

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 будут обсуждаться 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 № 1. Сухая иммерсия – метод моделирования невесомости в условиях Земли: его физиологические основы и особенности методических подходов

Взаимодействие с водой для человека является естественным состоянием. Жизнь зародилась в воде, наши предки долгое время эволюционировали в сложные высокоразвитые организмы именно в водной среде. Человек в течение 9-месячного пренатального периода формируется, будучи погруженным в жидкостную среду. Лечебные свойства гидротерапии известны давно и используются на протяжении многих лет. Однако растущий научный интерес к водной иммерсии (лат. *immersio* – погружение) обусловлен не предыдущим опытом, а скорее развитием космической отрасли, а точнее – пилотируемой космонавтики. Уже первые полёты в космос показали, что невесомость вызывает многочисленные физиологические изменения практи-

чески во всех системах организма человека. Изменение гравитации влияет на работу мышечно-скелетной, сердечно-сосудистой, сенсорных, нервной и других систем. Для комплексного анализа механизмов этих нарушений, их последствий, а также исследования возможных механизмов адаптации к условиям пониженной гравитации и эффективной подготовки космонавтов было необходимо разработать наземные модели, имитирующие условия невесомости на Земле. Иммерсия стала одной из таких моделей, и это позволило начать систематические фундаментальные исследования гравитационных механизмов в физиологических системах организма человека и открыть новое направление в физиологии – гравитационную физиологию.

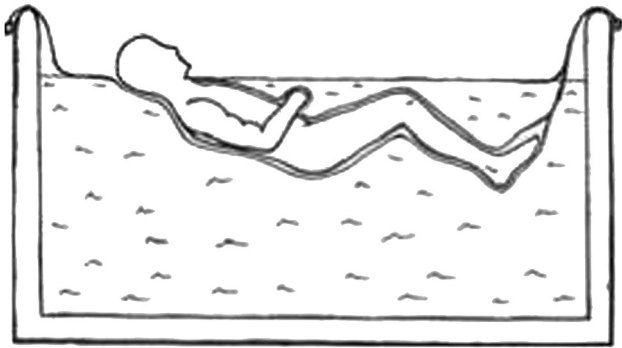


Рис. 1. Метод «сухого» погружения.



Рис. 2. Современная модификация ванны для создания метода сухой иммерсии.

Классификация иммерсионных моделей

Термин «погружение» охватывает ряд различных подходов. Иммерсионную модель невесомости можно классифицировать следующим образом:

- по составу иммерсионной среды: используется обычная вода, растворы хлорида натрия или кремния;
- в соответствии с положением оси тела: погружение может быть вертикальным (положение стоя, сидя и даже в перевернутом состоянии) или горизонтальным;

- по глубине погружения: погружение до шеи (также называемое головным или глубоким погружением), частичное погружение (до подмышечной впадины, мечевидного отростка грудины и т. д.);

- по температуре жидкостной среды: погружение может быть холодным (ниже 37–39°C), термонеutralным (около 33–36°C), горячим (37–39°C);

- по способу изоляции объекта погружения от жидкостной среды: погружение без изоляции («мокрое» погружение), погружение с изоляцией с помощью водолазного костюма (погружение «костюмом») или водонепроницаемой плёнки («сухое» погружение; рис. 1);

- по времени экспозиции: погружение может быть коротким (до 2 ч) или продолжительным (до нескольких недель).

Основными ограничениями обычного метода «мокрого» погружения являются его продолжительность, которая не может превышать 6–12 ч, и использование для погружения изотонического или гипертонического раствора хлорида натрия или кремния. Это приводит к мацерации кожного покрова, является значимым ограничением при отборе испытуемых (любые, даже небольшие повреждения кожных покровов являются противопоказанием для погружения в солевые растворы), а также требует существенных затрат и вызывает технические трудности в реализации данной технологии. Напротив, «сухое» погружение, как простой метод, легко реплицируется и позволяет продлить экспериментальный период.

Сухая иммерсия: история создания и описание

Метод «сухого» погружения был впервые предложен в начале 1970-х гг. как средство моделирования длительной микрогравитации в эпоху активного развития космических программ Е.Б. Шульженко и И.Ф. Виль-Вильямс, советскими специалистами в области космической биологии и медицины, которые работали в Институте авиационной и космической медицины (ныне ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» (ИМБП) РАН, Москва). Они представили доказательства того, что использование метода «сухого» погружения позволяет проводить длительные эксперименты без сопутствующих осложнений [1]. Технология получила название «сухая иммерсия». Первые эксперименты длились 10 ч, а затем были проведены «сухие» погружения длительностью 3, 7, 13 и 28 дней. Эксперименты с использованием метода сухой иммерсии проводятся в ИМБП РАН уже на протяжении 40 лет. Наиболее используемые по длительности погружения – 3 и 7 дней в зависимости от экспериментальной задачи [2].

Для реализации данного метода была разработана специальная ванна, которая наполнялась водопроводной водой и устанавливалась в помещении, оснащённом внешней системой подогрева и очистки воды. В настоящее время в ИМБП совместно с ООО «Центр авиакосмической медицины и технологий» разработана новая модификация ванны со встроенными автоматическими системами очистки и нагрева воды, что позволяет устанавливать её в любых помещениях (рис. 2).

Вокруг внешнего края ванны крепится специальная высокоэластичная водонепроницаемая ткань (защищено патентом и ноу-хау). Площадь ткани значительно превышает площадь поверхности воды и рассчитывается по специальной формуле.

В ванне есть встроенный лифт для опускания и поднятия человека. Испытуемый, одетый в удобный спортивный костюм, помещается на непромокаемую ткань после того, как ткань сначала покрывается индивидуальной хлопковой простыней. Испытуемый медленно опускается в воду на лифте, и его тело постепенно покрывается складками ткани вместе с водой, которую они содержат. За счёт специальных свойств ткани испытуемый «свободно подвешивается» в массе воды, при этом контакта с водой не происходит. В зависимости от задач и необходимости развития тех или иных физиологических эффектов определяется протокол глубины погружения. При этом испытуемый может работать на компьютере, читать, принимать пищу и выполнять экспериментальные задачи. Температура воды регулируется автоматически и также устанавливается в зависимости от задач и необходимости развития тех или иных физиологических эффектов. Как правило, применяется термонеutralный температурный режим (32–34,5°C). В соответствии с положением оси тела тип погружения во время сухой иммерсии горизонтальный.

Основные факторы при использовании сухой иммерсии

Важно помнить, что только одновременное действие трёх основных факторов на организм человека во время сухой иммерсии воспроизводит в полной мере физиологические эффекты этого метода.

Первый фактор – это безопорность. Опорная афферентация является ключевой в регуляции постральной мышечной системы. Рецепторные функции этой системы осуществляются глубокими инкапсулированными рецепторами кожи (тельца Фатера–Пачини). Рецепторы широко представлены в различных областях кожного покрова. Однако расположение телец Фатера–Пачини в кожной поверхности стоп человека позволило исследователям предположить их жёсткую связь с рецепцией опоры. Функциональные свойства телец Фатера–Пачини также отвечают задачам анализа опорных раздражений. В условиях иммерсии опора ровно распределяется по поверхности тела, резко снижается активность опорных рецепторов стоп, в результате чего центральная нервная система воспринимает эту среду как безопорную. В полном соответствии с результатами бортовых космических экспериментов переход к безопорности сопровождается снижением тонуса и электромиографической активности мышц-разгибателей с одновременным возрастанием активности мышц-сгибателей. Эффект подавления экстензорной активности развивается в иммерсии практически немедленно и сохраняется в течение всего времени иммерсионного воздействия, каким бы длительным оно ни было (7 ч или 7 сут). Наряду и в определенной последовательности вслед за снижением активности экстензоров развиваются другие характерные эффекты безопорности: увеличение

венозной податливости (и соответственно снижение ортостатической устойчивости); падение максимальной силы мышц-экстензоров; изменения активности спинальных рефлекторных и супраспинальных механизмов управления движениями, проявляющиеся нарушениями позы, локомоций, точностных характеристик произвольных движений; изменения их координационного рисунка [3, 4].

Второй фактор – резкое ограничение двигательной активности: глубокая гиподинамия и гипокинезия. Гипокинезия и гиподинамия относятся к основным факторам влияния на организм человека в условиях сухой иммерсии. Гиподинамия связана с уменьшением постральной мышечной нагрузки, тогда как гипокинезия – это снижение двигательной активности в целом. В дополнение к острому ограничению нормальной мышечной активности и снижению напряжения в мышцах и костях термонеutralное погружение быстро вызывает значительное снижение мышечного тонуса [5], что не достигается даже при длительном постельном режиме.

Третий важнейший фактор – гидростатическая компрессия. Когда испытуемый погружён в иммерсионную среду, гидростатическая компрессия поверхностных тканей и сосудов снижает периферическую сосудистую ёмкость, что приводит к постоянному увеличению трансапикалярной реабсорбции (перемещение жидкости из интерстициального пространства во внутрисосудистое). Основным причиной этого трансапикалярного сдвига жидкости считается градиент давления между интерстициальным и внутрисосудистым отделами. Смещение приводит к быстрой централизации жидкости и увеличению общего объёма крови. Гидростатическая компрессия индуцирует быстрое перераспределение крови в верхнюю половину тела [6]. Гидростатическая компрессия увеличивается с глубиной погружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shulzhenko E.B., Vil-Vilyams I.F., Grigoryev A.I., Gogolev K.I., Khudyakova M.A. Prevention of human deconditioning during prolonged immersion in water. *Life Sci. Space Res.* 1977; 15: 219–24.
2. Navasiolava N.M., Custaud M.A., Tomilovskaya E.S., Larina I.M., Mano T., Gauquelin-Koch G., Gharib C., Kozlovskaya I.B. Long-term dry immersion: review and prospects. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2011; 111(7): 1235–60.
3. Kozlovskaya I.B. Fundamental and applied objectives of investigations in immersion. *Aviakosm. Ekolog. Med.* 2008; 42: 3–7.
4. Miller T.F., Saenko I.V., Popov D.V., Vinogradova O.L., Kozlovskaya I.B. The effects of support deprivation and stimulation of the foot support zones on the lateral stiffness and electromyogram of the resting calf muscles. *Hum. Physiol.* 2012; 38(7): 763–7.
5. Grigor'ev A.I., Kozlovskaya I.B., Shenkman B.S. The role of support afferents in organisation of the tonic muscle system. *Russ. Fiziol. Zh. im I.M. Sechenova.* 2004, 90: 508–21.
6. Иванов Г.Г., Баевский Р.М., Берсенов Е.Ю., Русанов В.Б., Ларина И.М., Пастушкова Л.Х. Показатели дисперсионного картирования электрокардиограммы при воздействии 5-суточной иммерсии. *Авиационная и экологическая медицина.* 2011; 45(6): 44–8.

Контрольные вопросы к занятию № 1

Вопрос	Выделите только один, однозначно верный, на Ваш взгляд, вариант ответа из предложенных (верных и ошибочных)			
1. Как классифицируют иммерсионную модель невесомости?	По составу иммерсионной среды, её температуре	По глубине погружения и в соответствии с положением оси тела	По составу иммерсионной среды, её температуре, глубине погружения и в соответствии с положением оси тела, а также по способу изоляции объекта погружения от жидкостной среды, по времени экспозиции	По способу изоляции объекта погружения от жидкостной среды и времени экспозиции
2. Какие существуют виды иммерсии с изоляцией?	Погружение с помощью водолазного костюма	Погружение с помощью водолазного костюма и водонепроницаемой плёнки	Погружение с помощью водонепроницаемой плёнки	Такого вида погружения не существует
3. Какой вид иммерсии называется «сухой иммерсией»?	Любой вид иммерсии с изоляцией	Иммерсия с использованием водонепроницаемой плёнки и горизонтальным типом погружения	Иммерсия с помощью водолазного костюма	Иммерсия без использования жидкостной среды
4. Какой температурный диапазон жидкостной среды при иммерсии считается термонейтральным?	29–32°C	29—39°C	37–39°C	33–36°C
5. Основные ограничения применения метода «мокрого» погружения	Продолжительность не более 6–12 ч	Использование для погружения изотонического или гипертонического раствора хлорида натрия или хлорида кремния	Ограничений нет	Продолжительность воздействия не более 12 ч, использование для погружения изотонического или гипертонического раствора хлорида натрия или хлорида кремния
6. Какие основные факторы при использовании сухой иммерсии позволяют воспроизвести её физиологические эффекты?	Безопасность и резкое ограничение двигательной активности	Только одновременное действие трёх основных факторов: безопасности, резкого ограничения двигательной активности, гидростатической компрессии	Гидростатическая компрессия	Резкое ограничение двигательной активности
7. Безопасность – это ...	Отсутствие специальных упоров для поддержания тела во время погружения	Отсутствие возможности двигаться во время погружения	Горизонтальное расположение оси тела	Резкое снижение активности опорных рецепторов стоп
8. Что такое гиподинамия?	Полное обездвиживание	Уменьшение постуральной мышечной нагрузки	Общее снижение мышечной активности	Снижение напряжения в мышцах и костях
9. Что такое гипокинезия?	Снижение мышечной активности	Снижение мышечного тонуса	Снижение двигательной активности в целом	Уменьшение постуральной мышечной нагрузки
10. Гидростатическая компрессия вызывает ...	Быстрое перераспределение крови в верхнюю половину тела	Не приводит ни к каким изменениям	Перераспределение крови в нижнюю половину тела	Медленное перераспределение крови в верхнюю половину тела