

Гравитационная биология

С. Рязанский



*Сергей Рязанский
13-й выпуск (Кроссастеры),
школа № 520 (1991 г.),
окончил биофак МГУ по
специальности биохимия
(1996 г.), к.б.н., космонавт-
исследователь, работает в
Институте медико-биологи-
ческих проблем РАН,
srez@mail.ru*

Биология — наверное, самая интересная наука, изучающая наш удивительный и прекрасный мир. Загадочен мир клетки, пестро разнообразии цветочков и зверюшек, поражает своей сложностью и отлаженностью человеческий организм. Мне же посчастливилось работать в области биологии, затрагивающей основы существования, развития и функционирования живой материи на нашей планете, — космической биологии. Невозможно рассказать все и даже самое интересное, настолько многообразны работы, ведущиеся в данном направлении, поэтому это только общее и сильно поверхностное введение. Итак, ...

Биология как наука о закономерностях возникновения, развития и функционирования живой материи решает свои задачи на целом ряде направлений. Одним из них является гравитационная биология, которая исследует зависимость структуры, функции и поведения живых организмов от величины и направления гравитационных воздействий. Благодаря систематическим исследованиям, проведенным за последние десятилетия в наземных условиях и космических полетах, основы гравитационной биологии уже заложены, но интерес к этой проблеме не угасает. Ведь важно не только теоретически понять и описать закономерности воздействия гравитации, но и обеспечить безопасное и эффективное участие человека в освоении космического пространства и планет, где гравитационные условия существенно отличаются от наземных.

В конце XIX — начале XX вв. К.Э. Циолковским были теоретически обоснованы прогнозы о возникновении сенсорных, двигательных и вегетативных расстройств в условиях невесомости, о возможных изменениях формы живых

организмов. Он же провел аналогии между состоянием невесомости и условиями, с которыми человек сталкивается на Земле, погружаясь в воду или находясь в постели. Космос — это среда, где практически отсутствуют кислород, очень низкое давление, очень низкие температуры, высокий уровень радиации, а гравитация составляет всего лишь $10^{-6}g$, (это в миллион раз меньше земного!), т.е. за пределами земной атмосферы человек находится в условиях микрогравитации. Космическое действие всех перечисленных факторов (кроме микрогравитации) на организм представляет существенную опасность для жизни человека, однако, с помощью специальной конструкции космических кораблей ее можно минимизировать. Микрогравитация действует в течение всего космического полета. Важно отметить, что в реальности гравитация исчезнуть полностью никогда не может, поэтому не корректно определять состояние, возникающее во время орбитального полета как состояние невесомости или нулевую гравитацию. Правильным термином является именно «микрогравитация». Однако уровень гравитации настолько мал, что только очень чувствительные приборы могут измерить его величину. В условиях микрогравитации у человека закономерно развиваются адаптивные реакции, сопровождающиеся функциональной перестройкой гравитационно-зависимых и регуляторных систем организма.

За миллионы лет эволюционного развития живые организмы в совершенстве адаптировались к условиям жизни на Земле, и, естественно, к гравитации. Система антигравитационных функций включает: скелет (у одноклеточных — цитоскелет; у многоклеточных — наружный или внутренний; хитиновый, известковый, хрящевой или костный); мускулатуру, обеспечивающую поддержание позы и осуществление локомоций; систему пространственного анализа, координации и управления движениями, важная роль в которой принадлежит специфическим гравирецепторам. Дыхание, пищеварение, энергетический и другие виды обмена, система нейрогуморальной регуляции функций оказывают прямое влияние на потенциальные возможности антигравитационных систем, но, в свою очередь, и сами весьма подвержены влиянию гравитационных воздействий.

Воздействие микрогравитации на живой организм очень разностороннее, однако можно выделить три первичных механизма. Важнейшим из них является изменение весовой нагрузки на опорно-двигательный аппарат. Оно сказывается на характере синтетических процессов, уровне энергетического и других видов обмена веществ, функции кардиореспираторной системы, которая должна быть адекватна энергетическим потребностям организма; на характере нервной и гормональной регуляции движений. Но конечным выражением перестроек, обусловленных этим механизмом, являются изменения структурно-функциональных характеристик скелета и скелетной мускулатуры.

Другим механизмом развития ответной реакции на микрогравитацию является изменение гидростатического давления биологических жидкостей (главным образом, крови). Увеличение гидростатического напора при перегрузках или его уменьшение в условиях микрогравитации являются причиной изменений распределения крови в организме, что может привести к развитию острых нарушений кровообращения или к возникновению изменений водно-солевого обмена, уровня гидратации организма, его резистентности.

Третьим первичным механизмом, посредством которого гравитация реализует свое воздействие на биологические объекты, являются изменения в деятельности гравитационнозависимых рецепторов, включая специфические гравирецепторы вестибулярного аппарата. Этот механизм лежит в основе изменений, которые связаны с функцией пространственного анализа, координации движений в условиях микро- и гипергравитации. Рассогласование в деятельности афферентных систем при гравитационных воздействиях выражается также в развитии симптоматики болезни движений, иллюзорных реакций, в ухудшении самочувствия и рабо-



Рисунок 1. Ежедневные тренировки на орбитальной станции.



Рисунок 2. Трава земная — (а) и «космическая» — (б).

пособности человека. Нервный механизм является важным компонентом и тех систем, которые обеспечивают адаптацию организма к гравитационным воздействиям.

На данный момент развития гравитационной биологии наиболее изученным объектом остается человек, что проистекало из необходимости обеспечения безопасности экипажей в космических полетах. Отсутствие весовой нагрузки, как показывают результаты исследований, проведенных в космических полетах, является причиной утраты антигравитационных свойств, выработанных в процессе эволюции и индивидуального жизненного опыта. Разветвленная цепь взаимосвязанных структурных и функциональных перестроек носит в этом случае явно выраженный энтропийный характер, снижает уровень организованности системы и общую резистентность организма. Для того чтобы в этих условиях предупредить возникновение эффектов неупотребления, атрофии от бездействия, приходится искусственно восполнять комплекс недостающих нагрузок. В противном случае приходится считаться с угрозой стабилизации гравитационных функций на уровне, при котором возврат к наземным условиям обитания окажется затрудненным и даже опасным.

Планируя интервенцию на планеты, отличающиеся от Земли силой притяжения, или создавая стационарные поселения в межпланетном пространстве, человечество должно исходить из двух теоретически возможных стратегий: полного или временного погружения в новую гравитационную среду. В первом случае биологическая задача будет состоять в стимулировании, ускорении адапционных процессов без оглядки на опасность их перехода в далеко зашедшую, наследственно закрепленную, необратимую форму. Во втором случае (он применяется в настоящий момент истории космических полетов) должны быть приняты меры по недопущению этой опасности, поддерживающие постоянную готовность к возврату на Землю без нанесения ущерба здоровью и долголетию космонавтов.

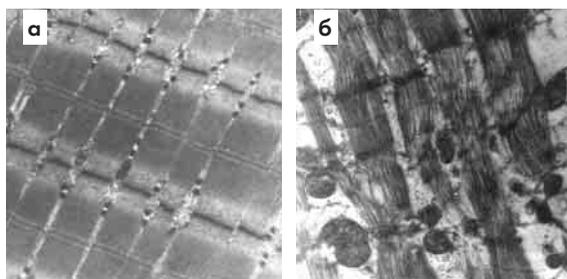


Рисунок 3. Структура мышц до — (а) и после — (б) пребывания в невесомости.

Помимо сугубо прикладных задач, связанных с обеспечением работоспособности человека в космическом полете, гравитационная биология предлагает огромный спектр интересных и совершенно не изученных на настоящее время вопросов о влиянии гравитационных воздействий в различных областях:

- клеточная и молекулярная биология (гравирецепция, прямые и опосредованные влияния острых и длительных изменений гравитационных нагрузок, конвекция, диффузия, обмен веществ, клеточные мембраны, цитоскелет);
- биология развития (репродукция, рост, продолжительность жизни, генетический аппарат);
- биология растений (гравирецепция, метаболизм, фотосинтез, репродукция, взаимосвязь

гравитационных воздействий с другими факторами среды);

- системная биология (гравирецепция, ориентация, локомоции, опорно-двигательные структуры, метаболизм, адаптация — гомеостаз — реадаптация, жизненный цикл, циркадианные ритмы, внутренние синхронизаторы);

- физиология кардиореспираторной системы (исследование реакций, механизмов регуляции, возможностей профилактики);

- физиология мышечной, костной и соединительной тканей (потеря мышечной массы, деминерализация костей, изменения кальциевого метаболизма, разработка профилактических мероприятий);

- нейрофизиология (межсенсорное взаимодействие, сенсорный конфликт, адапционно-реадапционные перестройки двигательных функций и сенсорных систем);

- физиология регуляции (эндокринология, гематология, иммунология, питание, пищеварение, фармакокинетика, почечная функция, циркадианные ритмы, терморегуляция).

Я абсолютно уверен, что гравитационную биологию, хочется надеяться, что и с вашей помощью, ожидает впереди трудный, но увлекательный путь дальнейшего постижения нашего удивительного мира.

