

## ЛАБОРАТОРИЯ № 9

### *Лаборатория нейробиологии моторного контроля*

Заведующий лабораторией – академик, д.м.н.

Гурфинкель Виктор Семенович

Тел.: (095) 209-28-95, (095) 951-09-60; E-mail: [lab9@iitp.ru](mailto:lab9@iitp.ru)

Ведущие ученые лаборатории:

д.б.н.	Липшиц М. И.	к.б.н.	Селионов В. А.
к.ф.-м.н.	Гришин А. А.	к.б.н.	Солопова И. А.
к.б.н.	Казенников О. В.	к.б.н.	Сметанин Б. Н.
к.б.н.	Кожина Г. В.	к.б.н.	Талис В. Л.
к.б.н.	Левик Ю. С.	к.б.н.	Шлыков В. Ю.
к.б.н.	Попов К. Е.		

## НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейробиологии моторного контроля Института проблем передачи информации РАН ведет исследования механизмов управления позой и движениями в течение более 30 лет. В настоящее время в работе лаборатории большое место занимают вопросы изучения участия системы внутреннего представления в управлении движениями и систем отсчета, используемых организмом для организации двигательного поведения. За последние годы получены данные, показывающие, что при создании иллюзорного представления о положении звеньев тела многие двигательные реакции, такие как вестибуломоторные и шейные влияния на мышцы ног, глазодвигательные реакции, определяются не реальной конфигурацией тела, а ее отражением в системе внутреннего представления.

В работе лаборатории традиционно большое внимание уделялось изучению нейронных механизмов управления локомоцией кошки (д.б.н. М. Л. Шик с сотрудниками). В продолжение работ этой научной школы сотрудниками лаборатории ведутся исследования шагательных автоматизмов у человека.

Пилотируемые космические полеты дают возможность проведения исследований того, как центральная нервная система человека адаптируется к изменившимся условиям, в какой мере гравитационный фактор является существенным в процессах обработки проприоцептивной информации и управления движениями. В 1982-2003 гг. в рамках совместных проектов с Францией, Европейским космическим агентством и НАСА был проведен ряд исследований в этом направлении в условиях космических полетов.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Продолжались исследования роли моторной коры человека в управлении позой и движениями методом транскраниальной магнитной стимуляции. В этих исследованиях сравнивали ответы мышц ног на стимуляцию моторной коры при обычном стоянии и стоянии на неустойчивой опоре в виде пресс-папье. Показано, что неустойчивость опоры, усложняющая задачу поддержания равновесия, увеличивает мышечные ответы на транскраниальную магнитную стимуляцию. В то же время, исследования Н-рефлекса показали, что неустойчивость опоры не ведет к повышению возбудимости спинальных мотонейронов. Из это-

го сделан вывод о возрастании роли моторной коры при усложнении задачи поддержания равновесия, требующей изменения стратегии управления. В других экспериментах изучали роль моторной коры в упреждающих позных реакциях в бимануальной двигательной задаче. В этой задаче испытуемый удерживал одной рукой груз, затем этот груз снимал либо он сам, либо экспериментатор. Сравнение ЭМГ-ответов мышц руки на транскраниальную магнитную стимуляцию в ситуациях активной и пассивной разгрузки показало, что осуществление упреждающих позных реакций (позная преднастройка), по всей видимости, не требует дополнительного вовлечения корковых структур.

В рамках исследований связи константности восприятия и системы внутреннего представления изучались те внутренние правила, которыми руководствуется ЦНС при выборе системы отсчета, в которой анализируется и интерпретируется информация, поступающая от зрительной и проприоцептивной системы. Для этого у стоящего с закрытыми глазами человека регистрировали горизонтальные движения глаз, а также моменты мышц туловища в разных отделах позвоночника при поворотах относительно вертикальной оси. Оказалось, что мышечные моменты достоверно увеличивались при уменьшении частоты вращения, в то время как моменты пассивных упруго-вязких сил должны возрастать с ростом угловой скорости. Рост тонуса аксиальных мышц на малых скоростях, связан с тем, что при уменьшении скорости вращения увеличивается субъективная оценка испытуемыми амплитуды поворотов и, соответственно, амплитуда движений глаз. Таким образом, ответы мышц туловища на скручивание позвоночника определяются изменениями в формируемом мозгом внутреннем представлении о конфигурации тела, а не прямыми входами с рецепторов. Здесь отчетливо проявляется связь между высшими и низшими уровнями системы управления движениями. Подтверждена также гипотеза о том, что антикомпенсаторные движения глаз в ответ на скручивание позвоночника определяются изменениями во внутреннем представлении о конфигурации тела, а не прямыми проприоцептивными входами. Возможно, такие упреждающие ориентационные движения помогают в формировании устойчивой системы отсчета, необходимой для программирования и реализации движений.

Физиологические механизмы зрительной стабилизации вертикальной позы исследовали путем оценки характеристик спокойного стояния и позных реакций на вибрационную стимуляцию мышечных проприорецепторов в разных условиях зрительного контроля: при открытых и закрытых глазах и в призматических очках. Сделан вывод о двоякой функции зрения в регуляции позы как основы для формирования пространственной системы отсчета и как источника информации о движении собственного тела относительно этой системы.

Были проведены исследования роли различных источников сенсорной информации в формировании представления о вертикали. Для этого сравнивали восприятие, запоминание и воспроизведение ориентационной зрительной информации в наземных условиях с введением рассогласования между информацией о положении тела и головы и гравитацией (на наклонном кресле) и в условиях длительного орбитального космического полета. Эксперименты проводились на 6-и космонавтах в условиях невесомости при фиксированном положении и при свободном плавании и на 13-и обследуемых на земле. Показано, что в наземных условиях ЦНС использует мультимодальную систему отсчета, основанную как на проприоцептивной, так и на гравитационной информации. Во время длительного пребывания в невесомости ЦНС вырабатывает систему отсчета, учитывающую отсутствие гравитационных сил.

Перемещение в пространстве требует от человека способности формировать мысленное представление о своем окружении. Это внутреннее представление о пройденной траектории возникает на базе интеграции зрительной, вестибулярной и проприцептивной информации. Известно, что в наземных условиях повороты направо и налево воспринимаются одинаково, а в восприятии поворотов вверх и вниз существует выраженная асимметрия – повороты вниз воспринимаются большими. Для выяснения роли гравитации в этой асимметрии были обработаны данные экспериментальных исследований, проведенных на Международной Космической Станции в условиях невесомости. Исследовалось прохождение испытуемым виртуального трехмерного лабиринта и воспроизведение пройденной траектории по памяти. Предварительные данные показали снижение асимметрии восприятия поворотов в невесомости. Сделан вывод о том, что если в земных условиях гравитация играет важную роль в формировании мультимодальных систем отсчета, то в невесомости основную роль играет зрительная система, а при исключении зрения используется система отсчета, привязанная к естественным осям тела человека. Изменяется и электроэнцефалографическая картина активности коры больших полушарий во время выполнения таких задач.

Продолжались исследования нейрофизиологических механизмов активации и управления локомоцией, изучалась природа шагательного автоматизма у здорового человека, периферические влияния на шагательные движения в условиях произвольного и вызванного шагания. Основная проблема связана с поисками методов активации и управления шаганием посредством периферических и центральных воздействий.

Начаты исследования динамических особенностей движения у больных с эндопротезом тазобедренного сустава с использованием подометрии, электромиографии и стабиллографии. Разработан метод определения состояния опорно-двигательного аппарата человека по параметрам изменений реакции опоры во время простого движения – вставания со стула. Метод применяется для оценки эффективности реабилитационных мероприятий у больных.

В рамках сотрудничества с лабораторией моторных систем неврологической клиники Бернского университета и лабораторией нейрофизиологии слуха и моторного контроля Института физиологии Фрибургского университета проведены исследования координации движений двух рук у обезьяны в двигательной задаче, требующей координации двух разных по типу движений правой и левой руки. Было показано, что целью системы управления является обеспечение одновременности достижения целей движения каждой из рук.

С целью выяснения того, как происходит формирование схемы тела в онтогенезе, как в процессе созревания двигательной системы меняется точность внутреннего представления длин звеньев в процессе созревания двигательной системы, изучалась точность указывания характерных точек руки (локтя, запястья, конца среднего пальца) без зрительного контроля у взрослых и у детей 4-11 лет. Регистрировалась начальная ошибка восприятия и динамика ее возрастания со временем. Установлены существенные возрастные отличия в точности внутренней модели верхней конечности: у детей при отсутствии зрительного контроля происходит кажущееся укорочение и предплечья, и кисти, а у взрослых, в основном, – только предплечья. Показано, что эффективность использования зрительной информации для коррекции внутреннего представления о положении конечности у детей до 6-7 лет значительно ниже, чем у детей старших возрастов и у взрослых.

## **ГРАНТЫ:**

- **Российский фонд фундаментальных исследований (№ 02-04-48234):** "Проприоцептивное восприятие и калибровка внутренней модели тела". Руководитель Ю. С. Левик.
- **Российский фонд фундаментальных исследований (№ 02-04-48832):** "Исследование вестибулярного тонуса человека методом гальванической стимуляции лабиринта". Руководитель К. Е. Попов.
- **Российский фонд фундаментальных исследований (№ 03-04-48430):** "Система внутреннего представления как основа взаимодействия разномодальных афферентных источников в реализации сложных постуральных задач". Руководитель О. В. Казенников.

## **ПУБЛИКАЦИИ В 2003 г.**

### Статьи

1. Альтман Я.А., Гурфинкель В. С., Варягина О.В., Левик Ю.С. Влияние движущегося звукового образа на поздние реакции и иллюзию поворота головы у человека // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2003. Т. 89. № 6. С. 756-761.
2. Солопова И.А., Денискина Н.В., Казенников О.В., Иваненко Ю.П., Левик Ю.С. Исследование возбудимости спинальных мотонейронов при стоянии в обычных и усложненных условиях // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 3. С. 189-191.
3. Шлыков В.Ю., Селионов В. А. Влияние дополнительной опоры на поддержание вертикальной позы человека // Физиология человека. 2003. Т. 29. № 2. С. 100-108.
4. Cordo P., Gurfinkel V. Motor coordination can be fully understood only by studying complex movements // Prog. Brain Res. 2004. V. 143. P. 29-38.
5. Cordo P., Gurfinkel V., Smith T., Hodges P., Vershueren S., Brumagne S. The sit-up: complex kinematics and muscle activity in voluntary movement // J. Electromyogr. Kinesiol. 2003. V. 13. No. 3. P. 239-252.
6. Severac Cauquil A., Faldon M., Popov K., Day B.L., Bronstein A. M. Short-latency eye movements evoked by near-threshold galvanic vestibular stimulation // Experimental Brain Research. 2003. V. 148. No. 3. P. 414-418.
7. Solopova I.A., Deniskina N.B., Kazennikov O.V., Levik Y.S., Ivanenko Y.P. Involvement of the human motor cortex in postural control // MCC 2003 From Basic Motor Control to Functional Recovery-III, Varna. Ed. N. Gantchev. P. 60-67.
8. Solopova I.A., Kazennikov O.V., Deniskina N.B., Levik Y.S., Ivanenko Y.P. Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans // Neuroscience Letters. 2003. V. 337. P. 25-28.
9. Боброва Е.В., Левик Ю.С. Шлыков В.Ю., Казенников О.В. Особенности поддержания равновесия при прослеживающих движениях глаз // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2004 (в печати).
10. Lipshits M., McIntyre J., Bengoetxea A., Cheron G., Berthoz A. Two reference frames for visual perception in two gravity conditions // Neuroscience Letters. 2004 (в печати).
11. Vidal M., Lipshits M., McIntyre J., Berthoz A. Gravity and Spatial Orientation in Virtual 3D-Mazes. // J. Vestibular Research. 2004, (в печати).

**Тезисы**

1. Казенников О.В., Солопова И.А., Талис В.Л., Денискина Н.В., Левик Ю.С. Участие моторной коры в двух типах позных задач // *Фундаментальные и клинические аспекты интегративной деятельности мозга: Материалы Межд. чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР, акад. АН Арм. ССР Эзра Асратовича Асратяна. Москва, ИВНД и НФ РАН, 27-30 мая 2003 г. М.: МАКС Пресс, 2003. С. 117-119.*
2. Казенников О.В., Солопова И.А., Талис В.Л. Необходим ли корковый контроль для осуществления позной преднастройки? // *Материалы II Международной конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности. Москва, 29 января – 1 февраля 2003 г. М.: Фирма «Слово», 2003. С. 80-81.*
3. Киреева Т.Б., Левик Ю.С., Холмогорова Н.В. Повышение точности оценки длины руки с возрастом: роль периферической информации и схемы тела // *Фундаментальные и клинические аспекты интегративной деятельности мозга: Материалы Межд. чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР, акад. АН Арм. ССР Эзра Асратовича Асратяна. Москва, ИВНД и НФ РАН, 27-30 мая 2003 г. М.: МАКС Пресс, 2003. С. 127-129.*
4. Киреева Т.Б., Левик Ю.С., Холмогорова Н.В. Формирование и калибровка внутренней модели конечности в процессе созревания центральной нервной системы // *Материалы II Международной конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности. Москва, 29 января – 1 февраля 2003 г. М.: Фирма «Слово», 2003. С. 83.*
5. Левик Ю.С. Шлыков В.Ю. Система внутреннего представления в управлении произвольными движениями глаз и тонусом аксиальной мускулатуры // *Материалы II Международной конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности. Москва, 29 января – 1 февраля 2003 г. М.: Фирма «Слово», 2003. С. 89-90.*
6. Левик Ю.С., Липшиц М.И. Система внутреннего представления в управлении позой и движениями // *Материалы конференции "Организм и окружающая среда: адаптация к экстремальным условиям". Москва, ГНЦ РФ ИМБП РАН, 3-5 ноября 2003 г. С. 205-206.*
7. Липшиц М.И., Макинтайер Д. Мультимодальные референтные системы отсчета для зрительно гаптической координации // *Пятая международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос», 9-10 апреля 2003 г., Звездный городок, Московская область, Россия. С. 345-346.*
8. Селионов В.А., Казенников О.В., Гришин А.А., Левик Ю.С. Автоматические шагательные движения, активируемые электрической стимуляцией мышц вывешенных ног // *Материалы II Международной конференции по физиологии мышц и мышечной деятельности. Москва, 29 января – 1 февраля 2003 г. М.: Фирма «Слово», 2003. С. 98-99.*