

ческой обратной связи в процессе предъявления пациенту визуальных стимуляционных программ [1].

Безусловно, только комплексное изучение процессов жизнедеятельности человека, направленных, в конечном итоге, на его адекватную ориентацию в пространстве и на компенсацию неблагоприятных сдвигов в организме вследствие действия гравитационных факторов, является оправданным, методологически корректным и наиболее информативным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнилова Л.Н., Соловьёва А.Д., Саранцева А.В. и др. Компьютерные тесты для исследования глазодвигательных реакций у больных с жалобами на головокружения // Ж. невропатол. и психиатр. – 2004. – Т. 104, № 5. – С. 34–41.
2. Леваиов М.М. Нистагмометрия в оценке состояния вестибулярной функции. – Л.: Наука, 1984. – 224 с.
3. Усачёв В.И. Способ качественной оценки функции равновесия / Патент на изобретение № 2175851. – М., 2001 (приоритет от 1999 года).
4. Усачёв В.И. Физиологическая концепция реализации вращательного нистагма и его диагностическое значение: Дисс. ... докт. мед. наук. – СПб., 1993. – 206 с.
5. Усачёв В.И., Мохов Д.Е. Возможности стабилметрического векторного анализа в диагностике постуральных нарушений // Клиническая постурология, поза и прикус: Материалы I Международного симпозиума. – СПб.: ИД СБМАПО, 2004. – С. 32–41.
6. Филли В.А. Автоматия саккад. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – 248 с.
7. Шахнович А.Р. Мозг и регуляция движений глаз. – М.: Медицина, 1974. – 160 с.

УДК 612.833

Ю.С. Левик

#### СТАБИЛОГРАФИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗОЙ\*

Я хотел бы рассмотреть вопрос о том, чем интересно и почему важно изучение ортоградной позы. Действительно, на первый взгляд неясно, почему стабилография – регистрация такого простого параметра как перемещение центра давления – оказывается эффективным диагностическим показателем в клинической практике и важным средством в системе профессионального отбора. Более того, тренировки с обратной связью по стабилограмме часто оказываются хорошим средством реабилитации больных. Ответ на этот вопрос неотделим от всего спектра проблем, решаемых мозгом при управлении движениями.

Вертикальная поза – прямостояние – присущая человеку особенность, которая относится к числу признаков, выделяющих человека из родственных форм млекопитающих. Эта поза, отделившая человека от человекоподобных приматов и освободившая его передние конечности от локомоторных функций, сформировалась еще несколько миллионов лет назад, что нашло отражение в названии одного из предков современного человека – *Homo erectus* – человек выпрямленный. Надо подчеркнуть, что условия поддержания вертикальной позы человека отличаются особой сложностью – малой площадью опорной поверхности, большим числом шарнирных соединений и высоким расположением центра

---

\* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 05-04-49401 и 08-04-01200 и программы ОБН РАН «Физиологические механизмы регуляции внутренней среды и организации поведения живых систем».

тяжести. Вертикальная поза человека является активной, т.е. поддерживается за счет постоянного напряжения некоторых групп мышц. Для поддержания нормального положения тела необходима активность не только разгибателей голеностопного и коленного суставов, но и многих мышц туловища и шеи (так называемой аксиальной мускулатуры). Мышцы, участвующие в поддержании вертикальной позы, называют антигравитационными. Каким же образом нервная система осуществляет управление антигравитационной мускулатурой?

В решение задачи поддержания вертикальной позы вовлечено большое количество различных рефлекторных систем, образующих сложную систему регулирования. В такой системе непросто выделить основной параметр, по которому осуществляется регулирование и то звено, которое является основным объектом регулирования.

В многозвенной шарнирной системе, каковой является тело человека, углы в суставах определяются напряжениями мышц. Поэтому возможность стабилизации положения тела путем стабилизации углов в суставах, прежде всего в голеностопных суставах, является достаточно правдоподобной. Механизмом такой суставной стабилизации мог бы быть рефлекс на растяжение, впервые описанный в классических работах Шеррингтона. Данный рефлекс можно рассматривать как механизм поддержания некоторой постоянной длины мышцы, удерживаемой даже при переменных внешних воздействиях. Работу этого механизма обеспечивают рецепторы изменения мышечной длины – чувствительные нервные окончания, расположенные в специализированных образованиях – мышечных веретенах. При растяжении мышцы эти окончания активируются, и возникающие сигналы по чувствительным волокнам поступают в спинной мозг, где возбуждают мотонейроны – нервные клетки, непосредственно управляющие мышечными волокнами. Устойчивость работы такого рефлекса обеспечивается тем, что нервные окончания обладают чувствительностью не только и изменению длины, но и к скорости ее изменения. Шеррингтон считал, что рефлексы на растяжение «...формируют единую функциональную систему, достигающую одного общего результата, а именно противодействия силе тяжести в тех частях тела, вес которых должен соответствующим образом поддерживаться для сохранения выпрямленной позы.». Однако в естественных условиях человек может стоять с наклоном вперед и назад, в свободной стойке и по стойке «смирно», в асимметричной позе и с грузом в одной руке. Поэтому должна существовать возможность контроля параметров рефлексов на растяжение со стороны более высоких уровней центральной нервной системы в соответствии с сигналами, поступающими от других источников информации о положении тела в пространстве. Исследовать и подробно описать всю систему рефлексов, при помощи которых животное поддерживает привычную позу с нормальной установкой головы, впервые удалось Магнусу. Среди этих рефлексов важную роль играют рефлексы с вестибулярного аппарата, направленные на выпрямление и удержание головы в нормальном положении. Вестибулярный аппарат дает возможность организму получать информацию о положении головы в пространстве. Информацию о положении головы относительно туловища могут давать рецепторы шейных мышц и суставов шейного отдела позвоночника. Сигналы с рецепторов вестибулярного аппарата и шейных рецепторов участвуют в формировании вестибулярных и шейных рефлексов, играющих важную роль в управлении активностью мышц, обеспечивающих поддержание позы. Итак, согласно сложившимся классическим представлениям, стабилизация положения звеньев тела друг относительно друга достигается системой локальных рефлексов на растяжение, а управление этими рефлексами, обеспечивающее устойчивое положение тела в пространстве, осуществляется на основе вестибулярных и шейных тонических рефлексов и зрительной информации.

Что касается отделов нервной системы, ответственных за регуляцию позы, то принято считать, что постуральная активность находится под контролем структур ствола мозга,

вызывающих напряжение разгибательных мышц ног. В дополнение к этим структурам в обеспечении активности постуральных мышц участвуют некоторые отделы мозжечка. Они могут активироваться либо рефлекторно с различных сенсорных входов (вестибулярный аппарат, шея, зрение) или центрально – с моторной коры.

Магнус исследовал реакции животного на воздействия, приложенные извне – наклоны опорной поверхности, линейные и угловые ускорения, пассивные изменения положения звеньев. Однако сохранение устойчивости положения тела при действии внешних возмущений – это только один из типов позной активности. В естественных условиях возмущающие воздействия на позу часто связаны с собственными активными движениями организма, приводящими к смещению центра тяжести или к возникновению сил реакции, нарушающих равновесие. Рассмотрим пример, иллюстрирующий данное положение.

Испытуемому просят по звуковому сигналу максимально быстро поднять руку до горизонтального положения. При этом регистрируется электрическая активность мышц, поднимающих руку, мышц голени и бедра. Быстрое движение руки должно вызвать отклонение тела назад. Так и происходит, однако величина этого отклонения невелика. Причина состоит в том, что еще до начала движения руки происходит изменение состояния мышц ног и туловища, подготавливающих человека к предстоящему движению. Появление электрической активности в мышцах ног может опережать вспышку активности в дельтовидной мышце, поднимающей руку на 60 мс. Интересно, что активация мышц ног происходит автоматически, без участия сознания, и латентный период при этом меньше, чем минимальное время, необходимое для произвольного вызова сокращения мышц ног. Смысл этой позной преднастройки состоит в том, чтобы увеличить жесткость мышц и тем самым предотвратить большие угловые перемещения в суставах. Величина этих упреждающих изменений коррелирует с величиной ожидаемого возмущения – она больше, когда испытуемый держит в руке груз, или когда его просят поднять руку особенно быстро.

Описанная выше позная антиципация является распространенным феноменом, сопутствующим многим рабочим и спортивным движениям и даже инициации ходьбы: для того, чтобы сделать шаг вперед правой ногой, необходимо перенести нагрузку на левую ногу, и это надо сделать до того, как правая нога будет оторвана от пола. Ясно, что задача поддержания равновесия не исчезнет и при последующих шагах.

Таким образом, задачи позной регуляции оказываются значительно более широкими, чем одно лишь поддержание неизменного положения тела в пространстве. Они включают и приспособление позы к предстоящему движению, и обеспечение равновесия во время локомоции и других видов движений, и согласование позы и движения. Такой широкий спектр задач позной регуляции вряд ли может выполняться простой системой регулирования, базирующейся исключительно на рефлекторных реакциях. Анализ электрической активности мышц во время стояния показывает, что вспышка активации мышц может коррелировать не с изменением мышечной длины, а, например, с перемещением общего центра тяжести, или быть частью согласованной активации многих мышечных групп в рамках центральной программы компенсации постурального возмущения. Даже если предположить, что локальные рефлекссы на растяжение являются основным механизмом поддержания заданного суставного угла, то все равно остается открытым вопрос о том, каким образом задается это значение, каким образом изменяются характеристики рефлекса при произвольном изменении позы или изменении внешних условий. Наконец, для того чтобы регулировать или компенсировать положение тела относительно вертикали, нервная система должна иметь внутреннее представление этой вертикали. Оказывается, что представление об этой вертикали, относительно которой осуществляется регуляция ортоградной позы, строится не только на основании гравитационного вектора. В построении вертикали играют роль и такие факторы как характер зрительного окружения, ориентация

опорной поверхности, распределение (симметрия) тонуса мускулатуры туловища и конечностей.

Данные о позной активности в космических полетах показывают, что система регуляции позы включает консервативные и оперативные процессы. Оперативное регулирование обеспечивает стабилизацию вертикальной позы, возвращая тело при отклонении в окрестности вертикали. Оперативное регулирование обеспечивает компенсацию больших изменений регулируемых параметров в пределах динамического диапазона. Речь идет об изменениях внешних факторов, которые, как правило, носят временный характер. Эта часть системы регулирования работает путем воздействия на пороги рефлексов и быстрого изменения активности различных мышечных групп на основе анализа информации от вестибулярной, зрительной и проприоцептивной систем. Наличие внутренней модели позволяет осуществлять оперативное регулирование по таким параметрам, которые не могут быть непосредственно измерены рецепторами, например, по положению общего центра масс. Оперативное регулирование проявляется, например, в почти мгновенном переключении активности с разгибателей на сгибатели при переходе в состояние невесомости.

Кроме оперативных регуляторов система регуляции позы, несомненно, должна включать и некоторую консервативную часть. Эта консервативная часть тесно связана со стойкими, неизменяемыми элементами схемы тела и задает, в частности, «уставки» для оперативных регуляторов, т.е. оптимальные значения параметров, относительно которых осуществляется регулирование. Только наличием консервативных элементов системы управления можно объяснить то, что для каждого человека характерна присущая ему «осанка». Консервативные регуляторы устойчивы к более или менее кратковременным изменениям внешних условий, даже если эти внешние воздействия обладают высокой интенсивностью. Напротив, модификации на этом уровне управления могут быть вызваны факторами малой интенсивности, однако действующими в течение длительного времени. От этого консервативного процесса может зависеть формирование устойчивых привычек и стойкой адаптации.

Наши исследования последних лет показали, что реакции, которые на животных считаются классическими примерами рефлекторных позных автоматизмов, в сильной степени определяются состоянием внутренней модели, т.е. тем, как описывается в мозгу взаимное положение звеньев в системе внутреннего представления. Мы вызывали рассогласование между внутренним представлением человека о положении его головы в пространстве и ее реальным положением тремя различными способами: вызовом проприоцептивных иллюзий, использованием возвращения субъективного положения головы к среднему положению при длительном повороте, а также гипнотическим внушением измененного положения головы. При этом оказалось, что изменения стабилограммы в ответ на вибрационное воздействие или гальваническую стимуляцию лабиринтов соответствуют именно иллюзорному положению головы, тому, как она представлена в системе внутреннего представления.

В зависимости от устойчивости опоры, свойств опоры и условий дополнительного контакта меняется и относительный вклад разных уровней управления движениями в поддержание позы. Система управления может игнорировать информацию от ненадежных источников, выбирая наиболее адекватные для конкретной ситуации источники афферентации. Так, в условиях стояния на неустойчивой опоре в виде пресс-папье уменьшается влияние вибрационной стимуляции мышечных рецепторов на поддержание позы.

Важную роль в системе поддержания позы играет уровень, осуществляющий выбор системы отсчета. При этом выбор системы отсчета во многом определяется априорными сведениями об объектах внешнего мира, с которыми человек поддерживает контакт (жесткость, несмещаемость и др.). Переход из одной системы координат в другую ведет к изме-

нению интерпретации сенсорных сигналов и модификации ответных двигательных реакций.

Итак, стабиллография – это, в сущности, один из способов исследования работы мозга, в ее разных аспектах – от простейшей рефлекторной дуги до сложнейших вопросов пространственного восприятия. В регулировании вертикальной позы принимают участие разные уровни центральной нервной системы, использующие информацию от зрительных, вестибулярных, мышечных и суставных рецепторов. Именно поэтому изменения состояния многих физиологических органов и систем, начиная с мышц и кончая корой головного мозга, находят отражение в изменении характеристик процесса поддержания позы.

УДК 612.833

**В.Ю. Шлыков, Т.Б. Киреева, Ю.С. Левик**

### **ИЗМЕНЕНИЯ СТАБИЛОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У БОЛЬНЫХ ПАРКИНСОНИЗМОМ\***

Болезнь Паркинсона (БП) является распространенным нейродегенеративным заболеванием. Клинические симптомы БП появляются достаточно поздно, когда погибло уже около 80 процентов дофаминергических нейронов черной субстанции. Лечение в поздней клинической фазе заболевания, как правило, малоэффективно и не приводит к выздоровлению больных, поэтому крайне важна разработка методик ранней, а в перспективе – доклинической стадии диагностики.

В лаборатории нейрофизиологии моторного контроля ИППИ РАН проводятся исследования нейрофизиологических механизмов поддержания вертикальной позы. В результате этих исследований сформировалось представление о том, что методы и подходы, выработанные современной физиологией движений, могут оказаться полезными для ранней диагностики БП и для объективной оценки состояния больных. Одним из таких подходов может быть стабиллография – сочетающая такие преимущества как неинвазивность, возможность автоматической обработки, чувствительность к состоянию системы позной регуляции, возможность массового использования. Поиску стабиллографических признаков БП и посвящено данное исследование.

Для оценки качества управления позой использовали компьютерный стабиллографический комплекс «Стабилан-01-2.13», производства ОКБ «РИТМ». Комплекс состоит из стабиллографической платформы и программного обеспечения, позволяющего проводить не только исследования вертикальной позы, но и реабилитацию больных с использованием биологической обратной связи.

Обследовались пациенты ГУ НЦН РАМН (отделение нейрореабилитации, зав.отд. – д-р. мед. наук Л. А. Черникова). Было обследовано 14 человек (8 мужчин, 6 женщин) от 43 до 73 лет (средний возраст 58 лет) с давностью заболевания (с момента постановки диагноза) от 5 месяцев до 9 лет. Семь пациентов имели давность заболевания менее года и рассматривались нами как находящиеся на ранней стадии заболевания. Результаты обследований пациентов сравнивались с данными, полученными на здоровых людях того же возраста (численность группы 8 человек, средний возраст 58 лет).

Обследование включало исследование позы при поддержании неизменного положения: (тест Ромберга, сенсibilизированный тест Ромберга, стояние в матовых очках с от-

---

\* Работа поддержана программой Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».