

Министерство спорта Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СПОРТА «ГЦОЛИФК»
(РУС «ГЦОЛИФК»)

**ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ
НА УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ**

Методические рекомендации

Москва 2023

УДК 77.05.03

ББК 75.7

Авторы:

Р.В. Тамбовцева, заведующая лабораторией НИИ СиСМ РУС «ГЦОЛИФК»,
д-р биол. наук, профессор

Влияние гипоксических состояний на умственную работоспособность /
Р.В. Тамбовцева. – М. : РУС «ГЦОЛИФК», 2023. – 29 с.

Представленные методические рекомендации сформированы на основе анализа источников литературы отечественных и зарубежных авторов, а также экспериментальных данных по теме исследования: «Научное обоснование способов повышения аэробной и анаэробной производительности и умственной работоспособности спортсменов при воздействии гипоксического стимула», выполненной в соответствии с Государственным заданием №777-00029-23-00 ПР на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов Федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК» (РУС «ГЦОЛИФК»).

Методические рекомендации актуальны для тренеров и специалистов, научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов спортивных вузов.

© Коллектив авторов, 2023

© РУС «ГЦОЛИФК», 2023

© Министерство спорта РФ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ	6
ЭФФЕКТЫ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ И ВЛИЯНИЕ НА НАПРАВЛЕННОСТЬ МОТОРНОЙ АСИММЕТРИИ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ	7
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	24
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	26

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящих методических рекомендациях применяют следующие сокращения и обозначения:

НН	– нормобарическая гипоксия
O ₂	– кислород
SO ₂	– сатурация крови кислородом
АПК	– аппаратно-программный комплекс
АТФ	– аденозинтрифосфат
АДФ	– аденозиндифосфат
АМФ	– аденозинмонофосфат
АФК	– активные формы кислорода
Б1-Б2	– разность биохимических показателей до первичного выполнения умственной работы и после
Б2-Б3	– разность биохимических показателей после первичного выполнения умственной работы и после гипоксии
Б3-Б4	– разность биохимических показателей после гипоксии и повторного выполнения умственной работы
ВРВ	– время реакции выбора
ВРЗ	– время реакции на звук
ВРС	– время реакции на свет
КГ	– контрольная группа
КрФ	– креатинфосфат
КТС	– кислородтранспортная система
КЧРМ	– критическая частота различения мельканий
КЧСМ	– критическая частота слияния мельканий
П	– правый
Л	– левый
С	– симметрия
ОтМО	– отмеривание отрезков

ОУ	– оценивание углов
ОцО	– оценивание отрезков
СМ	– спектральная мощность
СР	– сенсомоторные реакции
СС	– спортивная специализация
ССС	– сердечно-сосудистая система
T1	– показатель, полученный в исходном тестировании;
T2	– показатель, полученный при повторном тестировании
ТТ	– теппинг-тест
ТТ1-6	– десятисекундный интервал в теппинг-тесте
УР	– умственная работоспособность
УУ	– узнавание углов
ЦНС	– центральная нервная система
ЭГ	– экспериментальная группа
ЭЭГ	– электроэнцефалография
ЧСС	– частота сердечных сокращений

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе в спорте высших достижений гипоксическая тренировка, как эргогеническое средство используется достаточно широко. Однако, также известно, что длительное гипоксическое воздействие на организм человека оказывает негативное влияние, ухудшая работу органов и систем органов, при котором происходят значимые изменения именно в энергообмене. При гипоксическом воздействии возникает в первую очередь эргоз клеточной системы. Из-за дефицита энергии у спортсменов физическая деятельность и результативность резко снижается и возникает утомление. Между тем, в научной литературе имеется много исследований, которые показывают, что сочетание рабочей гипоксии с кратким воздействием нормобарической гипоксии, улучшают адаптационные механизмы, связанные с нагрузками разного характера в условиях кислородной недостаточности, тем самым, повышая КПД различной физической работы, и констатируется в данном случае ее эффективность. Но, к сожалению, не обращают внимание на умственную работоспособность, которая является неотъемлемой частью физической деятельности и связана с переработкой информации, способностью к восприятию, принятию решений и действий в данный момент времени или в течении длительного периода. В научной литературе накоплено много информации об отрицательном влиянии кислородной недостаточности на головной мозг и на умственную работоспособность. Однако, в тренировочном процессе этот фактор не учитывается. Поэтому целью нашего научного наблюдения явилось изучение влияния нормобарической гипоксии на умственную работоспособность и возможность ее использования, как эргогенического средства.

ЭФФЕКТЫ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ И ВЛИЯНИЕ НА НАПРАВЛЕННОСТЬ МОТОРНОЙ АСИММЕТРИИ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ

Умственная работоспособность человека связана со способностью человека воспринимать и перерабатывать большой объем информации в определенный промежуток времени [1]. Известно, что чувствительность к кислородной недостаточности у разных органов неодинаковая и больше всего считается, что от гипоксии страдает нервная система [2]. При воздействии гипоксии у человека в первые минуты возникает двигательное и эмоциональное перевозбуждение, однако в дальнейшем длительное гипоксическое воздействие оказывает негативное влияние на работу центральной нервной системы и появляется заторможенность, адинамия, абulia и возможна потеря сознания [4]. Влияние гипоксии на нейроны головного мозга, на клетки мышечной ткани и клетки других органов, связано, в первую очередь, со снижением парциального давления кислорода, снижением окислительного фосфорилирования в митохондриях и снижением интенсивности субстратного окисления. Происходит первичный эффект острой кислородной недостаточности в клетках, связанный с уменьшением ресинтеза АТФ каждой митохондрией, что приводит к нарушениям многих функциональных систем [3, 4].

Интересующая нас проблема, связана с психофизиологией памяти, внимания, и обучения. Для изучения процессов внимания нами использовались корректурная проба с оценкой концентрации и устойчивости, таблица Шульте для отыскивания чисел. Оценка индивидуальных особенностей различных реакций играет важнейшую роль в изучении психофизиологического компонента умственной работоспособности спортсменов. Время реакций на различные раздражения, к коим относятся сенсорная модальность, интенсивность раздражителя, межимпульсные

интервалы, сенсорное качество сигнала и другие, могут быть применены в качестве зависимой переменной от экзогенных факторов и также единица различий по свойствам нервной системы, полу, возрасту, профессиональным навыкам и качествам.

Оценивая положительные и отрицательные эффекты гипоксии на показатели умственной работоспособности, связанные с оценкой и узнаванием предъявляемых стимулов у спортсменов контрольной и экспериментальной групп разных спортивных специализаций, нами были выявлены межгрупповые различия с достаточно большим диапазоном индивидуальных различий, что может быть связано непосредственно со спортивной специализацией. Оценивая межгрупповые выборки контрольной и экспериментальной групп спортсменов с использованием метода Манна-Уитни, выявлено, что у медианных величин по разности параметров исходного и заключительного тестирования нет достоверных различий, но при сравнении величин Q_1 и Q_3 выявляются принципиальные различия при повторном тестировании этих же групп. В КГ спортсменов при повторном тестировании выявляется либо положительная динамика, либо отсутствие изменений в динамике. В ЭГ спортсменов выявляются как положительные, так и отрицательные варианты динамики изменений параметров. Отмечено, что положительная динамика по показателю Q_3 наиболее выражена у спортсменов ЭГ, чем у спортсменов КГ. Чтобы правильно проанализировать вариативность негативных и положительных факторов в оценке и узнавания предъявляемых стимулов под действием нормобарической гипоксии, мы провели факторный анализ параметров исходного и заключительного тестирования по критерию принадлежности испытуемых к определенной группе СС с применением одностороннего дисперсионного анализа Краскала-Уолиса, с помощью которого были выявлены некоторые особенности динамики умственной работы, связанные, с принадлежностью в определенному виду СС. Использование для связанных выборок непараметрического критерия Вилкоксона, дали возможность увидеть достаточно выраженные

специфические изменения по показателям умственной работоспособности спортсменов разных СС. Например, спортсмены специализирующиеся в плавании, смешанных единоборствах, тяжелой атлетике по параметру УУСДО после воздействия нормобарической гипоксии имеют достоверные различия. Позитивная динамика данной величины более характерна для спортсменов-пловцов, спортсменов-танцоров, стрелков, тяжелоатлетов и единоборцев, между тем, как совокупность как негативных, так и позитивных эффектов по параметру узнавания угловой скорости движения более характерна для спортсменов, занимающихся ударными единоборствами, киберспортом и борьбой. Позитивный эффект в тесте оценивания отрезков более характерен для танцоров, а у спортсменов других специализаций, гипоксия оказывает как положительный, так и отрицательный эффекты. У стрелков, спортсменов-борцов и тяжелоатлетов при выполнении тестов отмеривания отрезков и оценка углов выявляются положительное влияние гипоксии, но у остальных спортсменов гипоксия оказывает смешанное влияние на умственную работоспособность. В тесте узнавания углов для всех обследованных групп спортсменов выявлено положительное влияние гипоксии, кроме спортсменов, специализирующихся в киберспорте и спортсменов-борцов, характеризующиеся смешанным вариантом эффектов НГ.

При рассмотрении динамических изменений у спортсменов КГ и ЭГ, занимающихся стендовой стрельбой, характерна такая же тенденция динамических изменений показателей и связанная со снижением допускаемых ошибок при повторном тестировании (рисунок 1). У спортсменов экспериментальной группы, специализирующихся в стендовой стрельбе достоверные изменения в показателях отмечены в параметрах УУ, ОцО, УУСДО.

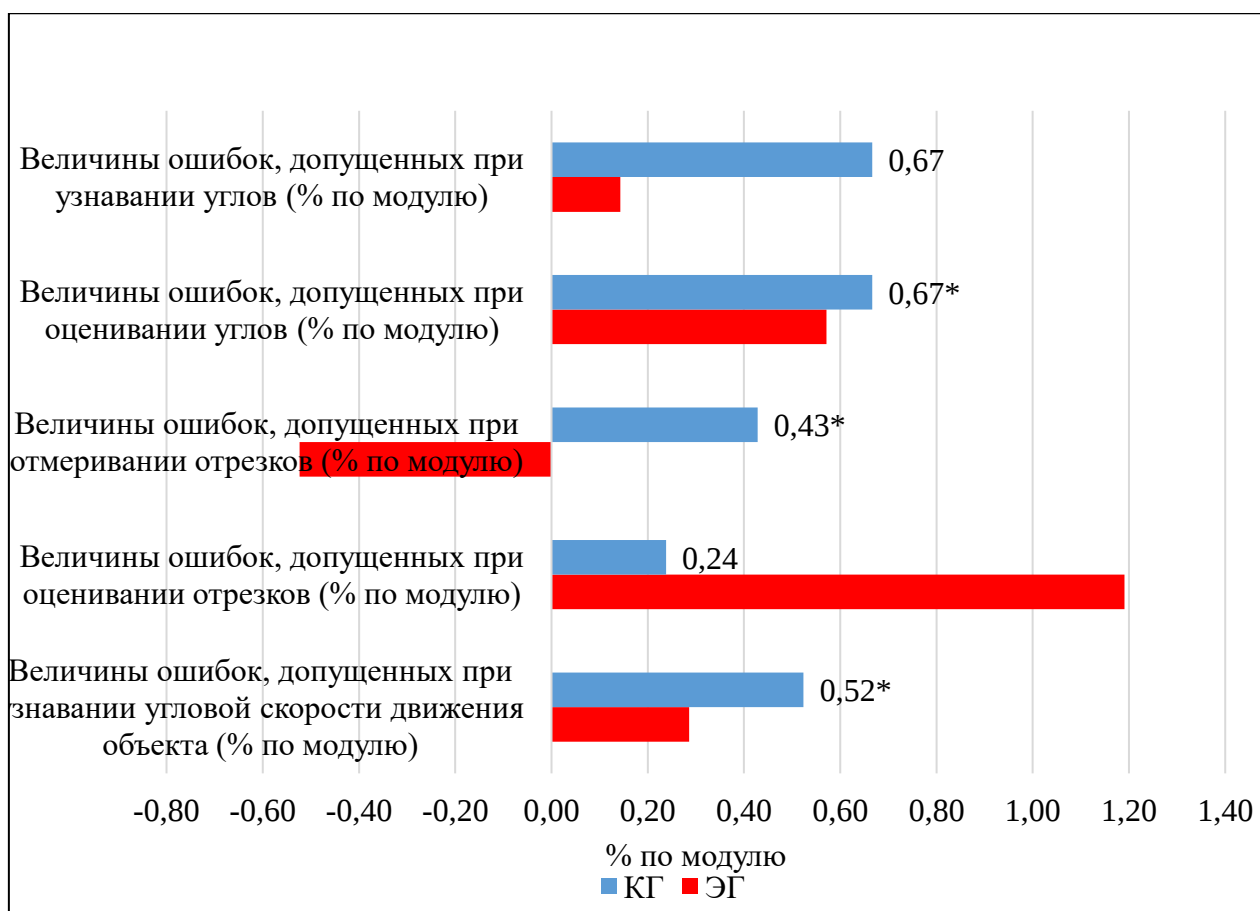


Рисунок 1 – Разность показателей ОцО спортсменов КГ и ЭГ, занимающихся стендовой стрельбой (* достоверные различия при $p < 0,05$)

У спортсменов-пистолетчиков экспериментальной группы после пребывания в условиях нормобарической гипоксии при выполнении тестов динамика изменений в целом носит положительный характер, за исключением, показателя величин ошибок, которые были допущены при допущенных при отмеривании отрезков. Этот параметр повысился после гипоксии, но не достоверно. У спортсменов контрольной группы также снижается количество допускаемых ошибок после повторного решения заданий. В таблице 1 представлена динамика изменений в теппинг-тесте при выполнении правой верхней конечностью и правой нижней конечностью. Выявлено, что между исходным и повторным выполнением заданий между показателями имеются достоверные различия.

Таблица 1 – Динамика разности показателей у спортсменов КГ и ЭГ, занимающихся стендовой стрельбой при выполнении теппинг-теста, выполняемой правой верхней и нижней конечностями

Показатель	Теппинг-тест, выполняемый рукой		Теппинг-тест, выполняемый ногой	
	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$
ТТ1	$3,19 \pm 2,20^*_{\text{;}}$	$0,71 \pm 1,23^*$	$2,66 \pm 2,88^*_{\text{;}}$	$-6,80 \pm 2,67^*$
ТТ2	$4,47 \pm 4,46^*$	$3,71 \pm 5,22^*$	$3,57 \pm 3,94^*_{\text{;}}$	$-6,00 \pm 3,93^*$
ТТ3	$4,42 \pm 8,14^*$	$2,95 \pm 6,61^*$	$2,85 \pm 6,17^*_{\text{;}}$	$-6,66 \pm 4,77^*$
ТТ4	$3,95 \pm 10,61$	$2,61 \pm 6,32^*$	$3,00 \pm 7,12^*_{\text{;}}$	$-6,19 \pm 6,64^*$
ТТ5	$4,42 \pm 10,81^*$	$2,47 \pm 7,10$	$3,09 \pm 6,67^*_{\text{;}}$	$-6,09 \pm 6,92^*$
ТТ6	$5,09 \pm 11,02^*$	$2,66 \pm 7,43$	$2,95 \pm 8,01_{\text{;}}$	$-5,61 \pm 7,69^*$
Примечание: * – исходное и заключительное тестирование ($p < 0,05$); ; – различия между несвязанными выборками ($p < 0,05$)				

При повторном выполнении спортсменами правой рукой теппинг-теста согласно табличным данным, наблюдается достоверное снижение движений, выполненных в ед. времени. Повторное тестирование нижней правой конечностью спортсменами экспериментальной группы снижает количество движений. Поэтому же показателю у спортсменов контрольной группы количество движений относительно исхода увеличивается. У спортсменов ЭГ при повторном тестировании после гипоксии при выполнении моторных заданий верхней правой конечностью отмечается снижение исследуемых величин ($p < 0,05$). Выполнение ТТ4 правой верхней конечностью и ТТ6 – правой нижней конечностью спортсменами ЭГ не приводит к достоверному увеличению показателя моторной функции. Такая же картина наблюдается у спортсменов контрольной группы относительно параметров ТТ5 и ТТ6 при выполнении теста верхней правой конечностью, и у спортсменов экспериментальной группы при выполнении того же теста верхней левой конечностью. Такая же динамика по внутригрупповым различиям отмечена при выполнении левой рукой и левой ногой (таблица 2).

Таблица 2 – Динамика разности показателей у спортсменов КГ и ЭГ, занимающихся стендовой стрельбой при выполнении теппинг-теста левой рукой и левой ногой

Показатель	Теппинг-тест, выполняемый рукой		Теппинг-тест, выполняемый ногой	
	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$
ТТ1	$2,33 \pm 4,84^*_{\text{;}}$	$-3,28 \pm 3,33^*$	$3,19 \pm 3,44^*_{\text{;}}$	$-6,33 \pm 2,98^*$
ТТ2	$3,38 \pm 5,39^*_{\text{;}}$	$-3,19 \pm 4,44^*$	$2,71 \pm 4,77^*_{\text{;}}$	$-7,66 \pm 3,67^*$
ТТ3	$3,80 \pm 5,24^*_{\text{;}}$	$-3,57 \pm 4,14^*$	$2,61 \pm 4,56^*_{\text{;}}$	$-7,23 \pm 4,75^*$
ТТ4	$2,52 \pm 4,65^*_{\text{;}}$	$-3,52 \pm 5,74^*$	$1,76 \pm 4,19^*_{\text{;}}$	$-6,52 \pm 5,60^*$
ТТ5	$1,80 \pm 5,20_{\text{;}}$	$-3,90 \pm 5,99^*$	$3,42 \pm 5,10^*_{\text{;}}$	$-6,14 \pm 6,08^*$
ТТ6	$1,71 \pm 5,56_{\text{;}}$	$-3,57 \pm 6,05^*$	$3,76 \pm 5,89^*_{\text{;}}$	$-6,23 \pm 6,73^*$
Примечание: * – исх. и закл. тестирование ($p < 0,05$); ; – различия между несвязанными выборками ($p < 0,05$)				

Представленные табличные данные показывают, что у спортсменов КГ при повторном тестировании достоверно повышается количество движений за единицу времени выполнения теппинг-теста. Однако, у спортсменов, которые находились в гипоксических условиях при повторном тестировании, происходит достоверное снижение количества движений. Эффект снижения, связанный с НГ, может быть применен в тренировочном процессе для процесса интенсификации сложно-координационных движений, которые используются в стендовой стрельбе. В таблице 3 представлены сенсомоторные показатели. Показатели ВРЗ, ВРС, ВРВ, выполненные верхней левой конечностью и ВРС, выполненное нижней левой конечностью, имеют достоверные различия.

Таблица 3 – Параметры СР у спортсменов КГ и ЭГ, занимающихся стендовой стрельбой

Показатель	Правая сторона		Левая сторона	
	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$	ЭГ, $X \pm \sigma$	КГ, $X \pm \sigma$
ВРС	$0,00 \pm 0,00$	$-0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,02$	$-0,00 \pm 0,00$
ВРЗ	$0,01 \pm 0,01^*_{\text{;}}$	$0,00 \pm 0,00$	$0,01 \pm 0,01^*_{\text{;}}$	$0,00 \pm 0,00$
ВРВ	$-0,01 \pm 0,02^*_{\text{;}}$	$0,00 \pm 0,00$	$-0,00 \pm 0,01$	$-0,00 \pm 0,00$
ВРС (нижняя конечность)	$0,01 \pm 0,05$	$-0,00 \pm 0,00$	$0,03 \pm 0,03^*_{\text{;}}$	$-0,00 \pm 0,00$
ВРЗ (нижняя конечность)	$0,00 \pm 0,01$	$-0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$	$0,00 \pm 0,00$
Примечание: * – исходное и заключительное тестирование ($p < 0,05$); ; – различия между несвязанными выборками ($p < 0,05$)				

У спортсменов экспериментальной группы, занимающихся стендовой стрельбой в тестах на ВРЗ верхней правой и верхней левой конечностями, на ВРС, выполненной нижней левой конечностью и ВРВ, выполненной верхней правой конечностью, выявляются достоверные различия. При этом по показателю времени выбора разность параметров выявляется отрицательной. Кроме того, между группами отмечается достоверные различия величин ВРЗ при работе верхними правой и левой конечностями, и нижней левой конечностью, что показывает выраженное снижение времени реакции у спортсменов экспериментальной группы, пребывающих в условиях гипоксии, по сравнению со спортсменами КГ. Отмечаем, что нормобарическая гипоксия, как эргогеническое средство, оказывает положительное воздействие на умственную работоспособность у спортсменов, специализирующихся в стендовой стрельбе, связанная с повышением скорости сенсомоторных реакций, и может быть использована для решения задач тренировочного процесса согласно специфики спортивной подготовки в этом виде спорта.

Таким образом, полученные нами материалы показывают, что многие показатели умственной работоспособности в большинстве случаев вариативны и зависят от индивидуальных особенностей работы центральной нервной системы и спортивной специализации. Негативный и позитивный эффекты от воздействия нормобарической гипоксии при выполнении умственной работы связаны с увеличением количества ошибок при тестировании и их уменьшении, что также напрямую зависит от спортивной специализации и индивидуальных особенностей психики спортсменов и индивидуальной устойчивости к гипоксии. Нами выявлено, что нормобарическая гипоксия действует избирательно на параметры умственной работоспособности.

Анализируя психофизиологические параметры, было показано, что между показателями мало достоверных различий. Достоверный прирост после действия нормобарической гипоксией отмечается при оценке

параметров простых и сложных сенсомоторных реакций при работе верхними конечностями (рисунок 2).

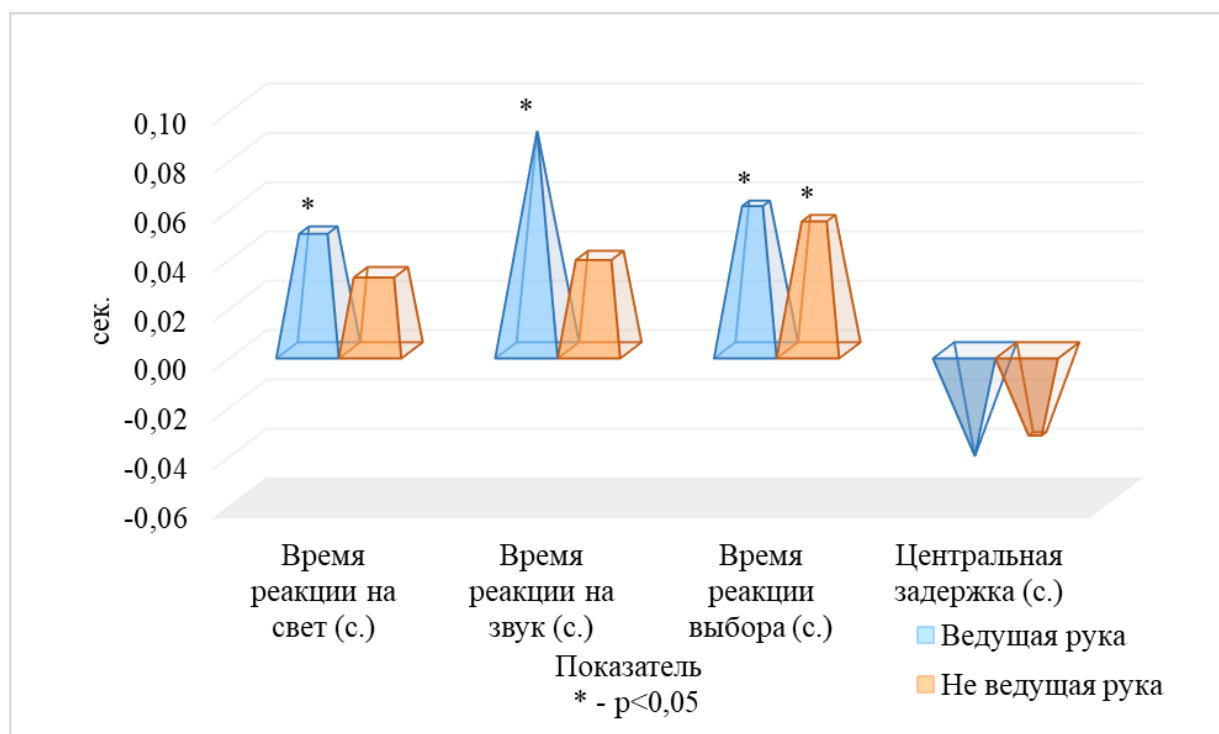


Рисунок 2 – Динамика разности показателей сенсомоторных реакций у спортсменов при работе верхними конечностями

Положительная динамика параметров сенсомоторных реакций при работе верхними конечностями связана со снижением времени, которая затрачивается на реакцию. При этом выявляется незначительное увеличение времени центральной задержки, что говорит о чувствительности мозга к кислородной недостаточности. Положительное влияние гипоксии связано со снижением времени, которое затрачивается на простые когнитивные способности. Это представлено в работе Noble et al., но эффективность при решении сложных задач в условиях гипоксии снижается [7, 8, 9, 10, 11].

Чтобы оценить качественное влияние гипоксии на мозговую деятельность на следующем этапе наблюдения нами решалась задача изучения влияния нормобарической гипоксии на направленность моторной асимметрии верхних и нижних конечностей спортсменов высокой квалификации. В эксперименте участвовали 25 действующих высокой квалификации, специализирующихся в киберспорте, единоборствах, стрелковых видах спорта

в возрасте от 20 до 24 лет. Использовался АПК «Спортивный психофизиолог» [12, 13] для выявления психофизиологических особенностей и метод гипоксии («Эверест-1, мод.07m»). Первичный эксперимент включал изучение психофизиологических особенностей при выполнении заданий верхними конечностями в нормоксии. На втором этапе воздействовали НГ, содержащей газовую смесь с 10%O₂. На третьем этапе проводился повторный эксперимент с помощью 60-секундного теппинг-теста в условиях пребывания НГ. Чтобы изучить направленность моторной асимметрии при работе верхними и нижними конечностями для исходного и заключительного тестирования нами был использован коэффициент асимметрии [5] и определялась ведущая верхняя конечность и ведущая нижняя конечность. Для расчета исходного и конечного коэффициента асимметрии использовались двадцать парных психофизиологических параметров. На рисунке 3 представлены качественная и количественная характеристика функциональной асимметрии спортсменов под воздействием гипоксии.

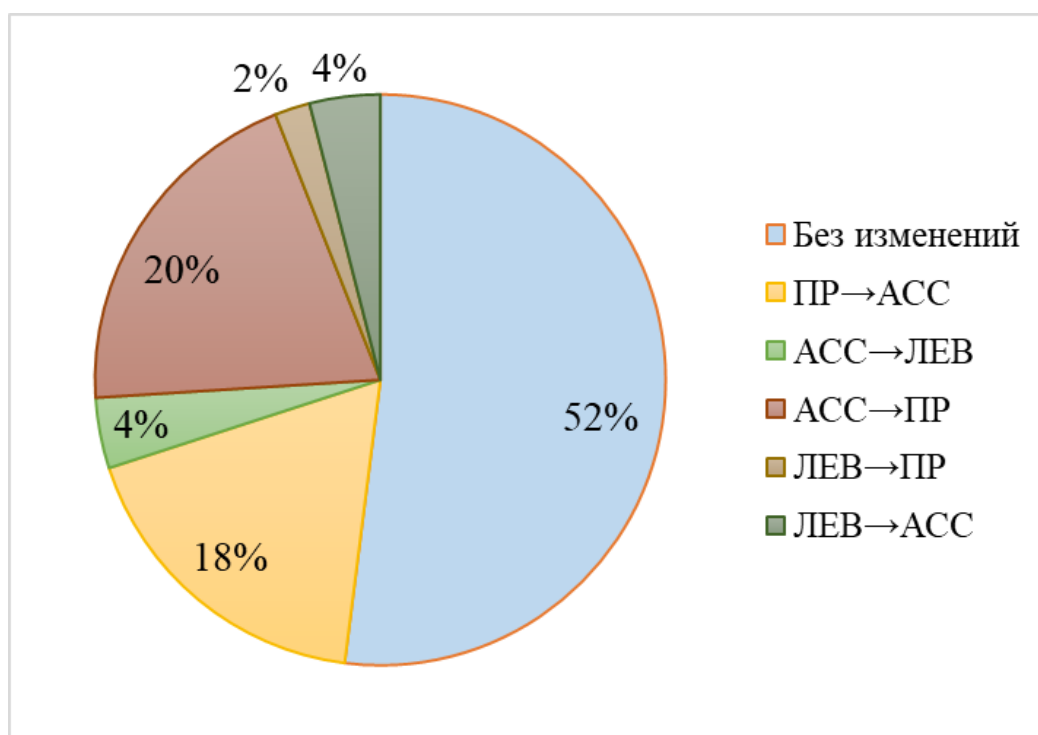


Рисунок 3 – Диаграмма изменений функциональной асимметрии у всех исследуемых спортсменов под действием нормобарической гипоксии

Было выявлено, что у 52 % спортсменов полностью отсутствуют изменения функциональной асимметрии. Между тем у 48 % спортсменов присутствуют качественные изменения функциональной асимметрии, что связано с уменьшением снабжения кислородом головного мозга.

В таблице 4 представлены результаты, полученные спортсменами при выполнении руками 60-сек. теппинг-теста.

Таблица 4 – Динамика параметров спортсменов, полученных при выполнении верхними конечностями 60-сек. теппинг-теста

№ интервала	Ведущая верхняя конечность $X \pm \sigma$				Не ведущая верхняя конечность $X \pm \sigma$			
	До	После	Разность	p - level	До	После	Разность	p - level
1 интервал	65,43± 8,64	64,65± 7,00	0,57± 6,76	0,28	60,73± 18,29	59,32± 19,58	1,32± 13,26	0,3
2 интервал	64,87± 8,71	62,39± 6,69	2,48± 6,44	0,03	59,27± 17,71	60,59± 21,10	-1,82± 16,46	0,35
3 интервал	61,87± 7,79	60,22± 8,33	1,65± 5,31	0,07	60,18± 17,71	57,36± 16,48	2,55± 17,56	0,23
4 интервал	59,74± 6,52	59,17± 6,73	0,57± 4,71	0,28	61,23± 18,04	54,23± 19,34	4,45± 20,24	0,05
5 интервал	59,00± 6,19	57,91± 5,92	1,09± 5,36	0,17	61,41± 17,29	56,14± 16,27	3,64± 16,57	0,06
6 интервал	58,74± 6,54	58,43± 5,81	0,30±6, 17	0,40	56,91± 15,67	54,09± 16,20	-1,41± 21,84	0,24

Представленные данные показывают, что в каждом 10-сек. интервале теппинг-теста количество нажатий при выполнении работы руками снижается, однако значимые изменения наблюдаются только по параметру 2-го интервала теппинг-теста, который выполняется ведущей рукой.

В таблице 5 показаны результаты тех же спортсменов при выполнении 60-сек. теппинг-теста нижними конечностями.

Таблица 5 – Динамика параметров спортсменов, полученных при выполнении нижними конечностями 60-сек. теппинг-теста

№ интервала	Ведущая нижняя конечность $X \pm \sigma$				Не ведущая нижняя конечность $X \pm \sigma$			
	До	После	Разность	p - level	До	После	Разность	p - level
1 интервал	62,13± 12,17	61,30± 9,40	0,83± 7,89	0,31	56,68± 15,40	54,55± 15,07	0,50± 15,43	0,25
2 интервал	58,96± 10,73	56,61± 9,17	2,35± 5,28	0,02	53,09± 17,77	56,23± 17,55	-0,59± 16,57	0,18
3 интервал	56,70± 9,54	54,65± 9,42	2,04± 5,30	0,03	55,50± 16,76	53,55± 17,30	5,32± 16,08	0,29
4 интервал	54,57± 8,71	53,65± 7,17	0,91± 4,87	0,18	52,45± 19,06	52,55± 20,16	2,82± 17,26	0,49
5 интервал	55,70± 10,46	53,43± 8,10	2,26± 5,55	0,03	52,59± 18,79	52,95± 20,13	2,00± 19,37	0,46
6 интервал	54,57± 9,51	53,22± 8,11	1,35± 6,28	0,15	51,45± 16,36	50,09± 15,91	3,82± 16,28	0,35

Повторное выполнение теппинг-теста в условиях пребывания нормобарической гипоксии также приводит к снижению количества нажатий на каждом интервале при выполнении теста.

Для определения изменений, которые были вызваны гипоксией в исходном и заключительном тестировании, был рассчитан коэффициент асимметрии. На рисунке 4 представлена диаграмма доминирующей стороны по время выполнения 60-секундного теппинг-теста на основе параметра тестирования верхних и нижних конечностей.

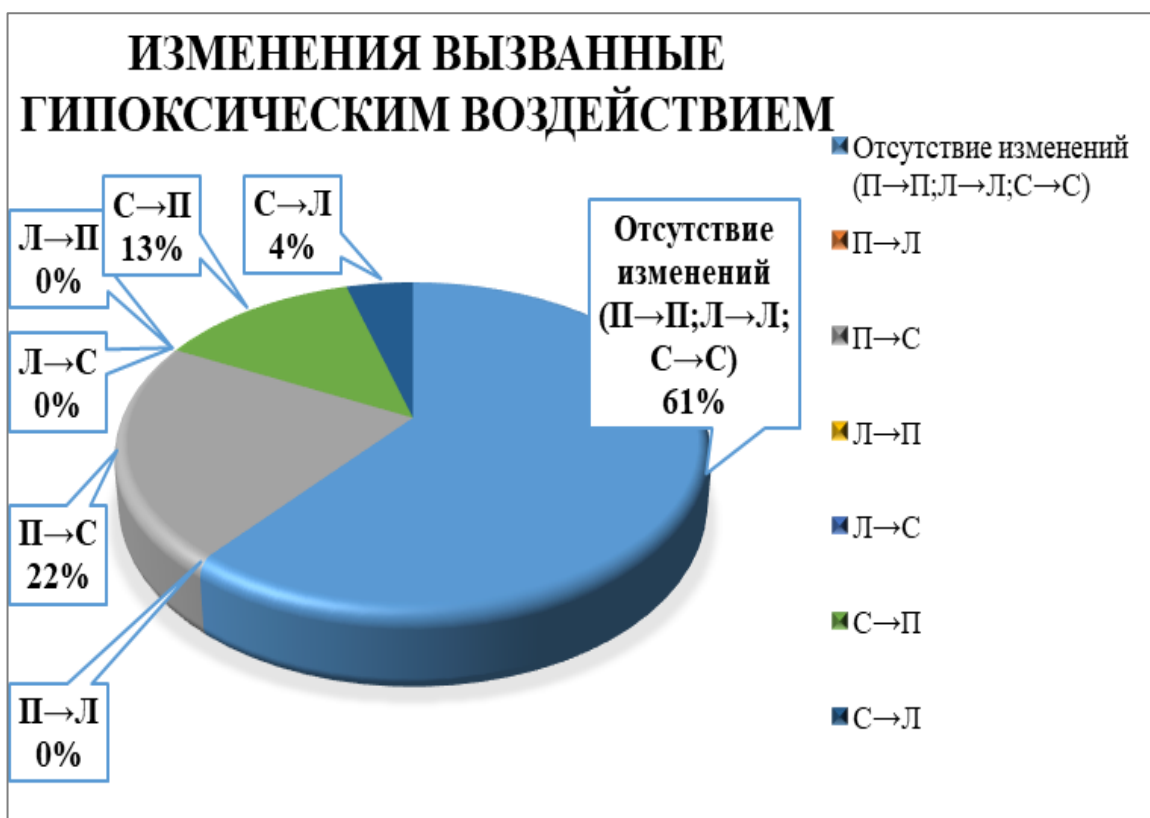


Рисунок 4 – Динамика изменений доминирующей стороны у спортсменов при выполнении 60-сек. теппинг-теста под действием НГ. (С- «симметрия», П – «правшество», Л- «левшество» [5]

На диаграмме рисунка 4 выявляется 61 случай, где не наблюдается никаких изменений. Однако в других случаях «правшество» превалирует над «симметрией», «симметрия преобладает над «правшеством», и «симметрия» преобладает над «левшеством». На диаграммах рисунка 5 и 6 представлена оценка параметров рук и ног по отдельности. Отмечено, что для верхних конечностей в 70 % случаев отсутствуют изменения, но в 30 % случаев вошли следующие варианты изменений, когда показатель симметрии сменяется превалированием «левшества», когда показатель симметрии преобладает над «правшеством», когда «левшество» превалирует над показателем симметрии, когда «правшество» преобладает над параметром симметрии, когда «правшество» превалирует над «левшеством».

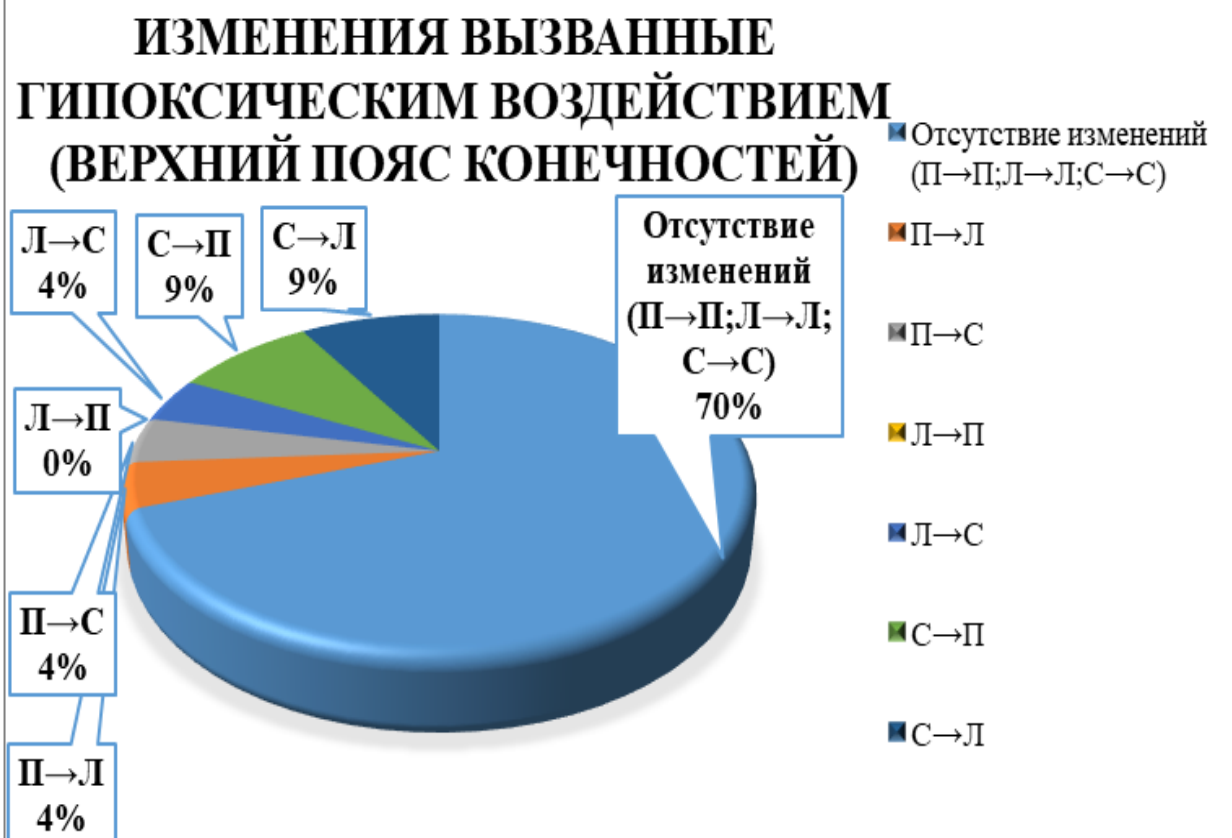


Рисунок 5 – Результаты доминирующей стороны спортсменов при выполнении 60-сек. теппинг-теста верхними конечностями под действием НГ

Самые большие изменения отмечаются при оценке изменений параметров нижних конечностей – это когда показатель симметрии сменяется превалированием «левшества», когда показатель симметрии сменяется превалированием «правшества», когда «левшество» сменяется превалированием показателя симметрии, когда «левшество» сменяется превалированием «правшества» и «правшество» сменяется показателем симметрии.

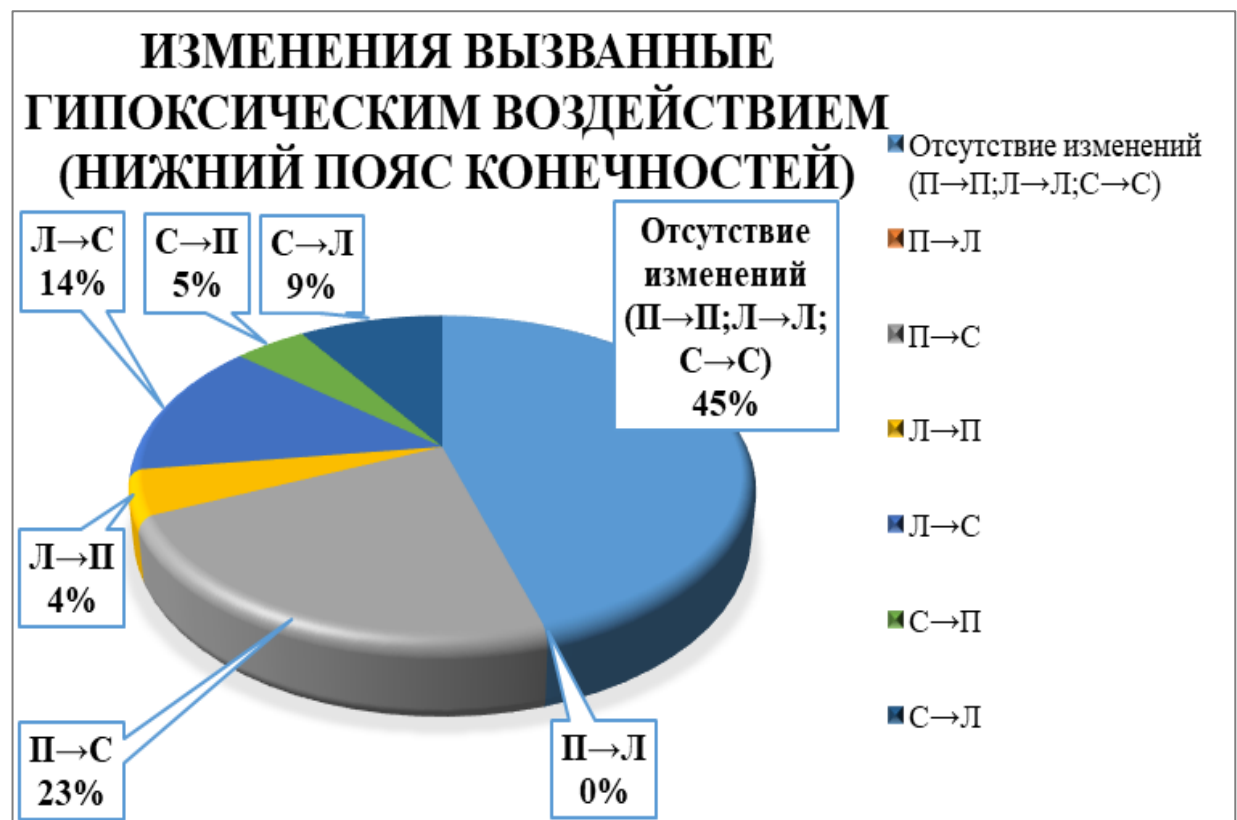


Рисунок 6 – Динамика изменений доминирующей стороны у спортсменов при выполнении 60-сек. теппинг-теста нижними конечностями

Таким образом, полученные результаты показывают, что у высококвалифицированных спортсменов при изменении O_2 в газовой смеси профиль асимметрии достаточно динамичен и этот факт необходимо учитывать в соревновательном и учебно-тренировочном процессе из-за наличия перегрузочной гипоксии. Профиль асимметрии спортсменов под влиянием гипоксии значительно изменяется и самые сильные изменения происходят при оценке спортсменами доминирующей стороны во время выполнения теппинг-теста руками и ногами (60 сек). Отмечается, что симметрия изменяется либо преобладанием «правшества», либо «левшества». Причем, «правшество» сменяется преобладанием показателя симметрии «левшества», а «левшество» сменяется преобладанием показателя симметрии «правшества», что является важным фактором в соревновательном и учебно-тренировочном процессе. Поэтому очень важно учитывать профиль и динамику показателя асимметрии у всех спортсменов. Знания по динамичности вариаций асимметрии в условиях гипоксии и других факторов

необходимо учитывать для правильной постановки тренировочного и соревновательных процессов при формировании и совершенствования умений и навыков.

В данном разделе приводим пример реализации сложно-координационного потенциала спортсменов-единоборцев в соревновательных условиях, у которых доминирующим фактором является активность систем анализаторов – сенсомоторные реакции.

В таблице 6 представлены параметры для ведущих и не ведущих верхних и нижних конечностей, которые были получены полученные на исходном и заключительном тестировании после воздействия гипоксией.

Таблица 6 – Динамика сенсомоторных реакций у спортсменов-единоборцев

Показатель		До НГ	После НГ
Ведущая верхняя конечность	ВРС	0,30±0,06 *	0,26±0,05
	ВРЗ	0,59±0,18 *	0,50±0,11
	ВРВ	0,42±0,07 *	0,37±0,09
Не ведущая верхняя конечность	ВРС	0,27±0,05	0,24±0,04
	ВРЗ	0,53±0,08	0,50±0,09
	ВРВ	0,38±0,05	0,33±0,07
Ведущая нижняя конечность	ВРС	0,69±0,09	0,47±0,32
	ВРЗ	0,34±0,24	0,35±0,07
Не ведущая нижняя конечность	ВРС	0,57±0,43 *	0,35±0,05
	ВРЗ	0,33±0,06	0,31±0,05
Примечание: * – достоверность при $p < 0,05$			

В представленной таблице показано, что снижается время, которое затрачивается на реагирование верхними и нижними конечностями, Этот факт можно отнести к положительному влиянию нормобарической гипоксии и достоверные различия выявляются при выполнении теста ведущей рукой ($p < 0,05$). В таблице 7 представлены индивидуальные показатели асимметрии по характеру движений руками и ногами. Показатели 60-сек. теппинг-теста представлены 6-10-сек. интервалами.

Таблица 7 – Показатели темпа движений руками и ногами у спортсменов-единоборцев

Показатель		1	2	3	4	5	6
Ведущая рука	До	60,1±11,1	62,2±5,9	58,6±4,97	56,9±4,6	55,9±4,6	56,3±3
	После	62,3±5,9	59,0±4,8	57,0±5,4	56,3±5,0	55,5±5,4	56,0±4
Не ведущая рука	До	59,0±7,7	55,6±5,4	53,5±4,6	51,7±3,9	51,7±3,6	50,5±4
	После	57,9±6,1	54,3±4,9	50,9±4,8	50,7±4,3	48,4±6,9	50,4±5
Ведущая нога	До	62,3±15,0	57,4±14,4	56,0±15,9	60,3±19,0	56,8±17,3	48,5±11
	После	56,5±17,5	56,8±15,4	52,9±15,7	49,2±14,3	52,3±13,9	51,1±11
Не ведущая нога	До	56,8±14,7	52,5±14,8	50,5±14,8	49,8±17,3	48,8±17,7	50,0±16
	После	48,9±14,4	52,8±20,3	50,6±17,7	48,6±19,2	51,0±19,1	49,0±18

Оценивая полученные результаты, можно увидеть лишь тенденцию снижения темпа движений верхних и нижних конечностей после пребывания спортсменов-единоборцев в условиях гипоксии, которое не является достоверным. Такая тенденция говорит о нарушении упорядоченности и согласованности движений в пространстве и во времени между отдельными сегментами тела. На рисунке 1 представлены качественные изменения коэффициента асимметрии у спортсменов-единоборцев под воздействием гипоксии. Используя метод Е.М. Бердичевской был подсчитан коэффициент асимметрии. Было определено, что у большинства испытуемых после гипоксического стимула при выполнении поставленных задач изменяется доминирующая сторона. Самые распространенные изменения связаны с изменением превалирования «правшества» на симметрию и показатель симметрии на «левшество». Анализируя записи ЭЭГ спортсменов-единоборцев, нами были выявлены некоторые особенности. В частности, было отмечено, что после пребывания в условиях гипоксии у спортсменов-единоборцев увеличивается средняя амплитуда α - и β - ритмов, а амплитуда Δ - ритма в тех же условиях достоверно снижается. Во время выполнения тестового задания после пребывания в условиях гипоксии спортсменами-единоборцами средняя амплитуда α -ритма не имеет достоверных различий

относительного исходного состояния. Между тем, средняя амплитуда величины β -ритма достоверно превышает результаты первичного тестирования, а средняя амплитуда Δ -ритма в целом мало отличается от показателей, полученных после первичного тестирования.

Таким образом, проанализировав большое количество иностранных и отечественных научных источников и получив экспериментальный материал на наших спортсменах, можно сказать, что в целом гипоксия несет в себе и негативный фактор и позитивный. В частности, в условиях гипоксии меняется мозговая деятельность, снижаются моторные и когнитивные функции, ухудшаются память, бдительность и концентрация внимания, а также регуляция центральной нервной системой статики, динамики тела в пространстве, статического баланса. Нарушается походка и угнетаются моторные функции при работе руками и ногами. Изменяется в худшую сторону энергетический баланс как в моторике, так и когнитивной сфере из-за возникновения пре-и постсинаптических блоков в электрической активности головного мозга. Нарушается синтез и метаболизм нейротрансмиттеров. Полученные нами результаты согласуются с исследованиями других ученых [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Результаты по оценке электрической активности мозга, полученные нами, согласуются с результатами J. van der Post [20], который говорил о типичной реакции ЦНС у спортсменов, которые адаптированы к гипоксии. Полученные нами данные говорят в пользу положительного влияния гипоксии на координацию, на двигательные умения и навыки и сложно-координационные способности спортсменов. Можно с уверенностью использовать отработанные гипоксические методики для интенсификации тренировки в подготовке спортсменов высокой квалификации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Полученные нами результаты научного эксперимента показали, что нормобарическая гипоксия кратковременного характера у спортсменов различных спортивных специализаций вызывает определенные изменения умственной работоспособности, которые вызывают у спортсменов одних специализаций положительный отклик, а у других отрицательный. У спортсменов-пловцов, вследствие многолетних занятий и свойственным для данного вида спорта тренировочных гипоксических упражнений – это заплывы под водой с задержкой дыхания, формируются свои очень эффективные механизмы защиты головного мозга от гипоксии. В спортивной подготовке спортсменов-пловцов необходимо уделять время гипоксической тренировке, которая является хорошим вспомогательным эргогеническим средством повышения уровня спортивной подготовки и умственной работоспособности. Нормобарическая гипоксия оказывает избирательное действие на психофизиологические параметры умственной работоспособности из-за фактора спортивной специализации и в целом характеризуется ростом напряженности ЦНС с увеличенной глюкозной стоимостью выполняемой умственной работы. С одной стороны, происходит распад узколокализованной рабочей системы, а с другой – появляются компенсаторные сдвиги снижающие негативные проявления. При этом усиливаются взаимодействия правого и левого полушария и повышается роль лобной области в системной деятельности коры больших полушарий. Анализ современной литературы и полученные нами данные являются важными для разработки программ и тестов с использованием гипоксии именно в тех видах спорта, где спортивная результативность в большинстве определяется факторами функционирования центральной нервной системы. Гипоксия оказывает отрицательный эффект на работу головного мозга и определяется снижением умственной работы, но тем не менее, этот фактор можно тоже использовать для интенсификации тренировочных нагрузок. Под действием

гипоксии изменяется вся кислород-транспортная система организма человека, при этом возникает совокупность каскадных реакций, способствующих перестройке всех систем организма и приводящих к замедлению энергобаланса на клеточном уровне. Между тем, эффекты, которые возникают после гипоксического воздействия, не являются однозначными, поскольку доставка O_2 к тканям и клеткам быстро налаживается. Изменения, которые произошли после воздействия гипоксии на уровне клетки, тканей и органов имеют следовой и отставленный эффекты, в том числе и функционирования клеток и тканей центральной нервной системы. Полученные нами данные говорят в пользу положительного влияния гипоксии на координацию, на двигательные умения и навыки и сложно-координационные способности спортсменов. Можно с уверенностью использовать отработанные гипоксические методики для интенсификации тренировки в подготовке спортсменов высокой квалификации. Полученные результаты расширяют и углубляют понимание о влиянии гипоксии на ЦНС, ССС, различные биохимические показатели и возможность применения в тренировке в качестве эргогенического средства, влияющего целенаправленно и дозировано на физиологические и психические процессы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вайнер Э.Н. Адаптивная физическая культура : краткий энциклопедический словарь / С.А. Кастюнин; Э.Н. Вайнер . – 3-е изд., стер. – М. : ФЛИНТА, 2018 . – 144 с. – ISBN 978-5-89349-557-7 .
2. Колчинская А. З. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте : Рук. для врачей / А. З. Колчинская, Т. Н. Цыганова, Л. А. Остапенко ; А.З. Колчинская, Т.Н. Цыганова, Л.А. Остапенко. – Москва : Медицина, 2003. – ISBN 5-225-04169-8.
3. Левшин И. В. Резервные возможности газотранспортных систем организма спортсменов в условиях преморбидных состояний при гипоксический и двигательной гипоксии / И. В. Левшин, А. С. Солодков // Олимпийский спорт и спорт для всех : XX Международный научный конгресс, Санкт-Петербург, 16-18 декабря 2016 года / Международная ассоциация университетов физической культуры и спорта, Министерство спорта Российской Федерации, Олимпийский комитет России, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2016. – С. 101-104.
4. Патология : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования, обучающихся по специальностям 060101.65 «Лечебное дело», 060103.65 «Педиатрия», 060104.65 «Медикопрофилактическое дело», 060105.65 «Стоматология» дисциплины «Патология» : (в 2 т.) / А. Д. Адо, И. Г. Акмаев, Н. П. Бочков [и др.]. Том 1. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2010. – 848 с. – ISBN 978-5-9704-1553-5.

5. Бердичевская Е.М. Функциональная межполушарная асимметрия и спорт // Хрестоматия «Функциональная межполушарная асимметрия». Коллективная монография. Медико-биологическое отделение РАМН.-М. : Научный мир. – 2004. – С. 636-671.
6. Ando S. et al. The effects of exercise under hypoxia on cognitive function // PloS one. – 2013. – Т. 8. – № 5. – С. e63630.
7. Balestrino M., Adriano E. Beyond sports: Efficacy and safety of creatine supplementation in pathological or parapsychological conditions of brain and muscle // Medicinal research reviews. – 2019. – Т. 39. – № 6. – С. 2427-2459.
8. Clark C. F., Heaton R. K., Wiens A. N. Neuropsychological functioning after prolonged high altitude exposure in mountaineering // Aviation, space, and environmental medicine. – 1983. – Т. 54. – № 3. – С. 202-207.
9. Findley L. J. et al. Cognitive impairment in patients with obstructive sleep apnea and associated hypoxemia // Chest. – 1986. – Т. 90. – № 5. – С. 686-690.
10. Hamacher D. et al. Motor-cognitive dual-tasking under hypoxia // Experimental brain research. – 2017. – Т. 235. – С. 2997-3001.
11. Корягина Ю.В., Нопин С.В. Аппаратно-программный комплекс «Спортивный психофизиолог» (АПК «Спортивный психофизиолог») №2010617789 // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2011. – № 1, ч. 2. – С. 308.
12. Корягина Ю. В., Нопин С. В. Аппаратно-программные комплексы исследования психофизиологических особенностей спортсменов // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений. – 2013. – № 1. – С. 70-78.
13. Бурых Э.А. Общие закономерности и индивидуальные особенности интегративного ответа организма человека на воздействие острой нормобарической гипоксии: автореферат дис. ... доктора медицинских наук: 03.03.01 / Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук. – Санкт-Петербург, 2020. – 40 с.

14. Hövels-Gürich H. Psychomotorische und kognitive Entwicklung und Lebensqualität bei Kindern und Jugendlichen mit angeborenem Herzfehler // Klinische Pädiatrie. – 2019. – Vol. 231. – No. 4. – P. 183-190.
15. Li P. et al. Training-dependent cognitive advantage is suppressed at high altitude // Physiology & behavior. – 2012. – Vol. 106. – No. 4. – P. 439-445.
16. Li G. et al. Effect of intermittent hypoxic training on hypoxia tolerance based on brain functional connectivity // Physiological measurement. – 2016. – T. 37. – № 12. – C. 2299.
17. Saletu B. et al. Brain protection of nicergoline against hypoxia: EEG brain mapping and psychometry // Journal of Neural Transmission-Parkinson's Disease and Dementia Section. – 1990. – T. 2. – C. 305-325.
18. Saletu B. et al. Dose-response studies with co-dergocrine mesylate under hypoxia utilizing EEG mapping and psychometry // Psychopharmacology. – 1992. – T. 109. – C. 30-40.
19. Schega L. et al. Effects of intermittent hypoxia on cognitive performance and quality of life in elderly adults: a pilot study // Gerontology. – 2013. – T. 59. – № 4. – C. 316-323.
20. Van der Post J. et al. Evaluation of tests of central nervous system performance after hypoxemia for a model for cognitive impairment // Journal of psychopharmacology. – 2002. – T. 16. – № 4. – C. 337-343.

Методическое издание

Р.В. Тамбовцева

Влияние гипоксических состояний на умственную работоспособность

Методические рекомендации