

В. М. Петрукович¹, А. О. Иванов², М. В. Зотов¹, С. И. Федоров¹

ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИИ НА УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ОПЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СТРАТЕГИЯМИ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Институт специальной педагогики и психологии им. Р. Валленберга, Российская Федерация, 194356, Санкт-Петербург, ул. Большая Озерная, 92

Испытуемые мужского пола выполняли интенсивную умственную деятельность по переработке пространственной и вербальной информации: в нормальных условиях газовой среды в течение 4–6 минут дыхания гипоксической газовой смесью и в течение 12–14 минут гипоксической нагрузки. В данных условиях у всех обследованных лиц наблюдалось прогрессирующее снижение работоспособности. При этом в начале гипоксической нагрузки ухудшение работоспособности характеризовалось возрастанием времени принятия решений, а в конце гипоксической нагрузки достоверно возросло количество ошибок. Установлено, что при воздействии гипоксической нагрузки снижение показателей работоспособности было достоверно меньшим у испытуемых с «комплексной» стратегией переработки информации по сравнению с лицами, использовавшими «вербальную» стратегию. Результаты исследования свидетельствуют, что когнитивные стратегии, связанные с большим количеством функциональных звеньев в системе переработки информации, являются менее эффективными при воздействии гипоксии. Библиогр. 14 назв. Рис. 2.

Ключевые слова: умственная работоспособность, оперативная память, когнитивная деятельность, гипоксия.

HYPOXIA INFLUENCE ON THE MENTAL WORKING CAPACITY OF OPERATORS WHO USED DIFFERENT STRATEGIES OF INFORMATION PROCESSING IN A WORKING MEMORY SYSTEM

V. M. Petrukovich¹, A. O. Ivanov², M. V. Zotov¹, S. I. Fedorov¹

¹ St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Institute of Special Pedagogy and Psychology named after R. Wallenberg, 92, ul. Bol'shaya Ozernaya, St. Petersburg, 194356, Russian Federation

Male participants were asked to carry out intensive mental activity inclusive spatial and verbal information processing: (1) in normal gas environment conditions, (2) during 4–6 minutes of hypoxic gas mixture inhalation (oxygen content in the inhaled air was 12%) and (3) during 12–14 minutes of hypoxic load. A progressive decrease of working capacity was found in these conditions. Moreover, working capacity decrease was characterized by time increasing at the beginning of the hypoxic load, and also wrong answers number having increased at the end of the hypoxic load. The study shows that in case of hypoxic factor influence, working capacity indices decreasing was significantly less among participants who used “complex” strategy of information processing as compared with individuals who used the “verbal” strategy. The study results reveals that cognitive strategies inclusive increasing number of functional links in a system of information processing are less effective in hypoxic hypoxia conditions. Refs 14. Figs 2.

Keywords: hypoxia, mental working capacity, working memory, cognitive performance, information processing.

Введение

В последние десятилетия отмечается прогрессирующий рост значения роли операторского труда в различных областях человеческой деятельности. Бурно развивающаяся автоматизация производства не уменьшает значения человеческого

участия в управлении технологическими процессами, поэтому вопросы, связанные с исследованием проблемы умственной работоспособности в различных условиях профессиональной деятельности, сохраняют свою актуальность.

В многочисленных исследованиях, посвященных изучению профессиональной деятельности человека, подчеркивается роль оперативной памяти [1]. Отмечается, что в общей системе умственной деятельности оперативная память является ключевым и наиболее чувствительным компонентом, определяющим эффективность профессиональной деятельности, сопровождающейся интенсивной умственной нагрузкой, как в нормальных условиях, так и при воздействии экстремальных факторов. Тем не менее изучению механизмов функционирования оперативной (рабочей) памяти не уделяется должного внимания. Большинство авторов при оценке функционального состояния и умственной работоспособности человека в различных условиях деятельности (гипоксии, утомляющей нагрузки, нагревающего или охлаждающего микроклимата и т. д.) ограничиваются определением объема кратковременной памяти, продуктивности счета в уме с переключением, успешности выполнения теста Шульте—Горбова и других тестовых проб, требующих кратковременного запоминания и воспроизведения достаточно однородной информации. При установлении фактов ухудшения функционирования памяти при различных нагрузочных пробах чаще всего просто декларируется наличие сложных отношений когнитивных процессов в системе сохранения и переработки информации. При этом, как правило, не делается попыток к выявлению внутренних факторов и особенностей функционирования системы оперативной памяти и определению их влияния на эффективность деятельности в процессе формирования и развития всевозможных состояний, том числе такого функционального состояния, как умственное утомление.

Согласно современным представлениям о функциональной организации оперативной памяти, переработка информации человеком осуществляется с участием двух относительно самостоятельных, функционально связанных между собой подсистем. Одна подсистема ответственна за временное хранение пространственной информации, вторая имеет отношение к вербальной информации [2–5]. В различных видах деятельности в зависимости от превалирования того или иного типа информации указанные подсистемы несут разную нагрузку. Есть основание считать, что доминирование той или иной подсистемы, так же как и межполушарная и функциональная асимметрия, является врожденным свойством, которое в процессе индивидуального развития подвергается определенным трансформациям. Не исключено, что данная интеллектуальная особенность является значимым фактором в успешности освоения различных видов профессиональной деятельности. В ряде исследований показано, что в работе определенных специалистов операторского профиля (летчиков, авиационных штурманов, авиационных и поездных диспетчеров, ряда военных специалистов), когда принятие решения связано с интенсивной переработкой пространственной и вербальной информации, эффективность работы значительно снижается (особенно в стрессорных ситуациях), если в процессе выработки решения пространственная и вербальная информация нерационально распределяется в соответствующих подсистемах ее временного хранения [6; 7].

В исследованиях, проведенных с использованием тестовой модели «Маршрут» [4; 5], установлено, что при решении задач, включающих связанные условием за-

дания элементы пространственной и цифровой (вербальной) информации, при выработке решений операторы различаются по способу переработки информации. Одна группа операторов осуществляет выработку решений путем удержания цифровой и пространственной информации в виде целостного образа. Этот способ переработки пространственной и вербальной информации условно обозначен как «комплексная» стратегия. Лица второй группы склонны переводить в вербальную форму (в слова и цифры) поступающую пространственную информацию с последующим привлечением ранее воспринятой цифровой информации для выработки решения («вербальная» стратегия). Указанные способы — это, по сути, различные психологические механизмы переработки пространственной и вербальной информации, хотя направлены они на достижение одного и того же результата. Установление различных механизмов переработки пространственной и вербальной информации, связанной условием задачи, вызвало интерес к изучению влияния этого фактора на умственную работоспособность.

В ряде экспериментальных исследований было установлено, что при выполнении тестовых заданий, предусматривающих интенсивную переработку пространственной и цифровой информации, лица, склонные к вербализации пространственных стимулов, менее успешно справлялись с тестовой нагрузкой по сравнению с испытуемыми, применявшими «комплексную» стратегию. Выяснилось, что последняя (по величине индекса напряжения Баевского) оказалась менее энергозатратной [4; 5]. Обнаружено также, что при интенсивной нагрузке операторы с «комплексной» стратегией оказываются более устойчивыми к развитию умственного утомления [8]. Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод о том, что организация переработки информации по вербальному типу предполагает больше этапов (действий) при выработке решения, что связано с включением большего количества нейронных структур (тропных к молекулярным макроэргическим соединениям типа АТФ), вовлекаемых в формирование и функционирование когнитивной системы деятельности.

В связи с вышесказанным можно предположить, что энергетический дефицит в клетках головного мозга, искусственно созданный путем снижения содержания кислорода во вдыхаемом воздухе (условия гипоксической гипоксии) в неодинаковой степени будет сказываться на умственной работоспособности операторов, применяющих различные способы переработки пространственной и вербальной информации. Чем больше функциональных элементов в системе переработки пространственной и вербальной информации, тем она будет менее эффективной в условиях действия гипоксической гипоксии. Подтверждение этой гипотезы и явилось основной **целью** исследования.

Материалы и методы

По результатам предварительного тестирования по методике «Маршрут» были сформированы 2 группы испытуемых в возрасте 21–23 лет из числа курсантов военного учебного заведения.

При выполнении тестового задания «Маршрут» испытуемым необходимо было последовательно воспринимать и запоминать: 1) пространственную информацию в виде 3-сегментной стрелки, каждый сегмент которой ориентирован

на одну из трех координатных осей трехмерного пространства, и 2) цифровую информацию, соотношенную со структурой стрелки. Далее следовало в уме проводить вычислительные действия (сложения и вычитания) с удерживаемыми в памяти числами в зависимости от структуры предъявленной стрелки. Подробное описание методики «Маршрут» дано в наших предыдущих работах [5, 8].

В первую группу ($n = 22$) вошли курсанты, которые во время пробного тестирования при выполнении тестового задания «Маршрут» запоминали пространственный стимул в виде целостного образа («комплексная» стратегия). Вторую группу ($n = 20$) составили лица, которые во время предъявления пространственного стимула преобразовывали ее в вербальную форму («вербальная» стратегия).

До начала экспериментального обследования, с целью достижения высокого уровня успешности выполнения тестового задания, обе группы испытуемых прошли курс тренировки в нормальных условиях газовой среды. После курса тренировки каждый испытуемый, допущенный к эксперименту, при решении 10 задач теста «Маршрут» допускал не более одной ошибки, а среднее время принятия решения составляло не более 3 секунд. Таким образом, до начала эксперимента испытуемыми обеих групп был достигнут одинаковый уровень успешности выполнения задания.

Экспериментальное обследование курсантов состояло из 3 этапов: 1-й этап — за 30 минут до гипоксического воздействия, 2-й этап — в течение 4–6 минут дыхания гипоксической смесью, 3-й этап — в течение 12–14 минут действия гипоксии. На каждом этапе испытуемые выполняли тестовое задание из 20 задач. Время для принятия решения в каждой задаче было ограничено 12 секундами. Успешность выполнения тестового задания «Маршрут» оценивалось: а) по среднему времени, затрачиваемому на принятие решения при выполнении одной из задач в секундах, и б) по количеству допущенных ошибок.

В целях безопасности и соблюдения чистоты эксперимента (исключение влияния на успешность выполнения тестового задания «Маршрут» резких нарушений регуляции деятельности системы кровообращения в процессе тестирования при гипоксическом воздействии) осуществлялась регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС), а также систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД).

Гипоксическое воздействие осуществлялось с помощью дыхания гипоксической газовой смесью с использованием аппарата ГКП 10-1000 (Российская Федерация). В качестве тестирующих гипоксических нагрузок использовались 15-минутные пробы с содержанием кислорода в гипоксической газовой смеси 12%, что примерно соответствует высоте 4000 м над уровнем моря.

Результаты и их обсуждение

Перед представлением результатов проведенного эксперимента, непосредственно связанных с целью исследования, необходимо отметить, что в процессе гипоксической нагрузки у испытуемых обеих групп не было выявлено признаков резких нарушений в системе кровообращения, свидетельствующих о плохой переносимости умеренной гипоксической гипоксии. ЧСС не увеличивалась более чем на 20 ударов в минуту по сравнению с исходными данными. САД не поднималось

выше значений, характерных для обычной физиологической реакции на снижение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе до 12%. Не отмечалось также снижения ЧСС, САД и ДАД по сравнению с исходными значениями.

Результаты успешности выполнения тестового задания «Маршрут» на этапах обследования представлены на рис. 1, 2.

На диаграммах, отражающих динамику среднего времени принятия решения (см. рис. 1) и количество ошибочных решений (см. рис. 2), видно, что до гипоксического воздействия (1-й этап обследования) испытуемые обеих групп показали одинаковый и достаточно высокий уровень успешности выполнения теста. Среднее значение времени принятия решения испытуемыми 1-й и 2-й групп составляло $2,7 \pm 0,47$ с и $2,8 \pm 0,49$ с, а количество ошибочных решений — $3,0 \pm 0,46$ и $3,2 \pm 0,48$ соответственно.

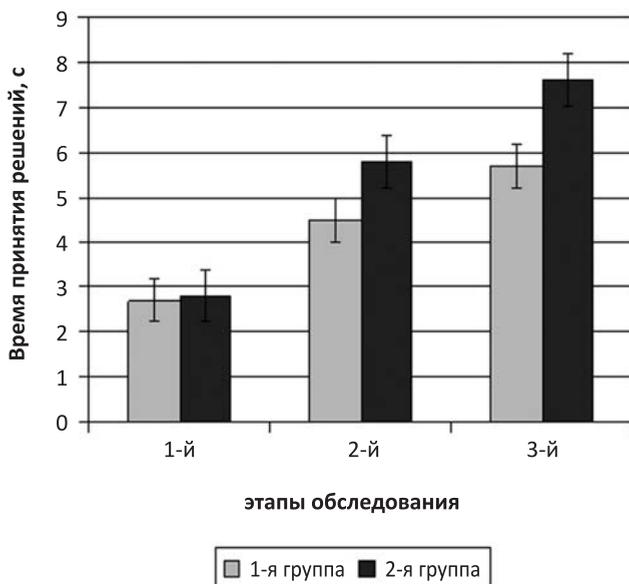


Рис. 1. Динамика показателей времени принятия решения, затрачиваемого испытуемыми при решении одной задачи, на разных этапах обследования (1-й этап — до гипоксической нагрузки, 2-й этап — на 4–6-й минутах гипоксического воздействия, 3-й этап — на 10–12-й минутах гипоксического воздействия).

На 4–6-й минутах гипоксической нагрузки у испытуемых обеих групп время принятия решений достоверно ($p < 0,01$ и $p < 0,001$) увеличивается, достигая значений $4,5 \pm 0,48$ с у испытуемых 1-й группы и $5,8 \pm 0,49$ с — у испытуемых 2-й группы (см. рис. 1). При этом на данном этапе кислородного голодания курсанты, применяющие «комплексную» стратегию (1-я группа), достоверно быстрее принимали решение по сравнению с курсантами, использовавшими «вербальную» стратегию. С увеличением продолжительности действия гипоксии (12–15 минут) показатель времени принятия решения обнаруживает достоверный рост у испытуемых обеих групп. Так, время принятия решения на 3-м этапе обследования, по сравнению

с 1-м этапом, у испытуемых 1-й группы увеличивается в 2,1 раза, а у испытуемых 2-й группы — в 2,7 раза, что свидетельствует о более значительном снижении работоспособности у испытуемых 2-й группы.

При анализе показателей допущенных ошибок выявляется несколько иная динамика (см. рис. 2).

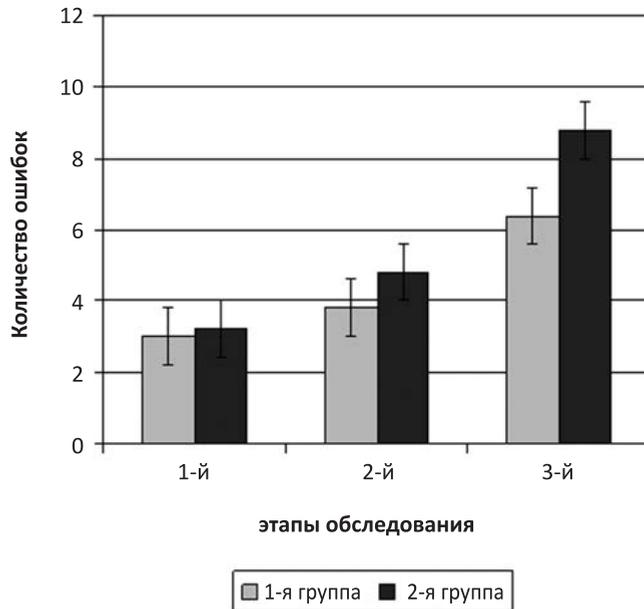


Рис. 2. Количество ошибок, совершенных испытуемыми при выполнении тестового задания «Маршрут», до и во время воздействия гипоксической нагрузки (1-й этап — до гипоксической нагрузки, 2-й этап — на 4–6-й минутах гипоксического воздействия, 3-й этап — на 10–12-й минутах гипоксического воздействия).

После 4-й минуты дыхания гипоксической газовой смесью (2-й этап обследования) обнаруживается только тенденция к увеличению количества ошибок в 1-й группе и достоверное увеличение количества ошибок у испытуемых 2-й группы ($p < 0,05$). На 3-м этапе, по сравнению со вторым этапом, в 1-й группе отмечается возрастание количества ошибок в 1,7 раза, во 2-й группе — в 2 раза. А по сравнению с тестированием в условиях нормальной газовой среды (1-й этап обследования) на 3-м этапе обследования количество ошибок возрастает в 1-й группе в 2,1 раза, а во 2-й группе — в 2,8 раза. Испытуемые 2-й группы на 12–15-й минутах дыхания гипоксической смесью почти в 40% принимаемых решений совершали ошибки.

Таким образом, снижение работоспособности за счет показателя ошибочных решений у испытуемых обеих групп наблюдается на более позднем этапе действия гипоксической гипоксии. Это можно объяснить тем, что при возникновении энергетического дефицита при кислородном голодании в первую очередь происходит пропорциональное замедление нейродинамических процессов в нейронных об-

разованиях (конstellациях), включенных в систему переработки информации. В начале действия гипоксии данная система как бы переходит в замедленный режим функционирования, сохраняя при этом межнейронные связи, тем самым обеспечивая достаточно высокий уровень качества работы. Так на 2–4-й минутах гипоксического воздействия у испытуемых 1-й группы не отмечается достоверного увеличения количества ошибок, а у испытуемых 2-й группы наблюдается лишь их незначительный рост. Дальнейшее увеличение энергетического дефицита за счет гипоксии ведет к нарушению межнейронных взаимодействий, вследствие чего значительно повышается количество ошибок, а в результате прогрессирующего дефицита макроэргов (АТФ) и усиливающегося внутреннего торможения еще больше увеличивается время принятия решения. Таким образом, система переработки информации при увеличении продолжительности гипоксической нагрузки все чаще начинает давать сбой.

Однако, как показано на рис. 1 и 2, выясняется, что ухудшение этих показателей менее выражено у испытуемых 1-й группы по сравнению с курсантами, склонными к вербализации пространственных стимулов. Данные микроструктурного психологического анализа умственной деятельности при выполнении задания «Маршрут» испытуемыми 1-й и 2-й групп показывают, что организация переработки информации по типу «вербальной» стратегии предполагает больше действий при выработке решения в сравнении с «комплексной» стратегией [5, 8]. В этом случае система переработки информации имеет больше звеньев и, следовательно, включает большее количество нейронных структур, вовлеченных в эту систему. Известно, что нервные образования головного мозга характеризуются особенно высокой чувствительностью к энергетическому дефициту, который неизбежно возникает при недостатке кислорода. Поэтому чем больше функциональных элементов включает система переработки информации, тем менее эффективной она оказывается в условиях действия гипоксии.

Общеизвестно, что префронтальные зоны коры головного мозга играют первостепенную роль в формировании программ действий и выработке решений [9; 10]. Имеются данные о наиболее высокой чувствительности этих зон к воздействию гипоксического фактора [10; 11]. Результаты исследования биоэлектрической активности коры головного мозга в условиях нормобарической гипоксической гипоксии с использованием метода электроэнцефалографии свидетельствуют, что уменьшение содержания кислорода во вдыхаемом воздухе до 11–12% сопровождается снижением амплитуды генерируемой корой головного мозга альфа-ритма [12; 13]. Установлено, что указанные изменения альфа-ритма наиболее характерны для префронтальных зон коры головного мозга. То есть тех зон, функция которых в наибольшей степени определяют выработку решений в процессе переработки информации. Это значит, что результаты умственной деятельности, в большей мере связанной с функцией префронтальных зон, будут в большей степени ухудшаться при энергетическом дефиците, возникающем в условиях кислородного голодания. Учитывая результаты микроструктурного психологического анализа умственных действий, совершаемых при выполнении тестового задания «Маршрут», можно полагать, что у испытуемых, использующих «вербальную» стратегию (по сравнению с 1-й группой испытуемых), в большей степени задействованы когнитивные процессы, связанные с функцией префронтальных зон коры (например, процесс пере-

вода пространственной информации в вербальную форму с последующим проведением вычислительных действий). Вполне возможно, что это может быть дополнительным основанием для объяснения причины более выраженного снижения работоспособности у испытуемых 2-й группы в условиях кислородного голодания.

В дополнение к вышесказанному следует отметить, что при сопоставлении динамики показателей успешности выполнения задания «Маршрут» операторами при действии гипоксического фактора с динамикой этих же показателей, полученных при воздействии фактора умственного утомления, выявляются принципиальные совпадения в изменениях показателей времени принятия решения и количества ошибок. Во время тестирования в условиях кислородного голодания снижение работоспособности, как и при развитии утомления, начинается с уменьшения скорости принятия решения [8]. Дальнейшее снижение уровня работоспособности в обоих экспериментах в большей степени определяется увеличением количества ошибок. При этом испытуемые, применявшие «комплексную» стратегию переработки информации, оказываются более устойчивым как к развитию утомления, так и к воздействию гипоксического фактора. Эти данные позволяют говорить о близости психофизиологических механизмов развития умственного утомления и механизмов снижения работоспособности в условиях острой гипоксической гипоксии. Действительно, как в случае гипоксического воздействия [1, 14], так и при утомляющей нагрузке [1] происходит прогрессирующее снижение ресурсов макроэргических соединений — прежде всего АТФ, как универсального источника энергии в различных тканях, включая нервную. Кроме того, в обоих случаях процесс нарастания энергетического дефицита сопровождается сначала ухудшением скоростных показателей умственной деятельности (увеличение времени принятия решения), а затем более серьезными нарушениями функциональной системы деятельности — нарастанием ошибок. Наконец, межиндивидуальные различия в уровне работоспособности, выявленные как в процессе действия гипоксии, так и по ходу утомляющей нагрузки, связаны со способом переработки пространственной и вербальной информации. Из этого следует, что функциональная система оперативной памяти, являясь узловым компонентом общей когнитивной архитектуры, очень чутко реагирует на возникающий как при гипоксии, так и при утомляющей нагрузке недостаток энергетических ресурсов. При этом, чем больше нейронных структур вовлечено в систему переработки информации, тем быстрее и сильнее будут проявляться объективные признаки снижения умственной работоспособности. То есть при организации переработки пространственной и вербальной информации, предполагающей больше звеньев (действий), а следовательно, более сложно организованный путь к получению необходимого результата, гипоксия, как и утомляющая когнитивная нагрузка, оказывает более выраженный негативный эффект на умственную работоспособность.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что в условиях гипоксической гипоксии (содержание кислорода во вдыхаемом воздухе 12%) у испытуемых, выполнявших умственную деятельность по переработке пространственной и вербальной информации, наблюдалось прогрессирующее снижение работоспо-

способности. В начале гипоксической нагрузки ухудшение работоспособности характеризовалось снижением скоростных показателей деятельности (уменьшалось время принятия решения), а в конце гипоксического воздействия также значительно возрастало количество допускаемых ошибок. На наш взгляд, это, вероятнее всего, обусловлено энергетическим дефицитом, возникающим при кислородном голодании. В первую очередь происходит пропорциональное замедление нейродинамических процессов в нейронных образованиях (конstellляциях), включенных с системе переработки информации. Эта система в начале действия гипоксии переходит как бы в замедленный режим функционирования, сохраняя при этом межнейронные связи, тем самым обеспечивая достаточно высокий уровень качества работы, сопоставимый с уровнем, наблюдавшимся в нормальных условиях. Дальнейшее увеличение энергетического дефицита за счет гипоксии ведет к нарушению межнейронных взаимодействий, вследствие чего значительно повышается количество ошибок, а в результате прогрессирующего дефицита макроэргов (АТФ) и усиливающегося внутреннего торможения еще больше увеличивается время принятия решения. Таким образом, система переработки информации при увеличении продолжительности гипоксической нагрузки все чаще начинает давать сбой.

Установлено, что у испытуемых, применявших «комплексную» стратегию переработки информации, по сравнению с группой лиц, склонных к переводу пространственной информации в вербальную форму («вербальная» стратегия), снижение показателей работоспособности в условиях гипоксии имело менее выраженный характер. Это объясняется тем, что по сравнению с «комплексной» «вербальная» стратегия предполагает большее количество звеньев системы переработки информации и, следовательно, включает большее количество структур коры головного мозга, характеризующихся низкой толерантностью к недостатку кислорода и возникающему при этом дефициту энергии.

При сравнительном анализе изменений показателей работоспособности испытуемых в условиях воздействия факторов гипоксии и умственного утомления выявлено, что эти изменения имеют схожий характер. Установлено, что при действии утомляющей нагрузки проявления утомления начинаются с увеличения времени принятия решения. На более поздних этапах развития утомления все больший вес приобретает ухудшение качества умственной деятельности — прогрессивно увеличивается количество ошибок. При этом испытуемые, организующие переработку пространственной и вербальной информации в оперативной памяти по типу «комплексной» стратегии, оказывались более устойчивыми к развитию умственного утомления. Результаты данного анализа косвенно указывают, что в механизме снижения работоспособности в процессе развития умственного утомления ключевую роль играют нарушения в нейронных структурах, обеспечивающих работу оперативной памяти. Эти нарушения связаны с нарастающей недостаточностью энергетических ресурсов, возникающей в процессе интенсивной умственной деятельности. Степень указанных нарушений зависит от организации переработки информации в системе оперативной памяти. При способах переработки пространственной и вербальной информации, предполагающих больше звеньев (действий), а следовательно, более сложный путь к получению необходимого результата, гипоксия, как и утомляющая когнитивная нагрузка, оказывает более выраженный негативный эффект на показатели умственной работоспособности.

Литература

1. Бодров В. А. Профессиональное утомление: Фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. 560 с.
2. Baddeley A. D. The episodic buffer: A new component of working memory? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2000. N 4. P. 417–423.
3. Ericsson K. A., Kintsch W. Long-Term Working Memory // *Psychological Review*. 1995. Vol. 105. P. 211–245.
4. Petrukovich V. M., Zotov M. V. The Functional Organization of Operative Memory in Activity of the Human-Operator // 44 International Applied Military Psychology Symposium. Saint-Petersburg: [W.p.]. 2008. P. 55–57.
5. Петрукович В. М., Апчел В. Я. Функциональная организация оперативной памяти специалистов-операторов // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2010. № 3 (31). С. 115–119.
6. Петрукович В. М. Методика оценки способности авиационного штурмана оперировать цифровой информацией в структуре пространственного образа // *Вестник Балтийской педагогической академии*. 2000. Вып. 34. С. 83–90.
7. Журавлева О. П. Стрессоустойчивость и способность к оперированию информацией в структуре профессионально важных качеств поездных диспетчеров, обеспечивающих безопасность движения: автореф. дис. ... канд. психол. наук. СПб., 2005. 21 с.
8. Петрукович В. М., Зотов В. М. Влияние организации процесса переработки информации на развитие умственного утомления операторов // *Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 12*. 2013. Вып. 4. С. 10–16.
9. Шостак В. И., Лытаев С. А. Физиология психической деятельности: учебное пособие по психофизиологии. СПб.: «Издательство Деан», 1999. 128 с.
10. Stuss D. N., Knight R. T. Principles of frontal lobe function. Oxford: Oxford University Press, 2002. 630 p.
11. Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior / Duncan J., Emslie H., Williams P., Johnson R., Freer C. // *Cognitive Psychology*. 1996. N 30. P. 257–303.
12. Qin Y., Ma R. S., Ni H. Y. Locating the impairment of human cognitive function during hypoxia // *Space Med. Med. Eng.* 2010. Vol. 14, N 3. P. 218–220.
13. Шатов Д. В., Иванов А. О., Болиев О. Э., Беляев В. Ф. Биоэлектрическая активность головного мозга человека при острой гипоксической гипоксии // *Материалы XII Российской научно-практической конференции с международным участием «Обмен веществ при адаптации и повреждении»*. Ростов н/Д.: ГБОУ ВПО РостГМУ, 2014. С. 110–113.
14. Авиационная медицина: руководство для врачей / под ред. Н. М. Рудного, П. В. Васильева, С. А. Газулова. М.: Медицина, 1986. 580 с.

References

1. Bodrov V. A. *Professional'noe utomlenie: Fundamental'nye i prikladnye problemy* [Professional fatigue: fundamental and applied problems]. Moscow, Russian Academy of Sciences Institute of Psychology Publ., 2009. 560 p. (In Russian)
2. Baddeley A. D. The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 2000, issue 4, pp. 417–423.
3. Ericsson K. A., Kintsch W. Long-Term Working Memory. *Psychological Review*, 1995, vol. 105, pp. 211–245.
4. Petrukovich V. M., Zotov M. V. The Functional Organization of Operative Memory in Activity of the Human-Operator. *44 International Applied Military Psychology Symposium*. St. Petersburg, 2008, pp. 55–57.
5. Petrukovich V. M., Apchel V. Yu. Funktsional'naiia organizatsiia operativnoi pamiatii spetsialistov-operatorov [Functional organization of memory specialist operators]. *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Vestnik of the Russian Academy of Military Medicine], 2010, issue 3, vol. 31. pp. 115–119. (In Russian)
6. Petrukovich V. M. Metodika otsenki sposobnosti aviatsionnogo shturmana operirovat' tsifrovuiu informatsiiu v strukture prostranstvennogo obraza [Methods of assessing of the ability of the aviation navigator to operate the digital information in the spatial image structure]. *Vestnik Baltiiskoi pedagogicheskoi akademii* [Vestnik of Baltic Pedagogical Academy], 2000, issue 34, pp. 83–90. (In Russian)

7. Zhuravlev O. P. *Stressoustoichivost' i sposobnost' k operirovaniuu informatsiei v strukture professional'no vazhnykh kachestv poezdnykh dispatcherov, obespechivaiushchikh bezopasnost' dvizheniia*. Avtoref. diss. kand. psikhol. nauk [Stress resistance and the ability to use information in the structure of professionally important qualities of train dispatchers providing traffic safety. Thesis of cand. psychol. sci. diss.]. St. Petersburg, 2005. 21 p. (In Russian)
8. Petrukovich V. M., Zotov V. M. Vliianie organizatsii protsessa pererabotki informatsii na razvitie umstvennogo utomleniia operatorov [Influence of organization of the process of information-processing on the development of the mental fatigue of operators]. *Vestn. St. Peterb. un-ta. Ser. 12 [Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 12]*, 2013, issue 4, pp. 10–16. (In Russian)
9. Shostak V. I., Lytaev S. A. *Fiziologiia psikhicheskoi deiatel'nosti: uchebnoe posobie po psikhofiziologii [Physiology of mental activity: Textbook of Psychophysiology]*. St. Petersburg, Publisher Dean, 1999. 128 p. (In Russian)
10. Stuss D. N., Knight R. T. *Principles of frontal lobe function*. Oxford, Oxford University Press, 2002. 630 p.
11. Duncan J., Emslie H., Williams P., Johnson R., Freer C. Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 1996, vol. 30, pp. 257–303.
12. Qin Y., Ma R. S., Ni H. Y. Locating the impairment of human cognitive function during hypoxia. *Space Med. Med. Eng.*, 2010, vol. 14, issue 3, pp. 218–220.
13. Satov D. V., Ivanov A. O., Boliev O. E., Belyaev V. F. [Bioelectrical activity of the human brain in acute hypoxic hypoxia]. *Materialy XII Rossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Obmen veshchestv pri adaptatsii i povrezhdenii" [Proceedings XII Russian scientific and practical conference with international participation "Exchange of substances in adapting and damage"]*. Rostov-on-Don, Rostov State Medical University Medical University Publ., 2014, pp. 110–113. (In Russian)
14. *Aviatsionnaia meditsina: rukovodstvo dlia vrachei [Aviation Medicine: A Guide for Physicians]*. Eds. N. M. Rudniy, P. V. Vasileva, S. A. Gazulov. Moscow, Medicine Publ., 1986. 580 p. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 21 мая 2015 г.

Контактная информация

Петрукович Владимир Михайлович — кандидат медицинских наук, доцент;
petrukovich_vm@mail.ru

Иванов Андрей Олегович — доктор медицинских наук, профессор; ivanoff65@mail.ru

Зотов Михаил Владимирович — доктор психологических наук, профессор; mvzotov@mail.ru

Федоров Сергей Игоревич — кандидат физико-математических наук, доцент; s.i.fedorov@spbu.ru

Petrukovich Vladimir M. — Candidate of Medicine, Associate Professor; petrukovich_vm@mail.ru

Ivanov Andrey O. — Doctor of Medicine, Professor; ivanoff65@mail.ru

Zotov Mikhail V. — Doctor of Psychology, Professor; mvzotov@mail.ru

Fedorov Sergey I. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
s.i.fedorov@spbu.ru