejatel'nosti // Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti im. I. P. Pavlova. 2013. T. 63. № 1 (v pechati).

Dorohov V.B., Arsen'ev G.N., Zaharchenko D. V., Lacrova T.P., Tkachenko O.N., Dementienko V. V. Psihomotornyj test dlja issledovanija zritel'no-motornoj koordinacii pri vypolnenii monotonnoj dejatel'nosti po proslezhivaniju celi // Zhurnal vysshej nervnoj dejatel'nosti im. I.P. Pavlova. 2011. T. 61. № 4. S. 1–9.