

**Федеральное медико-биологическое агентство
(ФМБА России)**

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРКАПНИЧЕСКИХ/ГИПОКСИЧЕСКИХ
ДЫХАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ
СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, В ТОМ
ЧИСЛЕ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ, ПЕРЕНЕСШИХ ВИРУСНЫЕ
ПНЕВМОНИИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Методические рекомендации

МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0007-2025/РАСМИРБИ

Москва

2025

Предисловие

1. Разработаны:

1.1. В Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России):

Директор – канд. мед. наук Жолинский А.В.

Заместитель директора по научной работе – д-р. мед. наук, профессор Парастаев С.А.

Начальник организационно-исследовательского отдела – канд. мед. наук Фещенко В.С.

1.2. В Государственном автономном учреждении здравоохранения города Москвы «Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины имени С.И. Спасокукоцкого Департамента здравоохранения города Москвы» (Клиника спортивной медицины), филиал № 1 (филиал № 1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ):

Заведующий филиалом № 1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ (Клиника спортивной медицины), ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательских услуг ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России – член корр. РАН, д-р. мед. наук, профессор Бадтиева В.А.

2. Исполнители:

2.1. От ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России:

врач по лечебной физкультуре отделения реабилитационно-восстановительного лечения ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России – Кармазин В.В.,

врач по спортивной медицине отдела медицинского обеспечения спортивных сборных команд и соревнований ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России – Тарасова М.С.

2.2. От филиала №1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ:

кардиолог филиала № 1 ГАУЗ МНПЦ МРВСМ им. С.И. Спасокукоцкого ДЗМ (Клиника спортивной медицины), ведущий научный сотрудник отдела научно-исследовательских услуг ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России – д-р. мед. наук, профессор Шарыкин А.С.

3. В настоящих методических рекомендациях реализованы требования Федеральных законов Российской Федерации:

- Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» и Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

4. Утверждены Ученым советом Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства» (протокол от 31 октября 2024 года № 53).

5. Введены впервые.

Содержание

Предисловие	2
Введение.....	6
1. Область применения.....	8
2. Нормативные ссылки.....	9
3. Термины и определения, сокращения.....	11
3.1. Определения.....	11
3.2. Сокращения	11
4. Литературный обзор по применению гиперкапнических/гипоксических дыхательных смесей в медицине и спорте	14
4.1. Российские и зарубежные исследования по обоснованию эффективности дыхательных тренажеров	16
5. Особенности течения и диагностики коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет	21
5.1. Особенности течения коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет.....	21
5.2. Алгоритм диагностики коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет.....	22
6. Возобновление занятий спортом (возвращение к тренировочной и соревновательной деятельности) при различных вариантах течения коронавирусной инфекции.....	26
7. Основные аспекты восстановления кардиоваскулярной и респираторной функции у совершеннолетних и несовершеннолетних спортсменов, перенесших вирусные пневмонии. Предпосылки к применению сочетанной методики воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами	31
8. Характеристика и особенности применения гиперкапнических/гипоксических газовых смесей в реабилитации спортсменов сборных команд Российской Федерации, в том числе несовершеннолетних, перенесших вирусные пневмонии различной природы.....	33

8.1. Обоснование применения гиперкапнических/гипоксических смесей в реабилитации спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации...	33
8.2. Дыхательные тренажеры для гиперкапнических/гипоксических тренировок	35
8.3. Особенности функционирования и параметры дыхательного гиперкапнического/гипоксического тренажера на примере аппарата Spiro Tiger	36
8.4. Методика сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами у совершеннолетних спортсменов	37
8.5. Особенности подходов к применению гиперкапнических и гипоксических стимулов у детей	39
8.6. Методика сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами у несовершеннолетних спортсменов	42
Библиография	46
Библиографические данные	50

Введение

Занятия спортом сопряжены с повышенными физическими нагрузками. Для поддержания возможности выдерживать такое давление необходима выносливость дыхательной системы. И тем более такая выносливость очень важна для восстановления после острых респираторных вирусных заболеваний, COVID-19 и воспаления легких, когда свое возвращение в спортивный строй большинство спортсменов планирует в кратчайшие сроки. В настоящее время одним из самых перспективных направлений в реабилитации спортсменов, перенесших вирусные пневмонии, является применение сочетанных гиперкапнических/гипоксических тренировок. При применении гиперкапнического и гипоксического стимулов улучшается вентиляция легких, возрастает жизненная емкость легких, растет количество альвеол, укрепляется дыхательная мускулатура, укрепляется сердечно-сосудистая система, что особенно актуально для несовершеннолетних спортсменов. По данным современных литературных источников, случаи тяжелой пневмонии, респираторного дистресс-синдрома в педиатрической практике регистрируются в любом возрасте, и в том числе у детей, активно занимающихся спортом. При сравнительном анализе симптоматики, течения и сроков восстановления значимой разницы в клинических проявлениях и темпах регресса дыхательной дисфункции у детей и у взрослых не выявлено [1]. Детям, как правило, свойственно менее тяжелое течение заболевания, однако степень выраженности функциональных нарушений и долгосрочные результаты восстановления респираторной системы обсуждаются. Установлено, что через 3 месяца после перенесенной вирусной инфекции проявления поражения дыхательной системы сохраняются примерно у 30 % пациентов. Наличие стойкой симптоматики воспалительного генеза предполагает необходимость своевременного применения адекватного по патогенетической направленности эффективного комплекса корригирующих мероприятий. Актуализация проблематики в контингенте спортсменов детского и подросткового возраста обусловлена высокой вариативностью показателей кардиоваскулярной и бронхолегочной систем в ходе гетерохронии онтогенеза с периодами интенсивного роста. И особую роль в

повышении результативности реабилитационных и восстановительных мероприятий у юных спортсменов, перенесших вирусные пневмонии различного генеза, приобретает физиологически ориентированный комплекс сочетанных воздействий гиперкапническими и гипоксическими стимулами с использованием модифицируемых по составу газовых смесей.

В данных методических рекомендациях подробно освещены обоснование и методология применения гиперкапнических/гипоксических смесей в реабилитации спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации, в том числе несовершеннолетних, перенесших вирусные пневмонии.

УТВЕРЖДАЮ

Президент РАСМИРБИ

Б.А. Поляев



2025

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИПЕРКАПНИЧЕСКИХ/ГИПОКСИЧЕСКИХ
ДЫХАТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В РЕАБИЛИТАЦИИ СПОРТСМЕНОВ
СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, В ТОМ
ЧИСЛЕ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ, ПЕРЕНЕСШИХ ВИРУСНЫЕ
ПНЕВМОНИИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

Методические рекомендации

МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0007-2025/РАСМИРБИ

1. Область применения

Методические рекомендации предназначены для специалистов, участвующих в мероприятиях медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд.

2. Нормативные ссылки

Настоящий документ разработан на основании рекомендаций и требований, следующих нормативных правовых актов и нормативных документов.

Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации».

Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" и Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

Приказ Минздрава России от 23.10.2020 N 1144н «Об утверждении порядка организации оказания медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий), включая порядок медицинского осмотра лиц, желающих пройти спортивную подготовку, заниматься физической культурой и спортом в организациях и (или) выполнить нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса "Готов к труду и обороне" (ГТО)" и форм медицинских заключений о допуске к участию в физкультурных и спортивных мероприятиях» (Зарегистрировано в Минюсте России 03.12.2020 N 61238).

Приказ Федерального медико-биологического агентства от 8 сентября 2023 года № 178 «Об утверждении порядка организации медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации».

Рекомендации Р ФМБА России 1-2023 от 28.06.2023 г. «Порядок разработки, изложения, представления на согласование и утверждение нормативных и методических документов, разрабатываемых научными организациями по заказу

ФМБА России, в Комиссию Федерального медико-биологического агентства по рассмотрению нормативных и методических документов, разработанных при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, осуществлении научно-технической и инновационной деятельности».

3. Термины и определения, сокращения

3.1. Определения

В настоящем документе применяются следующие определения коронавирусной инфекции:

COVID-19 – новая коронавирусная инфекция, вызываемая коронавирусом SARS-CoV-2;

SARS-CoV-2 – коронавирус, вызывающий COVID-19 (Severe Acute Respiratory Syndrome-related Coronavirus-2);

Постковидный синдром – состояние, определяемое совокупностью симптомов, которые появляются или сохраняются после выздоровления от COVID-19 и обычно длятся от нескольких недель до месяцев.

3.2. Сокращения

АД	–	Артериальное давление
АТФ	–	Аденозинтрифосфорная кислота
ВВС	–	Возвращение в спорт
ВУГ	–	Высокая устойчивость к гипоксии
ВЭМ	–	Велоэргометрия
ГТ	–	Гипоксический тест
ДАД	–	Диастолическое артериальное давление
ДМП	–	Дополнительное мертвое пространство
ДН	–	Дыхательная недостаточность
ДП	–	Дыхательные пути
ДЦ	–	Дыхательный центр
ЖЕЛ	–	Жизненная емкость легких
ИМТ	–	Индекс массы тела
КТ	–	Компьютерная томография
КФК	–	Креатинфосфокиназа
НМРЛ	–	Креатинфосфокиназа МВ

КЭКРС-O2	– Критерий эффективности кардиореспираторной системы
МАТ	– Микровольтная альтернация зубца Т
МРТ	– Магнитно-резонансная томография
НГН	– Нижняя граница нормы
НМРЛ	– Немелкоклеточный рак легкого
НУГ	– Низкая устойчивость к гипоксии
O2	– Кислород
ОЕЛ	– Общая емкость легких
ОРВИ	– Острая респираторная вирусная инфекция
ОФВ1	– Объёма воздуха, выдыхаемого в течение первой секунды форсированного выдоха
ПКС	– Постковидный синдром
ПЦР	– Полимеразная цепная реакция
САД	– Систолическое артериальное давление
СУГ	– Средняя устойчивость к гипоксии
ТРС	– Турбулентность ритма сердца
УЗИ	– Ультразвуковое исследование
УМО	– Углубленное медицинское обследование
УТС	– Учебно-тренировочные сборы
ФЖЕЛ	– Форсированная жизненная ёмкость легких
ХМ	– Холтеровское мониторирование
ХОБЛ	– Хроническая обструктивная болезнь легких
ЧДД	– Частота дыхательных движений
ЧСС	– Частота сердечных сокращений
ЭКГ	– Электрокардиография
ЭКГ ВР	– Электрокардиография высокого разрешения
ЭХОКГ	– Эхокардиография
6MWD	– The 6-min walk distance (дистанция, пройденная в течение 6 минут)

COVID-19	– Заболевания, вызванные коронавирусной инфекцией
CO ₂	– Углекислый газ
DLCO	– Diffusing Capacity Of The Lungs For Carbon Monoxide (мера способности газа переходить из альвеол через альвеолярный эпителий и капиллярный эндотелий в эритроциты)
ET	– Endurance time (длительность переносимой физической нагрузки)
FEV	– Forced Expiratory Volume (объём форсированного выдоха)
FVC	– Forced Vital Capacity (форсированная жизненная ёмкость легких)
NT-proBNP	– мозговой натрийуретический гормон – белок
PEF	– Peak Expiratory Flow (пиковая объёмная скорость выдоха)
PEP	– Positive Expiratory Pressure (положительное давление выдоха – дыхательный тренажер с сопротивлением воздушного потока на выдохе)
PFTs	– Pulmonary function tests (исследование функции легких)
PIF	– Peak Inspiratory Flow (пиковая объёмная скорость вдоха)
RMET	– Respiratory muscle endurance training (тренировка выносливости дыхательных мышц)
SARS-CoV-2	– Оболочечный одноцепочный (+)РНК-вирус, относящийся к роду Betacoronavirus
VE	– Minute ventilation (минутная вентиляция легких)

4. Литературный обзор по применению гиперкапнических/гипоксических дыхательных смесей в медицине и спорте

Идея использования гиперкапнических и гипоксических стимулов для восстановления здоровья зародилась еще в XIX веке, но по-прежнему очень актуальна. Опираясь на гипотезу И.М. Сеченова о сложных формах взаимодействия между двуокисью углерода и кислородом в крови, русский физиолог-исследователь Б.В. Вериге и чуть позднее датский физиолог-исследователь К. Бор впервые установили зависимость степени диссоциации оксигемоглобина [2–4] от величины парциального давления углекислоты в крови: при снижении парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе и в крови сродство кислорода (O_2) к гемоглобину повышается, что затрудняет переход кислорода из капилляров в ткани и органы. Это явление сегодня известно как эффект Вериге – Бора [4–5].

Кислород является ключевым источником жизнедеятельности для организма человека, так как участвует в химических реакциях окислительного типа – расщепления макромолекул пищевых ингредиентов и высвобождения из них энергии для функционирования органов и тканей. Конечным продуктом окисления является двуокись углерода (CO_2). Основная функция дыхания заключается в обмене указанных двух газов между организмом и атмосферой, и реализуется эта функция посредством легочной вентиляции [3]. Кислород и углекислый газ являются стимуляторами легочной вентиляции: и увеличение содержания CO_2 изначально во вдыхаемом воздухе, а затем в крови, и опосредованное снижение концентрации O_2 – гипоксемия – также активируют дыхание, причем наиболее выраженное воздействие оказывает углекислый газ [4, 5].

От парциального давления двуокиси углерода зависит состояние коры головного мозга, дыхательного и сосудодвигательного центров, которые, в свою очередь, регулируют жизнедеятельность организма [6, 7]. Небольшое повышение уровня CO_2 в крови благоприятно воздействует на мозг и миокард, увеличивая их кровоснабжение, стимулирует процессы биосинтеза и регенерацию поврежденных тканей; повышенное содержание углекислого газа в крови является не только

активатором дыхательного центра, но и дополнительным стимулом для сосудодвигательного центра [3, 8]. При дыхании человек совершает очередной вдох лишь при избытке двуокиси углерода [3, 7, 9].

Доказано, что центральный генератор паттерна дыхания не обладает прямой химической связью с напряжением кислорода и углекислого газа в организме, а также с концентрацией водородных ионов в крови и спинномозговой жидкости. Легочная вентиляция осуществляется за счет импульсации, исходящей от хеморецепторов дыхательной системы – центральных (бульбарных) и периферических (артериальных); продуцируемые ими сигналы создают нужный драйв, поддерживающий центральный механизм паттерна дыхания в активном состоянии. Адекватным сигналом для работы центральных хеморецепторов служит напряжение CO_2 и/или концентрация водородных ионов во внеклеточной жидкости мозга, которые характеризуют парциальное давление двуокиси углерода и pH артериальной крови; при этом работа данных хеморецепторов осуществляется по принципу отрицательной обратной связи, где гиперкапния и ацидоз провоцируют увеличение легочной вентиляции, а гипокапния и алкалоз ее подавляют [3]. Более выраженное регуляторное влияние на механизмы регуляции дыхания оказывает именно гиперкапнический стимул (или гиперкапнический драйв), а не гипоксический стимул (гипоксический драйв) [3].

На содержание кислорода, как и углекислого газа в органах и тканях человеческого организма, могут влиять как внешние, так и внутренние факторы:

1. Пребывание в высокогорье, занятия спортом в среднегорье или дыхание искусственными газовыми смесями (гиперкапнический и/или гипоксический драйвы), а также нахождение в замкнутом пространстве сопровождаются инспираторной гипоксией или гипоксемической гипоксией тканей (низкое парциальное давление кислорода из-за неспособности легких насыщать кровь достаточным его количеством при гиповентиляции, нарушении альвеолярной диффузии, легочном шунтировании), в итоге: постепенная адаптация организма к новым условиям [4]; при этом у клетки есть 3 варианта получения дополнительной энергии:

- использование резервного кислорода;
- анаэробный гликолиз;
- расщепление богатых энергией фосфатов (АТФ, креатинфосфат) [4].

2. Нарушение проходимости дыхательных путей, слабость дыхательных мышц, недостаточность дыхательного центра (при отравлениях) приводят к снижению вентиляции легких, которое, в свою очередь, также ассоциировано с инспираторной гипоксией.

3. Спазм бронхиол при бронхиальной астме, заполнение альвеол жидкостью при пневмонии [4].

И если в случае воздействия факторов двух последних групп (как экзогенных, так и эндогенных) необходимым представляется проведение терапевтических мероприятий, то влияние факторов первой группы предполагает обоснованную реализацию мероприятий, направленных на повышение эффективности адаптационных механизмов, в том числе с применением аппаратных методик.

4.1. Российские и зарубежные исследования по обоснованию эффективности дыхательных тренажеров

Занятия спортом сопряжены с высокими, нередко избыточными, тренировочными и соревновательными стимулами, как физическими, так и психическими. Для поддержания возможности справляться с такими нагрузками необходима высокая эффективность системы дыхания, развитые способности к ее быстрому постнагрузочному восстановлению, что предопределяет ее надежность, в большинстве случаев необходимо иметь избыточность ресурсов. И особое значение функциональные резервы респираторной системы приобретают при восстановлении после острых респираторных вирусных заболеваний, осложненных пневмониями различного генеза; последние затрудняют процесс возобновления спортивной деятельности. В ходе проведения восстановительных мероприятий постепенно возрастает жизненная емкость легких, растет количество альвеол, укрепляется дыхательная мускулатура и сердечно-сосудистая система, что сопровождается

улучшением легочной вентиляции; также повышается общая выносливость. В сущности, это так называемая тренировка выносливости дыхательных мышц – RMET (respiratory muscle endurance training). Подобный тип тренировки задействует не только мышцы вдоха, но и выдоха, что свидетельствует о более физиологическом способе улучшения функции дыхательных мышц. RMET опосредует эффект отложенного утомления дыхательной мускулатуры [10–11]. Было высказано предположение, что RMET в гипоксических условиях вызывает повышение выносливости дыхательных мышц с ослаблением метаболического рефлекса [12] (снижение эффективности гемодинамики вследствие несостоятельности дыхательных мышц) и последующим повышением общей выносливости. Чтобы проверить эту гипотезу, исследователи оценили способность дыхательных мышц противостоять утомлению и функцию кардиоваскулярной системы во время гиперпноэ и упражнений, развивающих выносливость, до и после 6 недель RMET в условиях гипоксии у 21 бегуна, уже обладающего достаточно высоким уровнем выносливости. В результате исследователями были получены следующие доказательства выдвинутой гипотезы:

1. После 6 недель RMET, проводимой как в нормоксических, так и в гипоксических условиях, время развития утомления дыхательных мышц увеличивалось, а реакция артериального давления (АД) на гиперпноэ ослабевала;
2. При этом время бега до истощения при нагрузке на уровне 95 % от пикового потребления кислорода увеличивалось;
3. Выраженность изменений в гипоксической и нормоксической группах значимо не различалась. Различия были зафиксированы лишь при сопоставлении со значениями группы контроля.

Полученные результаты свидетельствовали о том, что RMET повышает и пролонгирует производительность дыхательных мышц, а также притупляет метаболический рефлекс, повышая эффективность упражнений, развивающих качество выносливости. Однако выполнение RMET в гипоксических условиях не дает никаких дополнительных эффектов [12].

Еще в одном проспективном рандомизированном клиническом исследовании ученые из Франции Hélène Laurent, Sylvie Aubreton и G  raud Galvaing оценили

влияние 3-недельной предоперационной программы RMET на функциональные характеристики дыхательной мускулатуры и послеоперационные осложнения у пациентов, перенесших резекцию легкого по поводу немелкоклеточного рака (НМРЛ) [11]. В течение 3 недель тренировочная группа провела 12 сеансов предоперационной RMET, состоящей из изокапнического гиперпноэ, в дополнение к обычной физиотерапии грудной клетки; в программе подготовки использовалось устройство Spiro Tiger – респираторный тренажер [13]. В группе Т (с предоперационной RMET в дополнение к традиционной физиотерапии на область грудной клетки перед операцией по поводу НМРЛ), в сравнении с группой С (исключительно с физиотерапией перед операцией), тест на выносливость при изокапническом гиперпноэ показал, что минутная вентиляция легких (VE – minute ventilation) и длительность переносимой физической нагрузки (ET – Endurance time) значительно выросли именно после тренировки выносливости дыхательных мышц [11]. Количество послеоперационных лёгочных осложнений было достоверно ниже также в группе Т.

Следовательно, вполне вероятным представляется предположение, что если RMET вносит столь существенный вклад в улучшение дыхательной функции у пациентов с онкологическим заболеванием, как на пред-, так и на послеоперационном этапах лечения, то вполне удовлетворительными могут быть и результаты подобной тренировки у пациентов, перенесших острую респираторную вирусную инфекцию (ОРВИ), включая COVID-19, а также пневмонию различного генеза.

Данное предположение получило подтверждение в недавнем исследовании, проведенном испанскими учеными Tamara Del Corral и соавт.; в рандомизированном контролируемом исследовании было описано, какое влияние RMET с использованием дыхательных тренажеров (реальных и имитационных) в домашних условиях оказывает на качество жизни и переносимость физических нагрузок у лиц с долгосрочными симптомами после COVID-19 [12]. В данном исследовании сравнивались 4 группы:

1. Группа RMT – комбинированная тренировка дыхательных мышц (мышцы вдоха/выдоха) с использованием реального дыхательного тренажера.

2. Группа RMTi – комбинированная тренировка дыхательных мышц (мышцы вдоха/выдоха) с использованием имитационной копии дыхательного тренажера.

3. Группа IMT – изолированная тренировка инспираторных мышц (мышцы вдоха) с использованием реального дыхательного тренажера.

4. Группа IMTi – изолированная тренировка инспираторных мышц (мышцы вдоха) с использованием имитации тренажера.

Группа RMT (комбинированная тренировка) продемонстрировала большее усиление мышц выдоха, нежели обе группы имитационных тренировок; кроме того, комбинированная тренировка позволила добиться более выраженного повышения функции мышц выдоха, по сравнению с изолированной тренировкой [12]. Также только группа RMT показала клинически значимые улучшения качества жизни при сопоставлении с группой RMTi, но с учетом факта отсутствия достоверных различий между эффектами RMT, с одной стороны, и IMT и IMTi – с другой; поэтому полученные результаты исследователи рекомендовали интерпретировать с осторожностью. Кроме того, авторы вышеупомянутой публикации выявили положительное влияние тренировки дыхательных мышц на уменьшение выраженности долгосрочных симптомов коронавирусной инфекции, а именно значительное подавление одышки, а также на улучшение функции дыхательных мышц [12].

Российскими учеными Кушнаревой Ю.В., Корягиной Ю.В. и другими авторами из Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра ФМБА России было проведено изучение влияния курса ингаляций гипероксической газовой смесью на функциональное состояние системы внешнего дыхания спортсменов, перенесших коронавирусную инфекцию, во время пребывания на учебно-тренировочных сборах (УТС) в условиях среднегорья. На высоте 1240 м (гора Малое седло, г. Кисловодск) на базе ФГУП «Юг спорт» 19 спортсменам различных видов спорта на фоне интенсивных тренировочных нагрузок проводились гипероксические ингаляции с использованием кислородного концентратора JAY-10 (Longfian, Китай). В результате сформировалась тенденция к увеличению газообмена в легких, расширению бронхов и повышению их проходимости [14].

В исследовании Мишустинной В.Ю. было проведено клиническое испытание тренажера «Инновационная дыхательная маска AIRONIC» (Россия, г. Самара) – дыхание гиперкапническими газовыми смесями во время реабилитации для предотвращения осложнений и восстановления показателей дыхательной системы. Спустя 2 недели от начала занятий у пациентов снижался объем легочной вентиляции в покое, преимущественно за счет уменьшения глубины дыхания. Увеличивались функциональные резервы внешнего дыхания: жизненная емкость легких – на 12 %, минутная вентиляция легких – на 20 %. Резерв дыхания увеличился с 4,1 до 6,2 л (в полтора раза), а форсированная жизненная емкость легких возросла на 20 % [15].

Надо также отметить, что в учебном пособии Старикова С.М. и соавт. описывается возможность использования дыхательного тренажера Spiro Tiger с открытым контуром на более позднем этапе реабилитации после заболевания дыхательной системы на примере пневмонии, вызванной SARS-CoV-2 [16].

5. Особенности течения и диагностики коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет

5.1. Особенности течения коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет

Наиболее часто у детей (до 18 лет) после перенесенной инфекции сообщалось о снижении толерантности к физическим нагрузкам (57,1 %), одышке (42,9 %) и кашле (42,9 %). Другие симптомы включали усталость (28,6 %), нарушения сна (14,3 %), снижение концентрации и отсутствие аппетита (по 14,3 %). По данным Stanisław Bogusławski et al., наиболее распространенными поражениями дыхательной системы были длительный кашель, боль в груди, одышка; клиническая симптоматика соответствовала таким диагнозам, как: хронический бронхит, астма, бронхоэктатическая болезнь, которые сопровождались дисфункцией дыхания, развитием обструкции и рестрикции: обструктивный бронхит был выявлен у троих пациентов, у четырех была нарушена диффузная способность легких по монооксиду углерода (DLCO – Diffusing Capacity Of The Lungs For Carbon Monoxide), которая рассматривается как мера способности газа переходить из альвеол через альвеолярный эпителий и капиллярный эндотелий в эритроциты. Постоянные респираторные симптомы были констатированы у 50 % пациентов после тяжелого течения заболевания и у 12,5 % – после заболевания средней тяжести; при этом склонность к пролонгации респираторных симптомов связана не столько с тяжестью COVID-19 у детей, сколько с сопутствующим COVID-19 воспалительным процессом, который обычно продолжается независимо от тяжести заболевания, и именно воспаление затрагивает периферические дыхательные пути [1].

Han MS и соавт. отметили влияние возраста несовершеннолетних на преобладание того или иного типа SARS-CoV24 и связанную с ним степень выраженности отдельных лабораторных параметров; так, по данным однофакторного анализа, нейтропения среди детей до 2 лет встречалась чаще (в 61 % случаев) в ходе Дельта-волны, лейко- и лимфопения преобладали (28 и 33 % соответственно) в группе

до 5 лет на волне Омикрона, в группе до 10-летнего возраста была отмечена сходная картина – преобладание лейко- и лимфопении в ходе Омикрон-волны, но возникали они значительно чаще (65 и 54 %), среди самых старших детей картина напоминала таковую в самой младшей возрастной группе – наблюдалась более высокая доля лейкопении во время Дельта-волны. Также было замечено, что у детей в целом клинические проявления были более мягкими, нежели у взрослых, но имели некоторую специфику, а именно: во время волны Дельта-штамма коронавируса лихорадка была более длительной (≥ 5 дней) и более высоким был % распространённости пневмонии, чем при иных штаммах (Предельта и Омикрон) [17].

В статье американских ученых Kompaniyets L и соавт. говорится о том, что у детей в возрасте до 2 лет факт наличия хронических заболеваний органов грудной клетки и неврологических расстройств опосредует более высокий риск тяжелого течения COVID-19 [18]. В статье Waghmare A и Hijano DR описано, что SARS-CoV-2 вызывает гетерогенное поражение дыхательных путей с распространением процесса на нижние дыхательные пути и развитием пневмоний, которые являются наиболее частым проявлением, а острый респираторный дистресс-синдром – наиболее тяжелым [19].

5.2. Алгоритм диагностики коронавирусной инфекции у пациентов, не достигших возраста 18 лет

Диагноз пневмонии COVID-19 основан на клинических симптомах, результатах вирусологического исследования мазка со слизистой носовых ходов и рентгенологических результатах. Вероятными рентгенологическими признаками коронавирусной пневмонии у детей являются утолщение бронхов, феномен «матового стекла» (следует отметить, что диагностическая значимость данного симптома является, скорее, дискуссионной) и лёгочная консолидация. Следует отметить, что и ультразвуковое исследование легких может рассматриваться в качестве диагностического, прогностического и диспансерного наблюдения у детей с COVID-19. Хотя почти все дети с пневмонией COVID-19 имели благоприятные

исходы, возможно длительное сохранение респираторных дисфункций, как и в случае других вирусных пневмоний [20].

Клиническая оценка постковидных легочных патологий у детей включает в себя анамнез болезни, физикальное обследование, УЗИ легких и функциональное легочное тестирование (PFTs – pulmonary function tests):

1) Анамнез: жалобы и история развития заболевания.

2) Физикальное обследование: стандартный общий осмотр ребенка, оценка признаков интоксикации, дыхательной недостаточности (ДН) – характер кашля, участие вспомогательной мускулатуры в акте дыхания, раздувание крыльев носа, втягивание подреберных областей, межреберных промежутков, яремной ямки при дыхании, частота дыхательных движений (ЧДД) и сердечных сокращений (ЧСС) в течение не менее 1 минуты; перкуторное исследование легких и аускультация легких с акцентированием внимания на симметричность дыхания.

При выявлении «кряхтящего» дыхания, раздуваний крыльев носа при дыхании, выраженного тахипноэ и втяжений уступчивых мест грудной клетки необходимо немедленно обеспечить ребенку дополнительный кислород. Пульсоксиметрию рекомендовано проводить всем детям с целью комплексной оценки состояния и определения показаний к госпитализации [21].

3) Инструментальное исследование

а) УЗИ легких

Объективная визуализация воздуха, жидкости, что позволяет рано диагностировать потенциальные или уже имеющиеся осложнения. Допплерография легких позволяет своевременно диагностировать некротические изменения (в более ранние сроки, чем компьютерная томография) и оценить эффект проводимой терапии [22].

УЗИ легких подтверждает диагноз поражения легких у 10 из 12 пациентов с положительными результатами по данным КТ, что доказывает эффективность метода в выявлении патологии со стороны легочной системы у детей [23].

Оценка легких проводится в сидячем положении у детей старшего возраста и в положении лежа у младенцев и детей младшего возраста, все области легких

исследуются поперечно и продольно. Наиболее распространенные проявления постковидных изменений – небольшие субплевральные консолидации, плевральный выпот.

б) Рентгенография грудной клетки

Рентгенография легких (цифровая) рекомендуется в следующих случаях:

- Наличие признаков ДН;
- Лихорадка без очага инфекции (при наличии лабораторных маркеров бактериальной инфекции и/или признаков тяжести состояния);
- Локальные и/или асимметричные аускультативные и перкуторные изменения в легких.

в) КТ грудной клетки

Возможность выявления эффекта «матового стекла» (области повышенной плотности – затемнения в легких) как центрального, так и периферического расположения, или перибронхиального. Кроме того, могут быть выявлены консолидация легких (уплотнение легочной ткани за счет заполнения альвеол экссудатом), утолщения стенок бронхов, лимфаденопатия и плевральный выпот.

4) Функциональные исследования легких

1. Спирометрия – выявление рестриктивных (ограничительных) и обструктивных нарушений. Измеряемые показатели: жизненная емкость легких – ЖЕЛ, форсированная жизненная ёмкость легких – ФЖЕЛ, объём воздуха, выдыхаемого в течение первой секунды форсированного выдоха – ОФВ1.

2. Плетизмография – исследование функции внешнего дыхания и минутного объема кровообращения.

3. Исследование диффузионной способности легких по монооксиду углерода позволяет количественно оценить процесс переноса газов через альвеолярно-капиллярную мембрану (или эффективность транспорта кислорода из альвеол в кровотоки).

4. Импульсная осциллометрия – оценка проходимости дыхательных путей (ДП) по характеристике звуковых колебаний (осцилляций), отраженных дыхательными путями человека.

Тест 6-минутной ходьбы

Стандартизированный тест, не требующий специального оборудования, который отражает переносимость дозированных нагрузок; оценивается расстояние, пройденное по плоской поверхности за 6 минут, а также частота сердечных сокращений, дыхательных движений и оксигенация. [24]. Дистанцию, пройденную в течение 6 мин (the 6-min walk distance), измеряют в метрах и сравнивают с должным показателем – 6MWD(i), который вычисляют по специальным формулам, учитывающим возраст в годах, массу тела в килограммах, рост в сантиметрах, индекс массы тела (ИМТ).

6. Возобновление занятий спортом (возвращение к тренировочной и соревновательной деятельности) при различных вариантах течения коронавирусной инфекции

Многообразие клинической симптоматики, отсутствие тесных ассоциаций между тяжестью перенесенной инфекции и развитием осложнений вызывает опасения о возможности допуска спортсменов, перенесших SARS-CoV-2 инфекцию, к занятиям спортом. В связи с этим немецкие исследователи разработали, а российские адаптировали алгоритм принятия решений по допуску спортсменов к занятиям спортом с учетом течения основного заболевания, развития пневмонии и/или поражения сердечно-сосудистой системы (рис. 1).

Накопленный опыт о возможности более длительного течения коронавирусной инфекции, наличии постковидного синдрома, имеющего вариабельную клиническую картину, диктует поиск новых алгоритмов к допуску к занятиям спортом лиц, перенесших SARS-CoV-2 инфекцию.

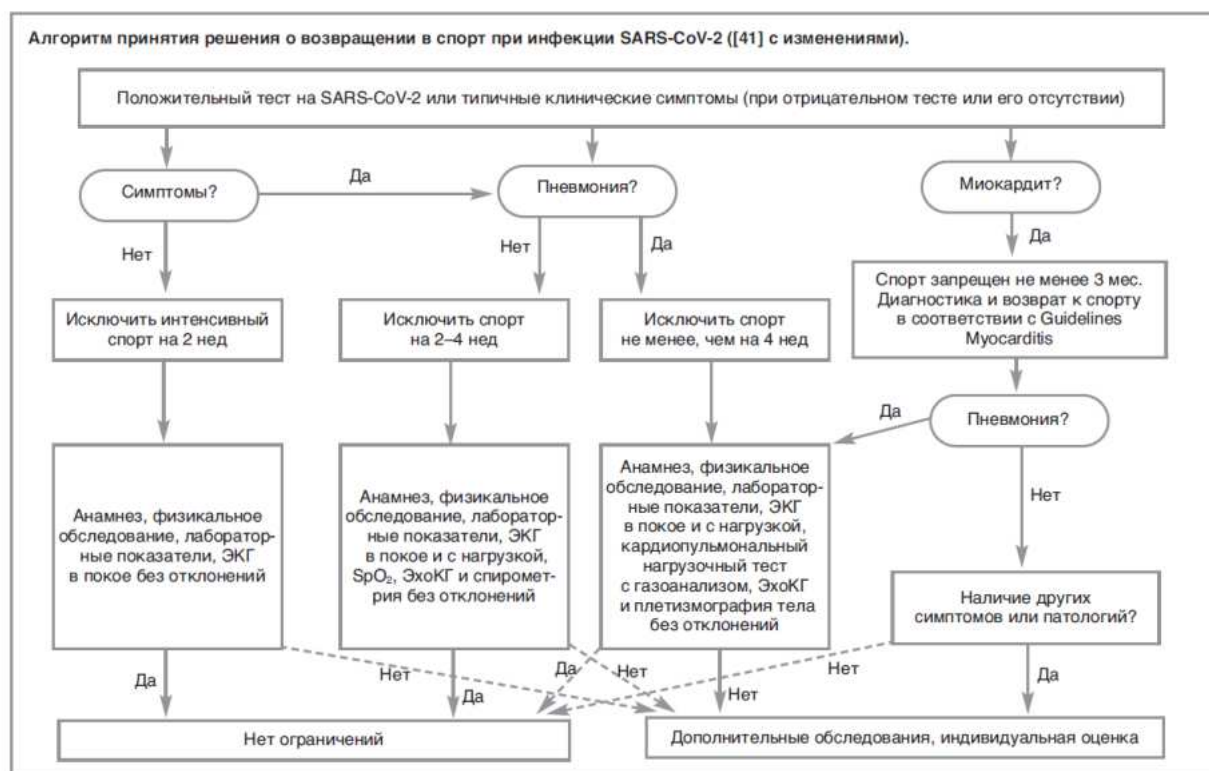


Рисунок 1 – Алгоритм принятия решений о возвращении в спорт спортсменов, перенесших SARS-CoV-2 инфекцию [26, 27]

Кроме того, в 2022 году было опубликовано новое согласительное заявление Американского общества кардиологов [25]:

- Спортсмены, у которых отсутствуют симптомы после инфицирования SARS-CoV-2, могут вернуться к тренировкам после 3 дней отвода от тренировок во время самоизоляции.

- Спортсмены с легкими или умеренными легочными симптомами перенесенной инфекции SARS-CoV-2 могут возобновить тренировки после исчезновения симптомов.

- Спортсмены с длительной инфекцией (≥ 3 месяца) без кардиальных и респираторных симптомов могут приступить к тренировкам без проведения дополнительного тестирования.

- Спортсмены, выздоравливающие от COVID-19, у которых сохраняются кардиальные и респираторные проявления (боль/стеснение в груди, учащенное сердцебиение, обмороки), и/или подозрительные на поражение сердца должны пройти «триадное» тестирование (ЭКГ, тропонин и эхокардиограмма); подобное тестирование также следует проводить в тех случаях, когда после возобновления физических нагрузок возникают новые симптомы.

- МРТ рекомендуется, если «триадное» тестирование не соответствует норме или сохраняются сердечно-легочные симптомы.

- Спортсменам с миокардитом следует воздерживаться от физических упражнений в течение 3–6 месяцев.

- Нагрузочный тест и/или холтеровское мониторирование могут быть полезны при обследовании спортсменов: 1) со стойкими сердечно-легочными симптомами и 2) с нормальным МРТ или МРТ, демонстрирующей иные формы поражения миокарда (или перикарда). При этом нагрузочный тест следует проводить только после исключения миокардита по данным МРТ.

- МРТ для скрининга спортсменов без симптомов или с несердечно-легочными симптомами, вероятно, будет малоэффективной.

- Повторное кардиологическое тестирование не требуется у спортсменов с рецидивирующим COVID-19 при отсутствии сердечно-легочных симптомов.

Обследование несовершеннолетних спортсменов после перенесенной инфекции COVID-19 (SARS-CoV-2)

В основе – персонализированный трехэтапный алгоритм обследования несовершеннолетних спортсменов после перенесенной инфекции COVID-19 (SARS-CoV-2), по результатам которого дается заключение о возможности их последующего допуска к занятиям спортом, или, как более принято обозначать этот этап в профильной литературе, – возвращение в спорт (BBC) (Рис. 2).

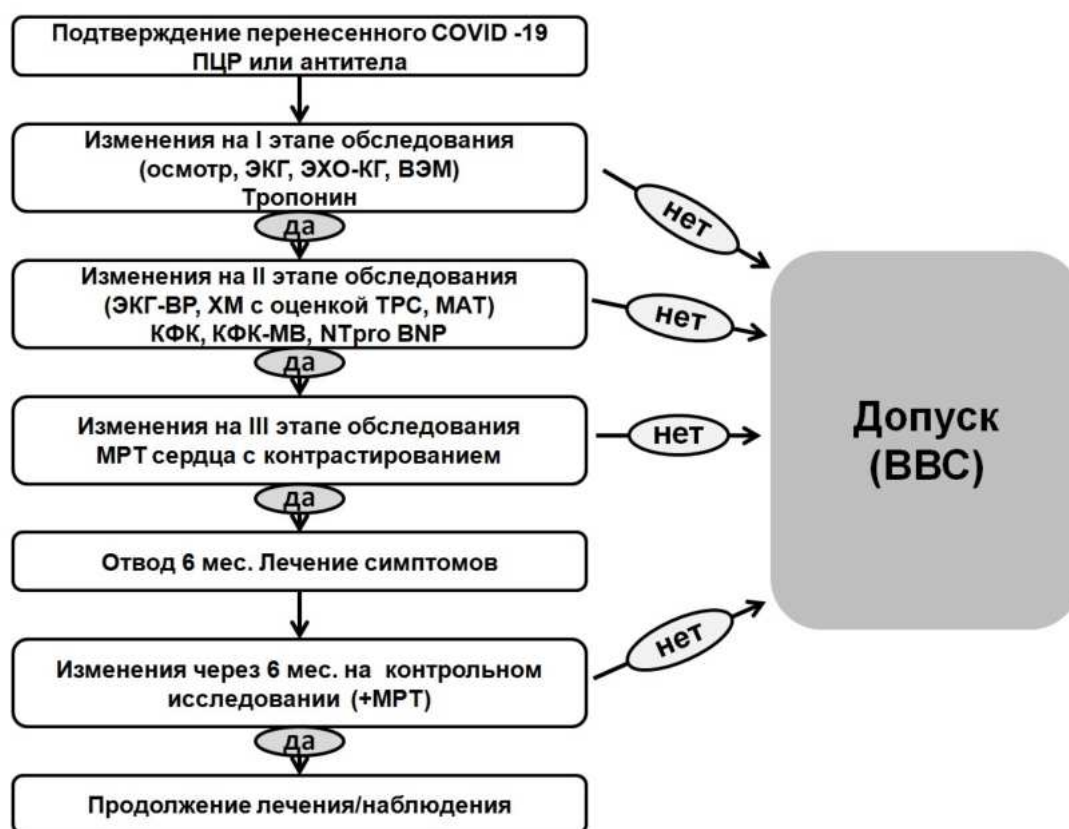


Рисунок 2 – Алгоритм обследования и допуска (возвращения в спорт) несовершеннолетних высокопрофессиональных спортсменов, перенесших инфекцию SARS-CoV-2

Легенда: COVID-19 – коронавирусная инфекция SARS-CoV-2; NT proBNP – натрийуретический пептид; ПЦР – полимеразная цепная реакция; BBC – возвращение в спорт; ВЭМ – велоэргометрия; КФК – креатинфосфокиназа; МАТ – микровольтная альтернация зубца Т; МРТ – магнитно-резонансная томография сердца; ТРС – турбулентность ритма сердца; ХМ – холтеровское

мониторирование; ЭКГ – электрокардиография; ЭКГ ВР – электрокардиография высокого разрешения; ЭХОКГ – эхокардиография.

После подтверждения перенесенного заболевания результатами ПЦР-теста на первом этапе обследования проводится стандартное УМО (жалобы, физикальный осмотр, ЭКГ, ЭХОКГ, ВЭМ) + тест на тропонин.

При осмотре акцент делается на субъективные жалобы (редкие у юных спортсменов): повышенную утомляемость, сердцебиение, одышку, снижение спортивных результатов. При физикальном осмотре оценивается частота дыхания и сердцебиения, границы сердца, глухость сердечных тонов, шумы, признаки сердечной недостаточности. Характерными для перенесенной коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 являются наличие нарушений вкусовых и обонятельных рецепторов.

При оценке ЭКГ и велоэргометрии внимание уделяется нарушениям ритма сердца и признакам метаболических изменений в миокарде (изменению реполяризации, зубца Т, сегмента ST, интервала QT). ЭХОКГ может показать отклонения в гемодинамических и морфологических параметрах работы сердца. Повышение уровня тропонина выше 0,3 нг/мл может свидетельствовать об активности воспалительного процесса.

При отсутствии изменений на первом этапе обследования дается допуск к спорту. Наличие отклонений требует дообследования на втором этапе, который включает дополнительно проведение холтеровского мониторирования с оценкой аритмий, реполяризации желудочков и вариабельности ритма сердца (показатель SDNN менее 100 мс, pNN50 менее 15 %) и желательно микровольтной альтернации зубца Т (более 55 мкВ), турбулентности ритма сердца (onset более 0 % и slope более 6 мс/RR). Определение биохимических маркеров поражения миокарда: повышение уровня креатинфосфокиназы (КФК и КФК-МВ), натрийуретического пептида (NT-proBNP). Если патологических изменений не выявлено, дается допуск к спортивным занятиям. При их наличии назначается проведение МРТ сердца с контрастированием гадолинием. Отсутствие патологического накопления контраста и признаков

повреждения миокарда исключает поражение миокарда. Если другие выявленные изменения (нарушения ритма сердца, нарушения реполяризации и прочие) не требуют отвода от спорта и лечения, дается допуск к спортивным тренировкам.

При наличии подтверждения поражения миокарда по данным МРТ сердца выставляется диагноз: I41.1 – Миокардит (вероятно, постковидный) с определением характера течения (острый, подострый, хронический) и степенью недостаточности кровообращения. Соответственно диагнозу назначается отвод от занятий спортом на 6 месяцев с назначением необходимого лечения.

Через 6 месяцев проводится повторное обследование по указанному алгоритму (Рис. 1) с решением вопроса о допуске и возвращении в спорт.

7. Основные аспекты восстановления кардиоваскулярной и респираторной функции у совершеннолетних и несовершеннолетних спортсменов, перенесших вирусные пневмонии. Предпосылки к применению сочетанной методики воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами

Наиболее часто диагностируемыми последствиями перенесенной COVID-19 являются респираторные проявления постковидного синдрома. В частности, учеными Королевского общества Лондона изучены данные 336652 человек, перенесших COVID-19, и определены 3 основных типа постковидного синдрома, для одного из которых характерны преимущественно респираторные проявления, преимущественно рестриктивного характера. В отношении взаимосвязи SARS-CoV-2 и бронхообструкции в постковидном периоде в литературе существуют разногласия, и однозначного вывода сделать пока не представляется возможным, так как нарушения функции внешнего дыхания сильно различаются в зависимости от применяемых методов их выявления, выраженности проявлений, срока после острой фазы заболевания и многих других факторов. Однако многими исследователями было выявлено снижение показателя DLCO, а рестриктивные нарушения вентиляции (снижение ОЕЛ < НГН) выявляются у данной категории спортсменов, включая несовершеннолетних, не менее чем в 10–15 раз чаще, чем обструктивные нарушения. Учитывая вышеизложенное, наиболее важным аспектом в реабилитации спортсменов, включая несовершеннолетних спортсменов, перенесших вирусные пневмонии, является восстановление дыхательного объема за счет активации дыхательной мускулатуры, к которой относится прежде всего диафрагма, а также межреберные мышцы. Электростимуляция диафрагмы – главной дыхательной мышцы, обеспечивающей в физиологических условиях две трети жизненной емкости легких, – представляет собой наиболее распространенный метод стимуляции дыхания. Однако эта процедура дискомфортна, а часто и болезненна, особенно у детей. Кроме этого, необходимо учитывать факт воздействия на периферический анализатор мышечной активности при электростимуляции диафрагмы, что является

неоптимальным условием для активации этой мышцы, так как в данном случае не задействован центральный механизм регуляции дыхания.

Таким образом, наиболее актуальны процедуры воздействия (стимуляции) непосредственно на дыхательный центр, который в ответ на раздражение запускает активацию как диафрагмы, так и межреберных мышц, которые, являясь по происхождению аутохтонными, функционируют рефлекторно, подчиняясь непосредственно дыхательному центру.

В качестве одного из наиболее перспективных методологических подходов, предполагающих воздействие на дыхательный центр (центральный механизм регуляции) и в итоге – активацию дыхательной мускулатуры, рассматривается применение гиперкапнического стимула (использование дополнительного «мертвого» пространства при вдохе – ДМП), особенно в сочетании со снижением процентного содержания кислорода в составе вдыхаемой газовой смеси. Также отмечается, что аппаратные технологии сочетанного применения гиперкапнических и гипоксических тренировок являются доступным средством активации и мобилизации центральных механизмов регуляции дыхания, ответственных за транспорт и утилизацию кислорода.

Данное направление коррекции респираторных нарушений у спортсменов, в том числе несовершеннолетних, перенесших вирусные пневмонии, мы считаем не только высокоэффективным, но и физиологически обоснованным методом восстановления функционального состояния дыхательных мышц, увеличения дыхательного объема и, как следствие, увеличения кислородного обмена за счет дополнительной стимуляции гуморальных механизмов регуляции кардиоваскулярной и респираторной систем. Кроме того, были продемонстрированы нейропротективные свойства сочетанных гиперкапнических и гипоксических воздействий, в первую очередь за счет влияния на митохондриальные АТФ-зависимые калиевые каналы и A1-рецепторы к аденозину, вероятность достижения эффектов нейропротекции особенно значима при постковидном синдроме [28].

8. Характеристика и особенности применения гиперкапнических/гипоксических газовых смесей в реабилитации спортсменов сборных команд Российской Федерации, в том числе несовершеннолетних, перенесших вирусные пневмонии различной природы

8.1. Обоснование применения гиперкапнических/гипоксических смесей в реабилитации спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации

Гиперкапнический стимул индуцирует повышение центральной инспираторной активности и соответствующее увеличение легочной вентиляции. Непременным условием эффективности легочного газообмена служит поддержание оптимальных вентиляционно-перфузионных отношений, которое обеспечивается сопряженной регуляцией систем дыхания, гемодинамики и крови.

Подобная стимуляция повышает газообмен, увеличивает выделение CO_2 и тем самым способствует выравниванию ее содержания в тканях; при этом изменения концентрации углекислоты и экспозиции могут индуцировать различные физиологические механизмы.

Циклические гиперкапнические воздействия приводят к раскрытию нефункционирующих ранее капилляров, тогда как гипоксические тренировки в том же режиме вызывают прежде всего увеличение диаметра капилляров. Показатели общей плотности капилляров, по сравнению с контрольными значениями, практически не изменяются, но плотность функционирующих капилляров резко увеличивается.

Радиус диффузии кислорода при гиперкапнических тренировках укорачивается больше, чем при гипоксических, и способствует лучшему снабжению тканей кислородом. Теоретически увеличение кислородного дефицита после добавления CO_2 должно было бы усугубить действие гипоксии; в действительности же отмечается обратный процесс, что проявляется как субъективными, так и объективными данными. Этот факт имеет следующее объяснение: динамическое наблюдение за потреблением кислорода во время и после гипоксии, без добавления и

с добавлением CO_2 показало, что O_2 в восстановительном периоде после добавления в дыхательную смесь CO_2 поглощается меньше, чем при гипоксии без добавления двуокиси углерода.

В связи с этим наиболее актуальным является сочетанное воздействие гиперкапническими и гипоксическими стимулами. Важным механизмом коррекции функционального состояния внешнего дыхания является расслабляющее влияние персистирующей гипоксии и гиперкапнии на тонус гладких мышц сосудов и бронхов. Следовательно, в процессе адаптации к гипоксии в организме происходит ряд изменений, направленных на снижение тонуса гладкой мускулатуры; с одной стороны, они могут быть связаны с повышением резистентности к гипоксии и меньшей выраженностью компенсаторных реакций, а с другой – являться результатом продукции и накопления биологически активных веществ, обладающих гипотоническим влиянием на гладкую мускулатуру сосудов и бронхов.

Необходимо также учесть роль такого параметра сочетанного воздействия гиперкапнического и гипоксического стимулов, как дополнительное «мертвое» пространство (ДМП). В качестве ДМП используются различные емкости, мешки, через которые совершаются вдохи и выдохи. Объем этих емкостей может варьировать в пределах от 500 до 2000 мл. Область использования ДМП в качестве дополнительного адаптагенного фактора достаточно широка – это и спортивная тренировка, и клиническая практика. Для создания эффекта ДМП предлагаются различные регуляторы его вентиляции, что позволяет дозировать степень гипоксии и гиперкапнии. Эффект метода реализуется в сочетании умеренной гипоксии и гиперкапнии, а также определенной дополнительной нагрузки на дыхательные мышцы. В.С. Фарфель впервые обратил внимание на возможность применения ДМП во время мышечной работы, считая, что метод воздействия на организм через дыхательную систему с помощью ДМП является наиболее простым и доступным, позволяющим дозированно увеличивать интенсивность респираторной тренировки и в то же время выполнять различные физические упражнения.

8.2. Дыхательные тренажеры для гиперкапнических/гипоксических тренировок

В мировой литературе можно найти информацию о следующих тренажерах с гиперкапническим/ гипоксическим воздействием:

1. Дыхательный тренажер «Самоздрав», при использовании которого в течение 20 минут в крови поднимается концентрация углекислого газа. При этом дыхательный центр (ДЦ) адаптируется к повышенному уровню двуокиси углерода, то есть происходит тренировка дыхательного центра. В течение нескольких месяцев работы на тренажере меняется паттерн дыхания, то есть происходит естественная адаптация (в т. ч. автономизация работы) дыхательного центра к нормальному (6 %) уровню CO_2 в крови в связи с плавным снижением интенсивности дыхания [29].

2. Дыхательный тренажер профессора В.П. Куликова «Карбоник» с возможностью ингаляционного введения лекарств, дозирования и измерений гипоксии и гиперкапнии, а также регулирования по обратной связи заданных программ тренировок; ощутимые результаты могут быть достигнуты спустя 2 недели тренировок на данном тренажере [30].

3. Гипоксикатор (аппарат горного воздуха) детский «Вершинка», рассчитанный на меньший объём вдоха и содержащий меньше сорбента. Гипоксикатор рассчитан на один курс лечения – до 30 минут в день в течение 2–3 недель. Эффект сохраняется в течение 6–12 месяцев [31].

4. Дыхательный тренажер O2IN, эффекты которого ориентированы на восстановление после коронавирусной инфекции и иных сезонных простудных заболеваний, при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ), астме, на профилактику заболеваний легких, а также на повышение эффективности занятий спортом (при совместном применении с двигательными нагрузками). Тренажер создает сопротивление на выдохе, которое преодолевают дыхательные мышцы. Происходит гиперкапническая/гипоксическая тренировка: увеличение концентрации углекислоты и снижение концентрации кислорода в организме [32].

5. Дыхательный тренажер Philips Respironics Threshold IMT с сопротивлением потоку при выдохе, что создает положительное давление, которое приводит к расширению дыхательных путей и более легкому отхождению секрета [33].

6. Дыхательный тренажер SpiroTiger, предназначенный в большей степени для применения спортивным сообществом, как любителей, так и профессионалов. Устройство тренирует практически все мышцы, участвующие в акте дыхания (глотки и гортани, живота, а также грудные и межреберные, мышцы спины и диафрагмы). В клинической практике Spiro Tiger продемонстрировал свою эффективность в лечении астмы, дыхательной недостаточности, а также других дыхательных заболеваний; данный тренажер включен в перечень рекомендованного оборудования для лечения и профилактики пневмонии, вызванной коронавирусной инфекцией (COVID-19) [13].

8.3. Особенности функционирования и параметры дыхательного гиперкапнического/гипоксического тренажера на примере аппарата Spiro Tiger

Общий вид тренажера представлен на рисунке 3.

Значимые особенности:

1. Непрерывная, ритмичная, функциональная терапия, т. е. соответствующая физиологическим особенностям вдоха и выдоха, их частоте;

2. Минимальное сопротивление воздухопроводящих деталей, дыхательного мешка и клапана; для предотвращения повреждения дыхательных путей при медицинском применении создается минимальное необходимое сопротивление при выдохе (PEP).

Регулируемые параметры тренажера:

- Частота дыхания и отклонения от необходимой глубины дыхания в реальном времени;
- Мониторинг частоты и глубины дыхания каждого вдоха;
- Длительность тренировки: 1–99 мин;
- Частота дыхания: 0 / 15–60 мин-1;

- Длительность цикла (In/Out): 1/1.0.



Рисунок 3 – Внешний вид гиперкапнического тренажера Spiro Tiger

8.4. Методика сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами у совершеннолетних спортсменов

Показания к проведению методики:

- анамнестические указания на перенесенную вирусную пневмонию в течение 30 последних дней;
- снижение остаточного дыхательного объема ниже 2,8 л;
- наличие постоянных субъективных признаков: быстрой утомляемости, одышки при интенсивной ходьбе;
- невозможность проведения комплексного курса традиционного восстановительного лечения.

Противопоказания к проведению методики:

- общая гипертермия;
- аллергические реакции на комплектующие аппарата.

В целом сочетанная методика применения в контингенте совершеннолетних спортсменов включает:

А) Объем ДМП: первые 5 процедур 500–1000 мл, до 10 процедуры – 1500 мл, затем – от 1500 до 2000 мл;

Б) Содержание модифицируемых компонентов газовой смеси: для тренировок системы дыхания и кровообращения – CO_2 в ходе первой процедуры от 4–4,5 об. % до 7–8 %, O_2 соответственно от 14–15 % до 10–11 % (в зависимости от выраженности проявлений постковидного синдрома);

В) Одними из основных критериев, определяющих возможность увеличения содержания CO_2 в газовой смеси во время проведения курса сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами, являются показатели АД и ЧСС. Тонometriю и пульсометрию проводят до и после каждой процедуры. Если разность показателей систолического и/или диастолического давления не превышает 5 %, а пульса – менее 9–10 %, то при следующей процедуре уровень CO_2 повышают на 0,5 % (с учетом технических условий создания ДМП тренажером), а уровень O_2 уменьшают на 1 % (при технической возможности данной функции дыхательного тренажера);

Г) Время процедуры: первые 5–7 процедур 15 минут, затем – 20 минут;

Д) Количество процедур: 12–14;

Е) Мониторинг: оценка сатурации – уровень не менее 78 % во время и после процедуры; спирометрия – после каждой 4-й или 5-й процедуры (в случае выраженной клинической симптоматики на момент начала применения гиперкапнических и гипоксических стимулов показано использование теста шестиминутной ходьбы – после каждой 5-й процедуры).

В таблице 1 представлен пример того, как вести индивидуальный спирометрический мониторинг наиболее значимых спирометрических параметров во время проведения курса гиперкапнических/гипоксических тренировок.

Таблица 1 – Результаты индивидуального спирометрического мониторинга курса дыхательной тренировки с использованием тренажера Spiro Tiger

Параметры	1-й день		5-й день		10-й день	
	До процедуры	После	До процедуры	После	До процедуры	После
Жизненная ёмкость легких (Л) FVC	3,3	3,5	3,5	3,7	4,2	4,5
Остаточный дыхательный объём (Л) FEV	2,8	2,9	3,0	3,3	3,5	3,7
Объёмная пиковая скорость вдоха (Л/с) PIF	5,33	5,35	5,45	5,52	6,10	6,35
Объёмная пиковая скорость выдоха (Л/с) PEF	5,27	5,32	5,40	5,61	6,12	6,32

8.5. Особенности подходов к применению гиперкапнических и гипоксических стимулов у детей

Тренировки с гиперкапнией/гипоксией находят все более широкое применение в немедикаментозной профилактике и реабилитации в контингенте несовершеннолетних, перенесших в том числе вирусные пневмонии. Экспериментально и клинически доказано, что повторяющиеся эпизоды гипоксии и последующей реоксигенации запускают каскады гематологических (повышение содержания эритропоэтина, гемоглобина, кислородной емкости крови) и негематологических (ангиогенез, активация гликолитической активности, утилизации липидов, системы антиоксидантной защиты, ингибирование апоптоза,

повышение буферной емкости мышц, биоэнергетической эффективности митохондриальной дыхательной цепи, хеморецепторной чувствительности, снижение симпатико-адреналовой реактивности и др.) механизмов.

При формировании применяемых в практической части исследования методических подходов были учтены результаты наиболее значимых исследований, реализованных в нашей стране по проблематике гиперкапнических и гипоксических стимулов у детей научными группами под руководством О.С. Глазычева (создание протокола оценки эффективности), а также Н.А. Агаджаняна и В.Г. Двоеносова (изучение эффектов) [34, 35].

О.С. Глазычев и соавторы предприняли также попытку выделения устойчивых типов (фенотипов) реакции подростков на дозированное воздействие гиперкапническим и гипоксическим стимулами. Основными критериями оценки были индивидуальные значения гипоксического индекса, длительность десатурации до установленного порога, а также степень прироста ЧСС по сравнению с исходными величинами. На основании этих показателей выделены три однородные группы подростков – с низким уровнем устойчивости к гипоксии, а также со средним и высоким уровнями. Результаты исследования представлены в таблице 2 [34].

Общим трендом изменений гемодинамических показателей во всех трех группах является значимый прирост ЧСС, максимально выраженный в группе с низкой устойчивостью к гипоксии, а также минимальная динамика систолического и диастолического артериального давления (достоверное снижение САД только в группе с высоким уровнем устойчивости к гипоксии). Очевидно, что детям с низкой устойчивостью к гипоксии на начальных этапах курсовых воздействий следует планировать структуру процедур с меньшей интенсивностью гипоксических стимулов – 12–14 % O_2 в течение нескольких дней, а затем под контролем результатов повторного гипоксического теста переходить на более интенсивные стимулы [35].

У подростков с исходно высокой гипоксической устойчивостью допустимо назначение более «жестких» режимов интервальных гипоксических тренировок, поскольку повторные кратковременные эпизоды нормобарической гипоксии низкой интенсивности у таких субъектов могут быть абсолютно неэффективны.

Таблица 2 – Среднегрупповые значения индикаторов переносимости нормобарической гипоксии в динамике гипоксического теста ($M \pm \delta$) (О.С. Глазычев и соавт.) [34]

Показатели	Группа НУГ	Группа СУГ	Группа ВУГ
SpO ₂ мин, %	82,0 ± 2,9	81,7 ± 3,0	82,0 ± 2,9
Время десатурации, с	121 ± 30,2	243,5 ± 138 ($p = 0,05$)*	382 ± 134 ($p = 0,01$)* ($p = 0,01$)**
Время реоксигенации, с	61,0 ± 26,0	52,7 ± 30,5	38,2 ± 21,2 ($p = 0,01$)**
Гипоксический индекс	2,14 ± 0,66	4,34 ± 1,15 ($p = 0,02$)*	9,63 ± 2,12 ($p = 0,01$)* ($p = 0,01$)**
ЧСС до ГТ, уд/мин	82,1 ± 7,4	80,9 ± 12,6	80,3 ± 9,0
ЧСС макс., уд/мин	113,5 ± 10,3 ($p = 0,007$)#	109,5 ± 13,8 ($p = 0,001$)#	109,0 ± 10,8 ($p = 0,06$)* ($p = 0,003$)#
САД до ГТ, мм рт.ст.	105 ± 5,0	109,0 ± 11,1	115,5 ± 9,5 ($p = 0,07$)*
САД после ГТ, мм рт.ст.	101,1 ± 6,7	108 ± 14,8	107,0 ± 13 ($p = 0,04$)#
ДАД до ГТ, мм рт.ст.	63,3 ± 7,3	69,7 ± 8,7	73,7 ± 9,6 ($p = 0,06$)*
ДАД после ГТ, мм рт.ст.	63,7 ± 9,2	67,2 ± 12,8	74,0 ± 9,6

Примечание. НУГ – низкая устойчивость к гипоксии; СУГ – средняя устойчивость к гипоксии; ВУГ – высокая устойчивость к гипоксии; ЧСС – частота сокращений сердца; ГТ – гипоксический тест; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление. * – по отношению к данным группы НУГ; ** – между группами СУГ и ВУГ; # – между данными до и после гипоксического теста в одной группе.

Н.А. Агаджанян и соавторы, по данным сравнительного исследования гипоксического/гиперкапнического теста у детей и взрослых, утверждают, что нарастающие условия гипоксии и гиперкапнии вызывали угнетение газообмена, в большей степени выраженное в группах юных спортсменов. Кислородные режимы организма подростков в этих условиях характеризуются меньшей экономичностью и эффективностью и большей «физиологической ценой» адаптации по сравнению со взрослыми, критерием оценки которой может выступать КЭКРС-О2. Большая

устойчивость кардиоваскулярной и респираторной систем к воздействию измененной газовой среды у взрослых спортсменов обеспечивается как за счет утилизации O_2 , так и поддержанием необходимого уровня кровотока. По итогам своего исследования, Н.А. Агаджанян и соавт. сочли нецелесообразным использование сочетанных гиперкапнических и гипоксических газовых смесей с содержанием CO_2 более 4–4,5 об. % и O_2 менее 14–15 %. Мы в нашей работе ориентировались именно на эти указания по дозированию O_2 и CO_2 в газовых смесях при выполнении сочетанных гиперкапнических/гипоксических тренировок [35].

8.6. Методика сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами у несовершеннолетних спортсменов

Показания к проведению методики:

- анамнестические указания на перенесенную вирусную пневмонию в течение 30 последних дней;
- снижение, относительно возрастных нормативов, остаточного дыхательного объёма на 20 % и более – при условии наличия данных, полученных до начала заболевания;
- наличие постоянных субъективных признаков: быстрой утомляемости, одышки при интенсивной ходьбе;
- невозможность проведения комплексного курса традиционного восстановительного лечения.

Противопоказания к проведению методики:

- общая гипертермия;
- острые соматические и инфекционные заболевания, хронические заболевания в стадии обострения/рецидива и/или декомпенсации;
- дыхательная недостаточность 3 степени, сопровождающаяся гипоксемией и гиперкапнией;
- врожденные аномалии сердца и крупных сосудов, выраженное повышение артериального давления;

- легочные кровотечения;
- индивидуальная непереносимость недостатка кислорода и избытка углекислого газа;

- аллергические реакции на комплектующие аппарата.

В целом сочетанная методика применения в контингенте несовершеннолетних спортсменов включает:

А) Объем ДМП: первые 5 процедур 500–700 мл, с увеличением за 2–3 процедуры до 700–1000 мл и продолжением в указанном объеме до 10–12 процедур;

Б) Содержание модифицируемых компонентов газовой смеси: для тренировок системы дыхания и кровообращения – CO_2 в ходе первой процедуры от 2–3 об. % до 5 % при последующих процедурах, O_2 соответственно от 20 об. % до 14–15 об. % (в зависимости от выраженности проявлений постковидного синдрома);

В) Одними из основных критериев, определяющих возможность увеличения содержания CO_2 в газовой смеси во время проведения курса сочетанного воздействия гиперкапническим и гипоксическим стимулами, являются показатели АД и ЧСС. Тонометрию и пульсометрию проводят до и после каждой процедуры. Если разность показателей систолического и/или диастолического давления не превышает 3 %, а разность показателей пульса менее 5–7 %, то при следующей процедуре уровень CO_2 повышают на 0,3 % (с учетом технических условий создания ДМП тренажером), а уровень O_2 уменьшают на 0,5 % (при технической возможности данной функции дыхательного тренажера);

Г) Время процедуры: первые 5–6 процедур 5 минут, затем – 10–12 минут;

Д) Количество процедур: 10–12;

Е) Мониторинг: оценка сатурации – уровень не менее 85 % во время и после процедуры; спирометрия – после каждой 4-й или 5-й процедуры (в случае выраженной клинической симптоматики на момент начала применения гиперкапнических и гипоксических стимулов показано использование теста шестиминутной ходьбы – после каждой 5-й процедуры).

Заключение

Поскольку общая и специальная выносливость спортсменов во многом определяются текущими функциональными возможностями респираторной системы, то особую актуальность в современном спорте высших достижений (включая спорт несовершеннолетних) приобретает методология восстановления после перенесенных заболеваний органов дыхания, в том числе после COVID-19 и пневмоний различного генеза. И именно эффективные технологии восстановления функции позволяют обеспечивать возможность безопасного возобновления тренировочной активности в кратчайшие сроки.

Физиологически обоснованная методика сочетанного использования газовых смесей с нарастающим содержанием углекислоты (гиперкапнический стимул) и снижающимся содержанием кислорода (гипоксический стимул) позволяет постепенно улучшать вентиляцию легких за счет повышения жизненной емкости легких (с увеличением количества функционирующих альвеол, укреплении дыхательной мускулатуры) и повышения уровня функционирования кардиоваскулярной системы; итоговая результирующая – повышение выносливости, прежде всего в аэробной и переходной (аэробно-анаэробного перехода) зонах.

Комплементарность указанной методики потребностям спорта обеспечивается тем фактом, что следствием напряженных физических нагрузок являются гипоксические и гиперкапнические состояния организма. Механизмы компенсации умеренных форм гипоксии, гиперкапнии или их комбинации в практически здоровом организме имеют определенное приспособительное значение в формировании адаптационных реакций, направленных на повышение устойчивости организма к воздействию комплекса экстремальных факторов. В связи с этим появляется возможность использования различных средств воздействия неспецифического характера, позволяющих повысить уровень функциональных возможностей организма без повышения величины тренировочных нагрузок. В этом контексте все большее распространение получают тренировки с использованием дыхания газовыми смесями с различной концентрацией кислорода и углекислого газа (гипоксическими

и гиперкапническими). В данных методических рекомендациях подробно показано применение гиперкапнической тренировки в качестве профилактического средства, оказывающего общеоздоровительное воздействие на организм и используемого в реабилитации работников, занятых в профессиональной деятельности, сопряженной с неблагоприятными для здоровья видами работ или экологических факторов.

Изучение влияния дыхания гиперкапническими/гипоксическими газовыми смесями показывает, что в результате адаптации к условиям гипоксии и гиперкапнии повышаются функциональные возможности органов кровообращения и дыхания, что позволит в более сжатые сроки восстанавливать функциональные способности систем жизнеобеспечения у взрослых и юных спортсменов, перенесших вирусные пневмонии различной этиологии. Данный вид немедикаментозного воздействия во время проведения заключительного этапа восстановительного лечения вирусных пневмоний является перспективным и востребованным методом восстановления функции внешнего дыхания, что, в свою очередь, способствует увеличению темпов восстановления спортивной работоспособности после перенесенных вирусных пневмоний. При этом необходимо учитывать, что гиперкапнический и гипоксический стимулы в определенном диапазоне усиливают друг друга, осуществляя в том числе тренировку выносливости дыхательных мышц (RMET – respiratory muscle endurance training). Такая тренировка задействует не только мышцы вдоха, но и мышцы выдоха, что свидетельствует о более физиологическом способе улучшить функцию дыхательных мышц. RMET повышает выносливость дыхательных мышц.

Таким образом, метод сочетанного применения гиперкапнических/гипоксических стимулов является актуальным и перспективным в реабилитации спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации, в том числе несовершеннолетних, перенесших вирусные пневмонии различной природы.

Библиография

- [1] Bogusławski S. et al. The outcomes of COVID-19 pneumonia in children – clinical, radiographic, and pulmonary function assessment // *Pediatric Pulmonology*. – 2023. – Т. 58. – №. 4. – С. 1042–1050.
- [2] Пермская краевая медицинская библиотека – КМБ «История пермской школы физиологов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pkmbic.com/?page_id=2499.
- [3] Бреслав И. С., Волков Н.И., Тамбовцева Р.В. Дыхание и мышечная активность человека в спорте. – 2013.
- [4] Камкин А., Каменский А. Фундаментальная и клиническая физиология. – 2004.
- [5] Зинчук В., Балбатун О., Емельянчик Ю. Нормальная физиология. Краткий курс. – Litres, 2021.
- [6] Симбирцев Г.С. Регулирующее влияние углекислого газа на потребление кислорода у спортсменов, развивающих выносливость в свете математического анализа продукции энергии аэробного окисления // *Спортивная медицина: наука и практика*. – 2019. – Т. 9. – № 3. – С. 12–24.
- [7] Каюмова А.Ф. и др. Физиология системы дыхания: учебное пособие // Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. – 2016.
- [8] Смирнов В.М. Физиология человека: учебник для вузов // М.: Медицина. – 2009.
- [9] Васильев В. Н., Капилевич Л.В. Физиология: учебное пособие // Томск: Издательство Томского политехнического университета. – 2010.
- [10] Katayama K. et al. Effects of Respiratory Muscle Endurance Training in Hypoxia on Running Performance // *Medicine and science in sports and exercise*. – 2019. – Т. 51. – №. 7. – С. 1477–1486.
- [11] Laurent H, Aubreton S, Galvaing G, Pereira B, Merle P, Richard R, Costes F, Filaire M. Preoperative respiratory muscle endurance training improves ventilatory capacity and prevents pulmonary postoperative complications after lung surgery. *Eur J Phys Rehabil*

Med. 2020 Feb; 56(1): 73–81. doi: 10.23736/S1973-9087.19.05781-2. Epub 2019 Sep 4. PMID: 31489810.

[12] Del Corral T. et al. Home-based respiratory muscle training on quality of life and exercise tolerance in long-term post-COVID-19: Randomized controlled trial // *Annals of physical and rehabilitation medicine*. – 2023. – Т. 66. – № 1. – С. 101709.

[13] Дыхательный тренажер «SPIROTIGER» [Электронный ресурс] /. – Режим доступа: <https://sportprosystems.ru/spirotiger/>.

[14] Кушнарева Ю.В. и др. ВЛИЯНИЕ ГИПЕРОКСИЧЕСКОЙ СМЕСИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ СПОРТСМЕНОВ, ПЕРЕНЕСШИХ РАНЕЕ COVID-19 И ТРЕНИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГОРЬЯ // *Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка*. – 2023. – Т. 2. – №. 2 (6). – С. 27–33.

[15] Мишустина В.Ю. Клинико-физиологические особенности использования метода совмещенного действия гипоксии и гиперкапнии для лечения заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем / В.Ю. Мишустина. – Текст: непосредственный // *Молодой ученый*. – 2023. – № 51 (498). – С. 135–137. – URL: <https://moluch.ru/archive/498/109417/> (дата обращения: 25.03.2024).

[16] Стариков С.М. и др. Физическая реабилитация больных пневмонией, ассоциированной с коронавирусной инфекцией (COVID-19) // Москва: Перо. – 2020.

[17] Han M. S. et al. Distinct clinical and Laboratory features of Covid-19 in Children during the Pre-delta, Delta and Omicron Wave // *The Pediatric Infectious Disease Journal*. – 2023. – Т. 42. – № 5. – С. 423–428.

[18] Kompaniyets L. et al. Underlying medical conditions associated with severe COVID-19 illness among children // *JAMA network open*. – 2021. – Т. 4. – № 6. – С. e2111182-e2111182.

[19] Waghmare A., Hijano D. R. SARS-CoV-2 infection and COVID-19 in children // *Clinics in chest medicine*. – 2023. – Т. 44. – № 2. – С. 359–371.

[20] Öztürk G. K. et al. Pulmonary function tests in the follow-up of children with COVID-19 // *European Journal of Pediatrics*. – 2022. – Т. 181. – № 7. – С. 2839–2847.

[21] Клинические рекомендации «Пневмония внебольничная» (возрастная категория – дети) / ред. совет: А.А. Баранов [и др.]. – Москва: Минздрав РФ, 2022. – 78 с.

[22] Norbedo S. et al. Lung ultrasound point-of-view in pediatric and adult COVID-19 infection // Journal of Ultrasound in Medicine. – 2021. – Т. 40. – № 5. – С. 899–908.

[23] Hizal M. et al. Diagnostic value of lung ultrasonography in children with COVID-19 // Pediatric pulmonology. – 2021. – Т. 56. – № 5. – С. 1018–1025.

[24] Ring A.M. et al. Pulmonary function testing in children's interstitial lung disease // European Respiratory Review. – 2020. – Т. 29. – № 157.

[25] Gluckman T.J., Bhav N.M., Allenet L.A, Chung E H., Spatz E.S, et al. 2022 ACC expert consensus decision pathway on cardiovascular sequelae of COVID-19 in adults: myocarditis and other myocardial involvement, post-acute sequelae of SARS-CoV-2 infection, and return to play: a report of the American College of Cardiology solution set oversight committee // J Am Coll Cardiol. – 2022. – Vol 79. P. 1717–1756.

[26] Nieß A.M., Bloch W., Friedmann-Bette B., et al. Position stand: return to sport in the current Coronavirus pandemic (SARS-CoV-2/COVID-19) // Dtsch Z Sportmed. – 2020. Vol 71, No 5. P. E1–E4.

[27] Бадтиева В.А., Шарыкин А.С., Зеленкова И.Е. Спортивная медицина и спортивное сообщество в условиях эпидемии коронавируса // Consilium Medicum. – 2020. 22 (5): 28–34.

[28] Трегуб П.П. и др. Роль аденозиновых A1-рецепторов и митохондриальных K⁺ АТФ-каналов в механизме увеличения резистентности к острой гипоксии при сочетанном воздействии гипоксии и гиперкапнии // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2014. – Т. 58. – № 4. – С. 48–52.

[29] Дыхательный тренажер «Самоздрав» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.medtehno.ru/catalog/speic_djx_bal/Dih_tren_samozdrav/.

[30] Дыхательный тренажер профессора Куликова «Карбоник» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.medtehno.ru/catalog/speic_djx_bal/Djx_tren_karbonik/.

[31] Гипоксикатор детский «Вершинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.oxy2.ru/products/gipoksikator_detskij_vershinka.html.

[32] Дыхательный тренажер «O2IN» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://o2in.ru/>.

[33] Дыхательный тренажер «Threshold IMT HH1332» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mfhc.ru/catalog/element/dykhatelnyy-trenazher-threshold-imt-hh1332/>.

[34] Глазачев О.С. и др. Индикаторы индивидуальной устойчивости к гипоксии – путь оптимизации применения гипоксических тренировок у детей // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2020. – Т. 65. – № 4. – С. 78–84.

[35] Агаджанян Н.А., Двоеносов В.Г. Возрастные особенности реакции кардиореспираторной системы на комбинированное воздействие гипоксии и гиперкапнии // Общая реаниматология. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 40–44.

Библиографические данные

УДК 61:796/799

Ключевые слова: спортсмены высокого класса, коронавирусная инфекция, пневмония, дыхательный тренажер, гиперкапнические/гипоксические дыхательные смеси, осложнения, влияние, пост-COVID-19.