

УНИВЕРСИТЕТ РЕАБИЛИТАЦИИ

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КУРС «СУХАЯ ИММЕРСИЯ. НЕВЕСОМОСТЬ НА ЗЕМЛЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ, ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ЛЕЧЕНИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ»

Журнал «Физиотерапия, бальнеология и реабилитация» и Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина Федерального агентства научных организаций представляют дистанционный образовательный курс «**Сухая иммерсия. Невесомость на Земле: теоретические и прикладные аспекты, возможности применения в лечении и реабилитации**», подготовленный компетентными специалистами направления. В данном курсе обсуждаются вопросы срочных, адаптационных и отставленных реакций различных систем организма на изменения гравитационной среды и возможности использования их в лечебной и реабилитационной практике.

Курс проводят И.В. Саенко, канд. мед. наук, старший научный сотрудник ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН; А.Ю. Мейгал, д-р мед. наук, профессор, руководитель лаборатории новых методов физиологических исследований Петрозаводского государственного университета; Г.В. Дятчина, канд. мед. наук, врач высшей категории ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России; О.В. Побута, заведующая отделением физической реабилитации ГБУ г. Москвы «Реабилитационный центр «Текстильщики».

Ведущий рубрики – **О.В. Кубряк**, д-р биол. наук, заведующий лабораторией физиологии функциональных состояний человека НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина.

Программа курса:

1. Сухая иммерсия – метод моделирования невесомости в условиях Земли: физиологические основы и особенности методических подходов.
2. Изменения физиологических функций различных систем организма человека в условиях сухой иммерсии.
3. Особенности функционирования двигательной системы человека в условиях сухой иммерсии.
4. Сухая иммерсия в реабилитации больных паркинсонизмом: возможности и особенности применения.
5. Сухая иммерсия в реабилитации больных ДЦП: возможности и особенности применения.
6. Сухая иммерсия в реабилитации пациентов с патологией сердечно-сосудистой системы: возможности и особенности применения.

Форма:

– каждое занятие состоит из краткой лекции и контрольных вопросов.

– заочный дистанционный курс – в каждом выпуске журнала в 2018 г. в рубрике «Университет реабилитации» публикуются материалы очередного занятия и вопросы к нему.

Курс рассчитан на специалистов, имеющих высшее медицинское или медико-биологическое образование, а также студентов старших курсов высших учебных заведений биомедицинского профиля.

Занятие № 2. Изменения физиологических функций различных систем организма человека в условиях «сухой» иммерсии

Опыт 40-летнего использования метода «сухой» иммерсии (СИ) позволил выделить принципиально важные стадии развития изменений в организме человека в условиях погружения [1].

Первая стадия – это стадия непосредственных эффектов, которая длится до 2 ч от момента погружения человека в иммерсионную среду. На этом этапе снимается нагрузка с костно-мышечной системы. При этом существенно снижается напряжение всех мышц, особенно разгибателей, которые сохраняют свой тонус даже при длительном постельном режиме. Такой «мышечный отдых» от обычных деформаций и напряжений приводит к «разгрузке» сердца и переходу сердечной мышцы на щадящий режим работы.

Перераспределение жидких сред организма обуславливает снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления.

Вторая стадия – стадия острых эффектов длительностью до 12 ч. Воздействия свыше 12 ч называются хроническими или длительными и вызывают изменения в деятельности организма, сравнимые с изменениями в реальных космических полетах. СИ оказывает влияние на деятельность практически всех систем организма человека. Однако для дальнейшего понимания терапевтических эффектов данного метода особенно важно и интересно рассмотреть изменения в деятельности таких систем, как двигательная, сердечно-сосудистая, изменения

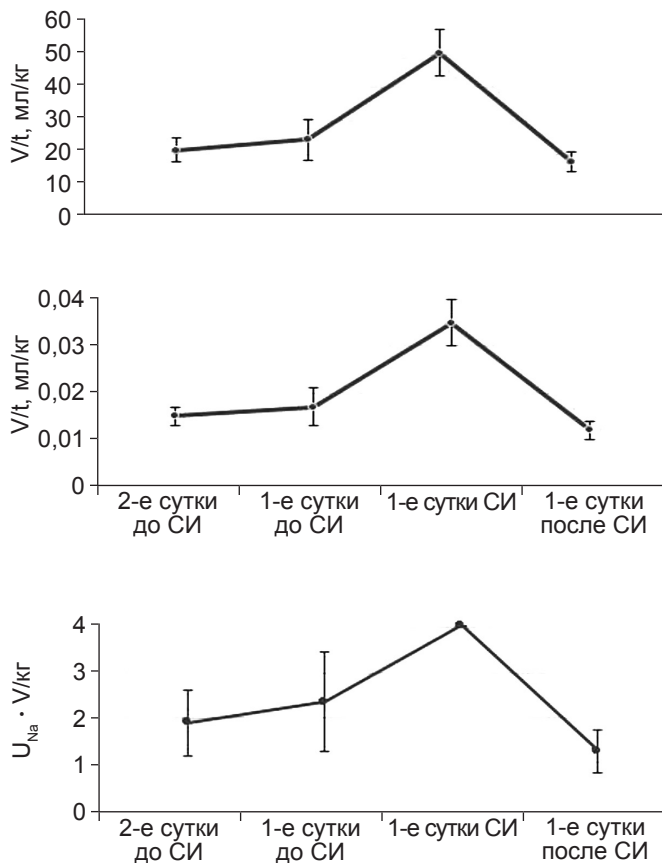


Рис. 1. Показатели осморегулирующей и экскреторной функций почек во время СИ.

водно-электролитного баланса. Особенности изменений в работе двигательной системы будут рассмотрены на следующем занятии. В этом разделе будет описано влияние СИ на водно-электролитный баланс, деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека.

Водно-электролитный баланс

Согласно данным большинства исследований в термонейтральной СИ, во время иммерсионного воздействия отмечаются признаки адаптационной перестройки водно-электролитного обмена. Воздействие СИ закономерно вызывало ускоренное выведение жидкости, электролитов (натрия), снижение объема циркулирующей плазмы. Диурез (V) и минутный диурез (V/t), нормированные на массу тела, резко увеличивались в 1-е сутки СИ [1] (рис. 1). После завершения периода иммерсии эти показатели значительно уменьшались, что свидетельствовало о выраженности реакции задержки жидкости в организме (поступление её оставалось постоянным и нормированным также в период реабилитации). Выведение почками осмотически активных веществ было увеличенным в 1-е сутки иммерсии в основном за счет экскреции натрия ($U_{Na} \cdot V/kg$). В сравнении с величинами контрольных измерений при обычном режиме жизнедеятельности в те же часы скорость выведения натрия возрастала в 2,6–2,8 раза.

Предполагается, что основным стимулом, который инициирует водно-электролитные сдвиги во время по-

гружения, является перераспределение жидкости в центральные сосудистые области. При погружении гидростатическое давление снижает периферическую сосудистую ёмкость и увеличивает сосудистую перфузию. Это приводит к быстрому перераспределению жидкости с относительной центральной гиперволемией, что запускает цепь событий: увеличение сердечного выброса, снижение активности симпатической нервной системы, подавление ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, увеличение предсердного натрийуретического пептида, снижение вазомоторного тонуса и, в конечном счёте, увеличение диуреза и экскреции натрия (рис. 2).

Подавление уровня вазопрессина у обычно гидратированных испытуемых с началом погружения регистрировалось многими авторами [2]. Во время СИ уровень вазопрессина снижается в первые 1,5 ч ($0,8 \pm 0,2$ пг/мл против $2,3 \pm 0,6$ пг/мл при исходном уровне), затем через 5 ч восстанавливается до базового. На 6-е и 7-е сутки иммерсии уровень вазопрессина остаётся неизменным, а в первый день восстановления значительно повышается ($8,6 \pm 1,2$ пг/мл) по сравнению с $2,4 \pm 0,7$ пг/мл на 7-е сутки.

Ренин-ангиотензин-альдостероновая система

Немедленная реакция на погружение – это подавление активности ренина в плазме и альдостерона плазмы. В дальнейшем уровень ренина в плазме возвращается к исходному и значительных изменений на 3, 6 или 7-е сутки сухого воздействия не обнаружено [3]. Кроме того, во время СИ выявлено немедленное увеличение уровня предсердного натрийуретического пептида.

Немедленной реакцией на погружение является достаточно выраженное снижение объема циркулирующей плазмы (приблизительно на 15% от исходного уровня). Однако в то же время концентрация белков в плазме не увеличивается, несмотря на уменьшение объема плазмы [3], а может даже снижаться. Это можно объяснить частичным переносом белков плазмы в интерстициальную жидкость из-за увеличенной трансапикалярной скорости эвакуации и уменьшения лимфатического возврата. Во время иммерсии, когда происходит гидростатическая компрессия поверхностных тканей и непрерывная трансапикалярная «автотрансфузия», наблюдается большая потеря интерстициальной жидкости. Перераспределение белков из плазмы в интерстициальную жидкость увеличивает онкотическое давление интерстициальной жидкости и предотвращает дальнейшее обезвоживание тканей.

Сердечно-сосудистая система

В течение 4 ч после сухого погружения значительно снижались ЧСС (рис. 3), систолическое и диастолическое артериальное давление, а также на 9% увеличивался ударный объем. Надо отметить, что во время космического полёта систематическая 24-часовая регистрация ЧСС и артериального давления в течение первых 5–10 дней также показала снижение ЧСС на 7%, значительное снижение диастолического давления и тенденцию к уменьшению систолического давления. В течение первых 2 ч СИ общее периферическое сопротивление сосудов снижалось на 7%. При длительном воздействии общее периферическое сопротивление

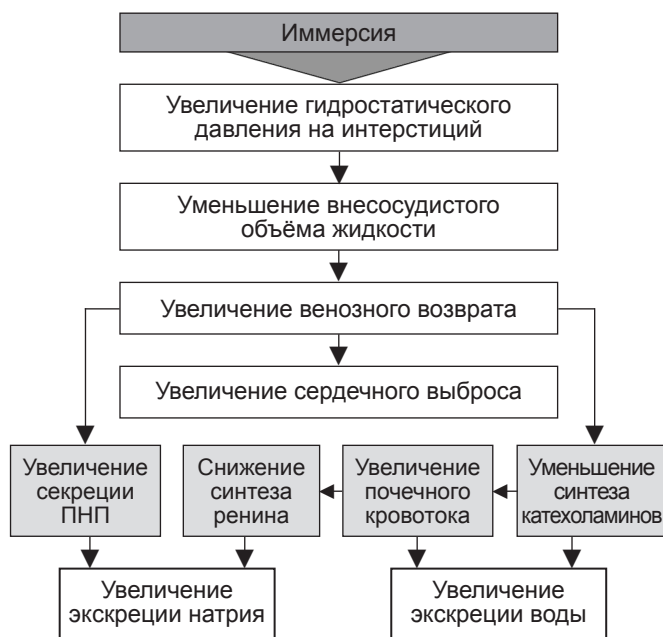


Рис. 2. Механизмы физиологических изменений водно-электролитного баланса в острой фазе СИ.

ние, наоборот, начинало увеличиваться. Что касается регионального кровообращения [4], то уменьшение кровоснабжения рабочих мышц наблюдали только на 3-и и 7-е сутки «сухого» погружения. После 7 дней СИ максимальный кровоток на уровне голени (по данным плетизмографии) уменьшился на 7%. Авторы предположили, что вероятными причинами являются структурные изменения в сосудистом русле, которые приводят к снижению перфузионной способности.

Изменения в венозной системе под влиянием невесомости изучались с начала космической эры. Считается, что увеличение венозной податливости вен нижних конечностей в совокупности с увеличением объема крови в нижних отделах тела после космических полетов является одной из причин ортостатической непереносимости у космонавтов. В условиях СИ увеличение венозной податливости вен голени хорошо исследовано [5]. Увеличение этого показателя на 7% наблюдалось уже после первых 7 ч иммерсионного воздействия.

Регуляция кровообращения при воздействии иммерсии является динамичным процессом, который стабилизируется после 20-минутного периода. Важная роль при этом принадлежит и механизмам вегетативной регуляции кровообращения [6]. Первые 12 ч сухого погружения индуцируют снижение симпатической и увеличение парасимпатической модуляции [7]. При длительном сухом погружении вегетативный баланс смещается в сторону более значительной активации симпатического отдела.

Дыхание

Поскольку в последние годы СИ всё активнее применяется в качестве лечебной физиотерапевтической процедуры, изучение механики дыхания в условиях иммерсии представляется крайне важным. Во время погружения в воду в респираторной системе происхо-

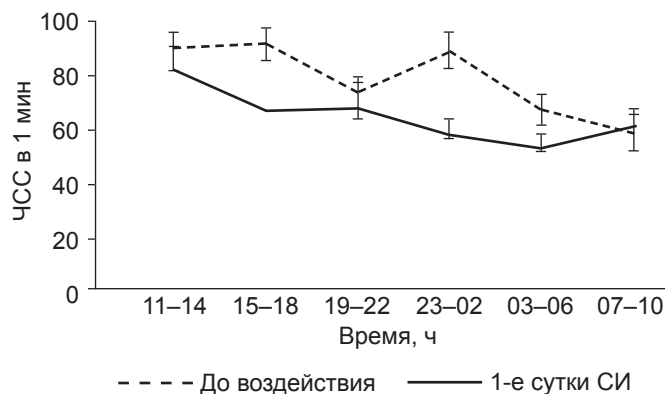


Рис. 3. ЧСС в 1 мин в динамике наблюдения по усреднённым данным холтеровского мониторинга.

дят изменения, зависящие от ориентации тела человека относительно вектора гравитации и соотношения между давлением газа в дыхательных путях и гидростатическим давлением на поверхность грудной клетки.

На сегодняшний день в исследованиях в условиях СИ были обнаружены лишь незначительные изменения функции дыхания. Во время «сухого» погружения не было обнаружено какого-либо увеличения количества неентируемых альвеол или признаков развития ателектаза или отёка легких. Давление воды на брюшной и грудной отделы создает дополнительную, хотя и незначительную, респираторную нагрузку. Внутривентикулярное давление остаётся равным атмосферному давлению, тогда как внешнее давление на грудную клетку увеличивается пропорционально глубине погружения. Наблюдаемые умеренные изменения связаны с уменьшением объема дыхательных путей, максимальной вентиляции легких и времени удерживания дыхания при вдохе и выдохе, которые происходят в острый период (первые 1–3 дня), особенно в первые несколько часов адаптации к сухому погружению. К 5-м суткам погружения большинство респираторных индексов восстанавливаются.

ЛИТЕРАТУРА

- Larina I.M., Sukhanov Yu.V., Lakota N.G. Mechanisms of early changes in water-electrolyte metabolism in man in various ground-based models of the effects of microgravity. *Aviakosm. Ekolog. Med.* 1999; 33: 17–23
- Larina I.M., Custaud M.A., Pastushkova L.Kh., Vasilieva G.Yu., Dobrokhoto I.V., Istomina V.E. Water-electrolyte metabolism, renal function and cutaneous microcirculation in human subjects during 7-day dry immersion. *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2008; 42: 29–34. (In Russ.)
- Navasiolava N.M., Custaud M.A., Tomilovskaya E.S., Larina I.M., Mano T., Gauquelin-Koch G. et al. Long-term dry immersion: review and prospects. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2011; 111(7): 1235–60.
- Vinogradova O.L., Stoida Yu.M., Mano T., Iwase S. Effects of gravitational unloading on blood supply of working muscles. *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2002; 36: 39–46 (In Russ.)
- Popov D.V., Saenko I.V., Vinogradova O.L., Kozlovskaya I.B. Mechanical stimulation of foot support zones for preventing unfavourable effects of gravitational unloading. *J. Gravit. Physiol.* 2003; 10: 59–60
- Баевский Р.М., Григорьев А.И. *Концепция здоровья и космическая медицина*. М., 2007.
- Eshmanova A.K. *Heart rate variability and myocardium state: effect of "dry" immersion*. PhD dissertation. Moscow; 2009. <http://www.imbp.ru/WebPages/WIN1251/Science/DisserSov/Summaries/Eshmanova-ref.doc>. (In Russ.)

Контрольные вопросы к занятию № 2

№	Вопрос	Выделите только один, однозначно верный, на Ваш взгляд, вариант ответа из предложенных (верных и ошибочных)			
1	Какие выделяют стадии развития изменений в организме человека в условиях «сухой» иммерсии?	Стадия непосредственных эффектов, стадия острых эффектов и хроническая стадия воздействия	Стадия непосредственных эффектов, стадия острых эффектов	Стадия острых эффектов и хроническая стадия воздействия	Стадия непосредственных эффектов и хроническая стадия воздействия
2	Каковы критерии изменения водно-электролитного баланса в условиях «сухой» иммерсии?	Увеличение диуреза, снижение объема циркулирующей плазмы (ОЦП)	Снижение ОЦП	Увеличение диуреза, увеличение экскреции Na, снижение ОЦП	Увеличение диуреза, увеличение экскреции Na
3	Какая цепь событий, приводит увеличению диуреза и экскреции натрия в условиях «сухой» иммерсии?	Снижение активности симпатической нервной системы, подавление ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, увеличение предсердного натрийуретического пептида	Увеличение сердечного выброса, снижение активности симпатической нервной системы, подавление ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, увеличение предсердного натрийуретического пептида, снижение вазомоторного тонуса	Снижение активности симпатической нервной системы	Подавление ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, увеличение предсердного натрийуретического пептида
4	Как изменяется концентрация белков в плазме при выраженном снижении ОЦП?	Не изменяется	Незначительно увеличивается	Снижается	Существенно увеличивается
5	Как изменяется ЧСС в первые часы «сухого» погружения?	Снижается	Не изменяется	Увеличивается	Таких данных нет
6	Как изменяются показатели АД в первые часы «сухого» погружения?	Не изменяются	Увеличиваются	Таких данных нет	Снижаются
7	Как изменяется показатель общего периферического сопротивления сосудов в первые часы «сухого» погружения?	Увеличивается	Не изменяется	Снижается	Таких данных нет
8	В острую фазу «сухой» иммерсии регистрируется ...	Только снижение активности симпатической нервной системы	Только снижение активности парасимпатической нервной системы	Снижение активности парасимпатической нервной системы и увеличение активности симпатической нервной системы	Снижение активности симпатической нервной системы и увеличение активности парасимпатической нервной системы
9	Как изменяется функция дыхания в условиях «сухой» иммерсии?	В условиях «сухой» иммерсии обнаружены выраженные изменения в функции дыхания	В условиях «сухой» иммерсии обнаружено увеличение количества невентилируемых альвеол	В условиях «сухой» иммерсии обнаружены лишь незначительные изменения в функции дыхания	В условиях «сухой» иммерсии обнаружены признаки отека легких
10	Наблюдаемые умеренные изменения функция дыхания связаны с ...	Изменением внутрилегочного давления	Уменьшением объема дыхательных путей, максимальной вентиляции легких и времени удерживания дыхания при вдохе и выдохе	Развитием ателектаза легких	Уменьшением объема дыхательных путей