

# Теоретическое обоснование классических методов двигательной реабилитации в неврологии

К.И. Устинова<sup>1</sup>, Л.А. Черникова<sup>2</sup>, А.Е. Хижникова<sup>2</sup>, А.Г. Пойдашева<sup>2</sup>, Н.А. Супонева<sup>2</sup>, М.А. Пирадов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральный мичиганский университет, Маунт-Плезант, США;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Научный центр неврологии», Москва, Россия

*Авторы рассматривают этапы исторического формирования различных теорий двигательного контроля: от рефлекторной до системной. Эти теории были положены в основу практических методов и подходов двигательной реабилитации больных с неврологическими заболеваниями и травмами. В настоящее время общепризнанным является метод целенаправленного обучения, основывающийся на системных теориях двигательного контроля, одним из основных принципов которого является зависимость движения от параметров и условий выполняемого двигательного задания. Представленные в обзоре реабилитационные методы и подходы не являются взаимоисключающими, а взаимно дополняют друг друга. Именно поэтому исследование эффективности отдельно взятого реабилитационного метода не всегда дает значимые результаты. Различные реабилитационные методы и подходы должны использоваться в комплексе при лечении неврологических больных. При этом относительный вес отдельных методов, используемых в реабилитации каждого конкретного больного, может варьировать в зависимости от сохранности его двигательных функций и многих других факторов, которые необходимо принимать во внимание при планировании восстановительных мероприятий.*

**Ключевые слова:** теории двигательного контроля, двигательная реабилитация, методы.

**Адрес для корреспонденции:** 125367, Россия, Москва, Волоколамское ш., д. 80, ФГБНУ НЦН. E-mail: luda\_cher44@mail.ru. Черникова Л.А.

**Для цитирования:** Устинова К.И., Черникова Л.А., Хижникова А.Е., Пойдашева А.Г., Супонева Н.А., Пирадов М.А. Теоретическое обоснование классических методов двигательной реабилитации в неврологии. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2018; 12(3): 54–60.

DOI: 10.25692/ACEN.2018.3.7

## Theoretical basis for classical methods of motor rehabilitation in neurology

Ksenia I. Ustinova<sup>1</sup>, Lyudmila A. Chernikova<sup>2</sup>, Anastasia E. Khizhnikova<sup>2</sup>, Alexandra G. Poydasheva<sup>2</sup>, Natalia A. Suponeva<sup>2</sup>, Michael A. Piradov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Central Michigan University, Mount Pleasant, USA;

<sup>2</sup>Research Center of Neurology, Moscow, Russia

*Authors review the milestones of the historical formation of various theories of motor control, from the reflex to the system model. These theories form the basis for the methods and approaches of motor rehabilitation of patients with neurological diseases and injuries. The task-oriented approach, based on systemic theories of motor control, is now generally accepted. One of its main fundamentals is the dependence of movement on parameters and conditions of the motor under performance. Rehabilitation methods and approaches presented in this paper are not mutually exclusive, but supportive. This is the reason why the study of effectiveness of a particular rehabilitation method does not always yield valuable results. Various rehabilitation methods and approaches should be combined in the treatment of neurological patients. Moreover, relative contribution of individual methods into the rehabilitation of each patient may vary depending on the safety of his or her motor functions and many other factors that are to be taken into account when planning rehabilitative activities.*

**Keywords:** theories of motor control, motor rehabilitation, methods.

**For correspondence:** 2125367, Russia, Moscow, Volokolamskoye Sh., 80, Research Center of Neurology. E-mail: luda\_cher44@mail.ru. Chernikova L.A.

**For citation:** Ustinova K.I., Chernikova L.A., Khizhnikova A.E., Poydasheva A.G., Suponeva N.A., Piradov M.A. [Theoretical basis for classical methods of motor rehabilitation in neurology]. *Annals of clinical and experimental neurology* 2018; 12(3): 54–60. (In Russ.)

DOI: 10.25692/ACEN.2018.3.7

**В** настоящее время нейрореабилитация как дисциплина обладает достаточно большим арсеналом средств и методов, направленных на восстановление двигательных функций у больных с различными неврологическими заболеваниями. Однако, несмотря на видимое разнообразие, большинство методов основываются всего на нескольких теориях двигательного контроля. Эти теории отражают абстрактные идеи и взгляды на организацию и выполнение произвольных и непроизвольных движений человека, а также рассматривают роль отдельных центральных и периферических нервных структур в организации движения и параметры, контролируемые данными структурами.

### Двигательные теории

Условно двигательные теории могут быть подразделены на три основные группы: рефлекторную, иерархическую и системную [1].

*Рефлекторная теория двигательного контроля* была сформулирована одной из первых. Основы знаний о рефлекторном, т.е. ответном принципе деятельности мозга, были заложены французским ученым Р. Декартом еще в XVII в. Наибольшее значение имели его представления о рефлекторном механизме взаимоотношений организма с окружающей средой. Однако основоположником теории рефлекторной деятельности мозга считается И.М. Сеченов, который впервые высказал мысль о том, что все акты сознательной и бессознательной жизни являются ответными реакциями. В своей работе «Рефлексы головного мозга», впервые опубликованной в 1863 г. [2], он аргументированно доказал, что психическая деятельность человека и животных осуществляется по механизму рефлекторных реакций, которые происходят в головном мозге, включая формирование поведения и мышление.

Теоретические изыскания И.М. Сеченова послужили основой для формирования учения И.П. Павлова о высшей нервной деятельности. Разработанная им теория врожденных и условных рефлексов расширила научное понимание роли коры большого мозга как материального субстрата психики. И.П. Павлов сформулировал рефлекторную теорию работы головного мозга, которая основывается на трех принципах: причинности, структурности, единстве анализа и синтеза [3].

Параллельно рефлекторная теория двигательного контроля развивалась английским физиологом и Нобелевским лауреатом С.С. Sherrington. В 1897 г. он ввел понятие о синапсе и сформулировал принципы нейронной организации рефлекторной дуги [4]. С.С. Sherrington одним из первых подчеркнул важность сенсорного входа в контроле движения и рассматривал двигательное поведение интактного организма в качестве рефлекторной цепной реакции, в которой ответ на один стимул является стимулом для следующей ответной реакции [5, 6].

Дальнейшие исследования рефлекторной теории двигательного контроля привели к выводу, что высшие мозговые центры выполняют управляющую роль относительно ниже расположенных центров. Одним из первых эту идею высказал английский врач J.H. Jackson еще в 1897 г. [7]. В 1920-х гг. немецкий физиолог R. Magnus сформулировал *иерархическую модель двигательного контроля* [8]. В ее основу была положена последовательность развития моторных центров

человека согласно принципу иерархии – от нижележащих отделов или уровней (например, спинного мозга) к вышележащим (например, ассоциативным областям коры головного мозга), и деградации в обратном порядке – от выше- к нижележащим в результате старения или заболевания. Таким образом, теория подчеркивает иерархичность двигательной организации человека, где каждый вышележащий уровень осуществляет управление функциями нижележащего отдела.

Наряду с иерархической теорией организации движений развивались системные модели двигательного контроля, большое значение в развитии которых сыграли достижения в области биомеханики и поведенческой психологии. Эти модели подчеркивали равную значимость любого уровня нервной системы, который может влиять как на низшие, так и на высшие уровни в зависимости от поставленной двигательной задачи.

Среди *системных теорий* прежде всего следует остановиться на *теории управления движениями* Н.А. Бернштейна [9, 10]. Согласно этой теории успешность выполнения движения определяется не только эфферентными моторными командами, посылаемыми к мышцам, но и афферентными сигналами о достигнутых результатах, восходящими от органов чувств. На основании такой сенсорной информации последующие моторные команды изменяются, и происходит процесс корректирования движений, в котором между мозгом и исполнительными органами существует не только прямая, но и непрерывная обратная связь.

Н.А. Бернштейн не отрицал тот факт, что для построения движений различной сложности команды отдаются на различных уровнях (иерархических этажах) нервной системы. Однако, согласно его представлениям, любой уровень может быть основным управляющим уровнем. Так, например, контроль синхронных реципрокных движений рук и ног составляет основу движения при плавании и осуществляется на уровне локомоторных центров ствола головного мозга. Это движение не требует такой же точностной координации движений пальцев рук, как, например, при выражении зрительных образов на бумаге посредством рисования, которое, в свою очередь, невозможно без участия ассоциативных областей коры головного мозга.

При автоматизации движений функции управления передаются на более низкий (неосознаваемый) уровень, где происходит так называемое «повторение без повторения». Суть этого феномена заключается в том, что при повторении одного и того же движения (например, шагов при ходьбе или беге), несмотря на один и тот же конечный результат (одинаковая длина, время выполнения и т.п.), путь работающей конечности и напряжения мышц в чем-то различны. Параметры движения оптимизируются в зависимости от условий выполнения движения или окружающей среды, и это означает, что последние являются основными факторами, определяющими движения. Н.А. Бернштейн утверждал, что для выполнения плавного и эффективного произвольного движения система должна решить проблему излишества параметров движения или степеней свободы, возникающей при взаимодействии множества двигательных систем и доступных для выполнения данного конкретного движения. Ключевыми функциями центральной нервной системы (ЦНС) Н.А. Бернштейн видел контроль избыточности степеней свободы движения, стремление к их минимизации и ограничение числа занятых независи-

мых элементов движения. Минимизация степеней свободы должна происходить путем объединения этих независимых элементов в синергии — двигательные паттерны, которые записываются и контролируются на различных уровнях ЦНС и варьируются в зависимости от характеристики обучающегося, а также компонентов поставленной двигательной задачи и окружающей среды [11].

Позже теория Н.А. Бернштейна продолжила свое развитие в рамках *принципа избыточности*, сформулированного I.M. Gelfand и M.L. Latash [12, 13]. В отличие от идей Н.А. Бернштейна, который предполагал, что синергия используется нервной системой для оптимизации выполнения задания, согласно «принципу избыточности» синергия применяется для обеспечения гибкости и вариативности выполнения двигательной задачи. Таким образом, множество синергий обеспечивает как стабилизацию при пертурбации, так и гибкость при решении конкурентных задач [14, 15].

Близкой идеям Н.А. Бернштейна оказалась и *теория функциональной системы*, предложенная П.К. Анохиным [16, 17], согласно которой физиологическую основу любой деятельности составляют не отдельные рефлексы, а сложная система, которая обеспечивает выполнение целенаправленного действия. Эта система возникает только для выполнения определенной задачи или определенной функции, и поэтому названа функциональной. Возникнув на основе учения об условных рефлексах И.П. Павлова, теория функциональных систем явилась его творческим развитием. Вместе с тем в процессе развития теория функциональных систем вышла за рамки классической рефлекторной теории и оформилась в самостоятельный принцип организации физиологических функций.

Функциональная система имеет отличную от рефлекторной дуги циклическую динамическую организацию, вся деятельность составляющих компонентов которой направлена на обеспечение различных приспособительных результатов, полезных для организма и для его взаимодействия с окружающей средой и себе подобными. Любая функциональная система, согласно представлениям П.К. Анохина, имеет принципиально однотипную организацию и включает следующие общие, притом универсальные для разных функций периферические и центральные узловые механизмы:

- полезный приспособительный результат как ведущее звено функциональной системы;
- рецепторы результата;
- обратную афферентацию, поступающую от рецепторов результата в центральные образования функциональной системы;
- центральную архитектуру, представляющую избирательное объединение функциональной системой нервных элементов различных уровней;
- исполнительные соматические, вегетативные и эндокринные компоненты, включающие организованное целенаправленное поведение.

На рубеже 1970-х гг. получила большую популярность концепция генерализованных моторных программ R.A. Schmidt, также известная как *теория двигательных схем* [18], многие положения которой созвучны с теорией построения движений Н.А. Бернштейна и теорией функциональной системы П.К. Анохина. Эта теория двигательных схем сочетает некоторые аспекты рефлекторной и иерархической теорий контроля движения. Согласно этой

концепции генерализованные моторные программы сохраняются внутри ЦНС в качестве неких типовых шаблонов или заготовок. Когда наступает момент выполнить какое-то действие, основной шаблон уже существует в ЦНС, и он модифицируется по силе, времени, направлению движения в соответствии с требуемыми обстоятельствами. Подобно предыдущим исследователям, R.A. Schmidt предполагал, что моторные программы в ЦНС не содержат специфических двигательных паттернов, но включают общие схемы или шаблоны для определенного класса движений. Он предсказывал, что при обучении новым моторным программам индивидиум обучается общему порядку двигательных схем, которые могут быть применимы в различных ситуациях.

Выделялось четыре вида информации, которая сохраняется в памяти после выполнения движения:

- характеристики ответа (такие параметры, как сила, направление и время);
- условия начала движения (позиция тела и вес предмета, с которым производят манипуляции);
- сенсорные последствия движения, т.е. как оно ощущалось, выглядело и звучало;
- результат движения в терминах как знание о результате.

Теория предполагает, что обучение зависит не только от масштабности, протяженности тренировки, но и от ее вариативности, и что вариативность практики (тренировки) может улучшить двигательное обучение. То есть с увеличением вариативности практики генерализованные моторные программы становятся более прочными, а двигательные схемы более адаптивными.

К системным теориям двигательного контроля также можно отнести *динамическую системную модель*, предложенную J.A.S. Kelso [19–21] и основанную на функциональной самоорганизации множественных подсистем, группирующихся вокруг значимой цели. Он показал на примере локомоции, как ритмическая активация мышц возникает в результате взаимодействия сенсорных систем двигательного аппарата со средой, а сам стимул к локомоции не является ритмическим. Изменение параметров стимула, например, частоты ритмической активации, может изменить параметры движения. Так, с увеличением частоты асинхронная локомоция (бег рысью у лошади) плавно переходит в синхронный галоп, т.е. с изменением параметра движения происходит динамическое изменение функциональной системы, управляющей движением.

Некоторые системные теории попытались ответить на вопрос о том, какой именно параметр контролируется нервной системой, тогда как в других данный вопрос не нашел ответа. Вопрос управляемого двигательного параметра также рассматривался в рамках *теорий моторного программирования*. Например, E.V. Evarts и соавт. [22–24] предположили, что моторная кора головного мозга содержит группы специфических мотонейронов, которые контролируют силу и скорость произвольного движения. Позже к этим параметрам добавилось направление движения [25]. Таким образом, двигательный контроль осуществляется посредством селекцией мотонейронов, программирующих движение в определенном направлении, с различной силой и скоростью.

В заключение следует отметить, что ни одна теория не являлась догмой в свое время, и каждая продолжала развиваться по мере накопления экспериментальных данных.

Более того, накопленные знания суммировались, систематизировались и были положены в основу создания практических методов и подходов двигательной реабилитации больных с неврологическими заболеваниями и травмами [26–28]. Нейрореабилитационные подходы могут быть направлены на различные составляющие двигательного восстановления, требовать разной степени активного участия больного в лечебном процессе и уровня сохранности его когнитивных функций. Объединяет эти методы тот факт, что все они в большой или меньшей степени имеют теоретическое обоснование в рамках одной или нескольких вышеупомянутых теоретических концепций. Основные положения и теоретические предпосылки некоторых, наиболее часто используемых реабилитационных подходов, детализируются далее.

### Реабилитационные подходы

Одним из наиболее ранних реабилитационных подходов, сформировавшихся под влиянием идей С.С. Sherrington, можно считать использование *механизма сенсорных коррекций движения*. М.С. Rood в 1950-х гг. [29] предприняла попытку систематизировать наиболее часто используемые в нейрореабилитации приемы, направленные на стимуляцию или торможение спинальных рефлексов. Посредством стимуляции или торможения рефлекторной активности достигалась коррекция движений, позы или мышечного тонуса. Стимуляция мышечной активности осуществлялась посредством активации рефлексов на растяжение, тракции, вибрации или сближения концов прикрепления мышцы. Торможение, в свою очередь, достигалось медленным и длительным растяжением, например, спастичной мышцы, активацией сухожильных рефлексов, поглаживанием, а также применением тепла или холода. Эти приемы используются во время как активных, так и пассивных движений и поддержания статических поз. Целью применения сенсорных коррекций является облегчение движения, коррекция позы или положения, снижение или увеличение мышечного тонуса. Однако вероятность того, что вызванный на уровне спинного мозга рефлекс может существенно улучшить координацию или точность движений, например, парализованной руки у больного после инсульта, остается минимальной. Эти ограничения должны приниматься во внимание при использовании сенсорных коррекций в реабилитационных мероприятиях для больных с серьезными двигательными нарушениями.

Метод *проприоцептивной нервно-мышечной фасилитации* (ПНМФ) также основывается на рефлекторной теории двигательного контроля. Разработанный Н. Kabat и М. Knott [30], метод позже дополнялся и систематизировался многими клиницистами [31–34]. ПНМФ традиционно используется для силовой тренировки мышц и коррекции мышечного тонуса, что приводит к улучшению как пассивного, так и активного движения в суставах.

Метод ПНМФ включает следующие мануальные приемы стимуляции и торможения проприоцептивных рефлексов (фасилитации):

- применение максимального сопротивления в течение всего или части диапазона движения;
- предварительное растяжение пораженных мышц;
- одновременное вовлечение в движение более одного сустава (комплексные двигательные акты);
- повышение мышечной силы путем многократных сокращений;

- ритмические стабилизации мышц;
- медленные развороты.

В этой методике предусматривается использование быстрого растяжения мышц с целью усиления рефлекса на растяжение и тем самым облегчения или фасилитации движения. Приемы применяются во время движений конечности, а также туловища или таза согласно определенным диагональным паттернам, которые соответствуют врожденным мышечным синергиям. Метод не нашел широкого применения при спастических парезах, хотя отдельные его приемы используются для облегчения произвольной мышечной активности. С большим успехом метод применяется в спортивной медицине, а также для восстановления функционального объема движений и увеличения силы у пациентов после спинномозговой травмы, вялых парезов, а также после повреждения мягких тканей или инвазивных операций.

Параллельно с ПНМФ развивался *метод мышечного переобучения*, предложенный F.J. Kottke и B.S. Teigen в 1948 г. [35]. Этот метод предполагал выработку изолированных движений и тренировку отдельных мышц для получения в дальнейшем более сложных движений. Обязательными условиями при проведении такой гимнастики являются дозированное усилие, недопустимость утомления и постепенное увеличение нагрузок. Этот метод был создан в первую очередь для больных с последствиями полиомиелита. В отдельных случаях при совместном применении с электромиографической обратной связью [36, 37], робототехническими устройствами [38] метод мышечного переобучения оказался успешным также у больных с последствиями инсульта. В настоящее время метод мышечного переобучения находит наиболее широкое распространение в травматологии и часто используется совместно с функциональной нервно-мышечной стимуляцией и робототехническими устройствами.

Другим важным этапом в развитии реабилитационных технологий стала разработка К. Vobath и В. Vobath *метода мануальных коррекций*, известного также как *нейроразвивающая терапия* [39]. Эти авторы сформулировали свою концепцию на основе наблюдений за патологическим постуральным тонусом у детей с детским церебральным параличом. Метод удачно сочетал основные принципы рефлекторной и иерархической теорий двигательного контроля и стал известен как «искусство мануальной коррекции». Позже этот метод начали применять также в лечении взрослых с последствиями инсульта, используя иерархическую модель онтогенеза в качестве теоретического обоснования. Концепция предполагает, что если двигательные центры развиваются в процессе взросления индивидуума от низших к высшим, и по мере созревания высших центров управляющие функции низших центров замещаются, то и восстановление двигательных функций должно происходить в той же последовательности. Если следовать подобной онтогенетической иерархии, терапевтические манипуляции должны начинаться с простых рефлексов и движений, а затем постепенно переходить к более сложным координированным движениям и навыкам по мере восстановления или улучшения состояния пациента. К. Vobath и В. Vobath указывали, что невозможно выполнить движение правильно при неправильном положении тела или в случае значительной спастичности. Поэтому такие двигательные составляющие, как мышечный тонус и поза, контролирующиеся на низших уровнях ЦНС, должны

корректироваться в первую очередь. Затем корректируется само произвольное движение, желательно в процессе выполнения какой-либо функциональной задачи. Коррекция осуществляется в определенном порядке – от проксимальных сегментов тела к дистальным по отношению к тому сегменту или суставу, который является референтным, т. е. создающим основную проблему при движении. Авторы также неоднократно подчеркивали, что их метод должен постоянно совершенствоваться и обновляться по мере накопления новых знаний.

Следующий терапевтический подход, достойный внимания, был предложен М. Johnstone [40] специально для лечения больных после инсульта и основывался на тех же принципах, что и подход К. Bobath и В. Bobath. Особое внимание уделялось *нормализации постуральных рефлексов*. Центральной в этом подходе являлась развивающаяся последовательность контроля движений и контроль от проксимальных к дистальным отделам. Контроль спастичности рассматривался как предшественник успешной реабилитации и как первостепенная задача с первого дня лечения. Этот подход выполняется через использование таких техник, как шинирование под давлением и ритмическая стабилизация. Это позволяет индивидуумам оставаться активными при достижении и установлении требуемой позиции. Подход М. Johnstone чаще используется при восстановлении руки, чем другие техники.

Концепции сенсорной стимуляции, использование рефлекторных движений и мануальной коррекции были позже объединены в подходе к восстановлению больных после инсульта, предложенном S. Brunnstrom [41–44]. Автор предположила, что восстановление движений имеет тенденцию к стереотипности, как в природе, и выражается через измененный синергический контроль пораженной конечности. Такой подход стимулирует *развитие синергии в сибателях и разгибателях* в течение раннего восстановления таким образом, что при использовании соответствующей тренировки эта синергическая активность мышц может заменяться произвольными движениями. Основным методическим приемом является облегчение синергических и затем несинергических движений, используя рефлекторную активность и сенсорную стимуляцию. Спастичность в этом подходе рассматривается как основной критерий восстановления движений от синергических к несинергическим. Спастичность и патологические синергии тройного сгибания и разгибания верхней и нижней конечностей также были положены в основу классификации степени тяжести двигательных нарушений после инсульта (шкала Fugl–Meyer assessment of physical performance) [45].

Все вышеперечисленные методы в течение долгого времени являлись основой физической реабилитации больных с неврологическими нарушениями. Их общей особенностью было интенсивное применение техник мануальной коррекции и активное вовлечение инструктора по лечебной гимнастике, в то время как активное участие больного в процессе восстановления требовалось в меньшей

степени. Принципиально другим явился *метод целенаправленного обучения*, наиболее полно описанный и систематизированный австралийскими клиницистами J.H. Carr и R.B. Shepherd [46] и позже дополненный рядом авторов [47, 48]. Метод основывается на системных теориях двигательного контроля, одним из основных принципов которых является зависимость движения от параметров и условий выполняемого двигательного задания. Принципиальным отличием целенаправленного обучения от нейрооблегчающих методов, основанных, как правило, на рефлекторной и иерархических теориях, является минимальное использование мануальной коррекции. Основные теоретические положения, на которых строится этот подход, заключаются в следующем:

- выполнение двигательной задачи требует активного участия больного;
- двигательный контроль является упреждающим и постоянным; постуральный контроль и специфические активности конечностей являются взаимосвязанными;
- тренировка специфических двигательных задач приводит к способности выполнить задачу, которую следует практиковать в соответствующих условиях;
- сенсорный вход модулирует выполнение двигательных задач.

Поскольку целенаправленное обучение предполагает активное участие больного и минимальное вмешательство со стороны инструктора, метод ограничен в использовании у больных с тяжелыми нарушениями движений и значительным повышением мышечного тонуса.

Необходимо подчеркнуть, что основной задачей целенаправленного обучения является переобучение контролю движения, а не формирование стандартных двигательных паттернов. Данный подход предполагает, что пациенты активно ищут различные способы решения двигательной задачи, не пытаются повторять одно и то же движение, навязываемое инструктором. Адаптация движения к изменениям в окружающей среде является наиболее важной частью восстановления функции.

В заключение важно подчеркнуть, что все перечисленные выше реабилитационные методы и подходы не являются взаимоисключающими. Напротив, они взаимно дополняют друг друга. Так, например, правильное выполнение функционального движения в рамках целенаправленного обучения практически невозможно без предварительного растяжения спастичных мышц паретичной конечности с использованием тормозящих сенсорных приемов, с последующей мануальной коррекцией положения этой конечности. В идеальной ситуации различные реабилитационные методы и подходы должны использоваться в комплексе. Причем относительный вес отдельных методов, используемых в реабилитации каждого конкретного больного, может варьировать в зависимости от сохранности двигательных функций, как и многих других факторов, которые необходимо принимать во внимание при планировании восстановительных мероприятий.

## Список литературы

1. Mathiowetz V., Haugen J.B. Motor behavior research: implications for therapeutic approaches to central nervous system dysfunction. *Am J Occup Ther* 1994; 48: 733–745. DOI: 10.5014/ajot.48.8.733. PMID: 7943161.
2. Сеченов И.М. *Рефлексы головного мозга*. М.: АН СССР; 1961. 100 с.
3. Павлов И.П. *Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей деятельности (поведения) животных*. М.: Наука; 1973. 661 с.
4. Sherrington C.S. *The integrative action of the nervous system*. New Haven, CT: Yale University Press; 1906. 446 p.
5. Шеррингтон Ч. *Интегративная деятельность нервной системы*. Л.: Наука; 1969. 390 с.
6. Иоффе М.Е. Мозговые механизмы формирования новых движений при обучении: эволюция классических представлений. *Журн. высш. нервн. деят.* 2003; 53(1): 5–21.
7. Jackson J.H. Remarks on the relations of different divisions of the central nervous system to one another and to parts of the body. Delivered before the Neurological Society, December 8th, 1897. *Br Med J* 1898; 1: 65–69. PMID: 20757539.
8. Magnus R. Animal posture (Croonian lecture). *Proc R Soc Lond* 1925; 98: 339–353.
9. Бернштейн Н.А. Проблема взаимоотношения координации и локализации. *Арх. биол. наук* 1935; 38: 1–34.
10. Бернштейн Н.А. *О построении движений*. М.: Медгиз; 1947. 254 с.
11. Бернштейн Н.А. *Современные искания в физиологии нервного процесса* / Под ред. И.М. Фейгенберга, И.Е. Сироткиной. М.: Смысл; 2003. 330 с.
12. Latash M.L., Gelfand I.M., Li Z.M., Zatsiorsky V.M. Changes in the force-sharing pattern induced by modifications of visual feedback during force production by a set of fingers. *Exp Brain Res* 1998; 123: 255–262. DOI: 10.1007/s002210050567. PMID: 9860263.
13. Gelfand I.M., Latash M.L. On the problem of adequate language in motor control. *Motor Control* 1998; 2: 306–313. DOI: 10.1123/mcj.2.4.306. PMID: 9758883.
14. Latash M.L., Scholz J.P., Schöner G. Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control* 2007; 11: 276–308. DOI: 10.1123/mcj.11.3.276. PMID: 17715460.
15. Reschetchko S., Zatsiorsky V.M., Latash M.L. Stability of multifinger action in different state spaces. *J Neurophysiol* 2014; 112: 3209–3218. DOI: 10.1152/jn.00395.2014. PMID: 25253478.
16. Анохин П.К. Единство центра и периферии в нервной деятельности. *Физиол. журн. СССР* 1935; 19(1): 21–28.
17. Анохин П.К. *Очерки по физиологии функциональных систем*. М.: Медицина; 1975. 448 с.
18. Schmidt R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 1975; 82: 225–260. DOI: 10.1037/h0076770.
19. Thelen E., Cooke D.W. Relationship between newborn stepping and later walking: a new interpretation. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29: 380–393. DOI: 10.1111/j.1469-8749.1987.tb02492.x. PMID: 3596074.
20. Kelso J.A.S., Tuller B. A dynamic basis for action systems. In: Gazzaniga M.S. (ed.) *Handbook of cognitive neuroscience*. New York: Plenum; 1984: 321–356.
21. Perry S.B. Clinical implications of a dynamical systems theory. *Neural Rep* 1998; 22: 4–10. DOI: 10.1044/1058-0360(2009/08-0047). PMID: 19644125.
22. Evars E.V. Relation of pyramidal tract activity to force exerted during voluntary movement. *J Neurophysiol* 1968; 31: 14–27. DOI: 10.1152/jn.1968.31.1.14. PMID: 4966614.
23. Evars E.V., Tanji J. Reflex and intended responses in motor cortex pyramidal tract neurons of monkey. *J Neurophysiol* 1976; 39: 1069–1080. DOI: 10.1152/jn.1976.39.5.1069. PMID: 824410.
24. Evars E.V., Fromm C., Kröller J., Jennings V.A. Motor cortex control of finely graded forces. *J Neurophysiol* 1983; 49: 1199–1215. DOI: 10.1152/jn.1983.49.5.1199. PMID: 6864246.
25. Georgopoulos A.P., Kettner R.E., Schwartz A.B. Primate motor cortex and free arm movements to visual targets in three-dimensional space. II. Coding of the direction of movement by a neuronal population. *J. Neurosci* 1988; 8: 2928–2937. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.08-08-02928.1988. PMID: 3411362.
26. Woollacott M.H., Shumway-Cook A. Changes in posture control across the life span – a systems approach. *Phys Ther* 1990; 70: 799–807. DOI: 10.1093/ptj/70.12.799. PMID: 2236223.
27. Horak F. Assumptions underlying motor control for neurologic rehabilitation. In: *Contemporary management of motor control problems*. Proceedings of the II Step Conference. Alexandria, VA: American Physical Therapy Association; 1991: 11–27.
28. Carr J.H., Shepherd R.A. *Neurologic rehabilitation: optimizing motor performance*. Oxford: Butterworth and Heinemann; 1998.
29. Rood M.S. Neurophysiological reactions as a basis for physical therapy. *Phys Ther Rev* 1954; 34: 444–449. DOI: 10.1093/ptj/34.9.444. PMID: 13194374.
30. Kabat H., Knott M. Proprioceptive facilitation therapy for paralysis. *Physiotherapy* 1954; 40: 171–176. PMID: 13177173.
31. Voss D.E., Knott M. Patterns of motion for proprioceptive neuromuscular facilitation. *Br J Phys Med* 1954; 17: 191–198. PMID: 13190150.

## References

1. Mathiowetz V., Haugen J.B. Motor behavior research: implications for therapeutic approaches to central nervous system dysfunction. *Am J Occup Ther* 1994; 48: 733–745. DOI: 10.5014/ajot.48.8.733. PMID: 7943161.
2. Sechenov I.M. *Refleksy головного мозга* [Reflexes of the brain]. Moscow: AN SSSR; 1961. 100 p. (In Russ.)
3. Pavlov I.P. *Dvadsatiletний опыт ob'ektivnogo izucheniya vysshey deyatel'nosti (povedeniya) zhivotnykh* [Twenty-year experience of objective study of animal highest activity (behavior)]. Moscow: Nauka; 1973. 661 p. (In Russ.)
4. Sherrington C.S. *The integrative action of the nervous system*. New Haven, CT: Yale University Press; 1906. 446 p.
5. Sherrington Ch. *Integrativnaya deyatel'nost' nervnoy sistemy* [The integrative action of the nervous system]. Leningrad: Nauka; 1969. 390 p. (In Russ)
6. Ioffe M.E. [Brain mechanisms for the new movements formation in learning: the evolution of classical ideas]. *Zhurn. vyssh. nervn. deyat* 2003; 53(1): 5–21. (In Russ.)
7. Jackson J.H. Remarks on the relations of different divisions of the central nervous system to one another and to parts of the body. Delivered before the Neurological Society, December 8th, 1897. *Br Med J* 1898; 1: 65–69. PMID: 20757539.
8. Magnus R. Animal posture (Croonian lecture). *Proc R Soc Lond* 1925; 98: 339–353.
9. Bernshteyn N.A. [The problem of the relationship between coordination and localizations]. *Arkh. biol. nauk* 1935; 38: 1–34. (In Russ.)
10. Bernshteyn N.A. *O postroenii dvizheniy* [On the construction of movements]. Moscow: Medgiz; 1947. 254 p. (In Russ.)
11. Bernshteyn N.A. *Sovremennye iskaniya v fiziologii nervnogo protsessa* [Modern quest in the physiology of the nervous processing] I.M. Feygenberg, I.E. Sirotkina (eds.). Moscow: Smysl; 2003. 330 p. (In Russ.)
12. Latash M.L., Gelfand I.M., Li Z.M., Zatsiorsky V.M. Changes in the force-sharing pattern induced by modifications of visual feedback during force production by a set of fingers. *Exp Brain Res* 1998; 123: 255–262. DOI: 10.1007/s002210050567. PMID: 9860263.
13. Gelfand I.M., Latash M.L. On the problem of adequate language in motor control. *Motor Control* 1998; 2: 306–313. DOI: 10.1123/mcj.2.4.306. PMID: 9758883.
14. Latash M.L., Scholz J.P., Schöner G. Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control* 2007; 11: 276–308. DOI: 10.1123/mcj.11.3.276. PMID: 17715460.
15. Reschetchko S., Zatsiorsky V.M., Latash M.L. Stability of multifinger action in different state spaces. *J Neurophysiol* 2014; 112: 3209–3218. DOI: 10.1152/jn.00395.2014. PMID: 25253478.
16. Anokhin P.K. [The unity of the center and periphery in nervous activity]. *Fiziol. zhurn. SSSR* 1935; 19(1): 21–28. (In Russ.)
17. Anokhin P.K. *Ocherki po fiziologii funktsional'nykh sistem* [Essays on the physiology of functional systems]. Moscow: Meditsina; 1975. 448 p. (In Russ)
18. Schmidt R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev* 1975; 82: 225–260. DOI: 10.1037/h0076770.
19. Thelen E., Cooke D.W. Relationship between newborn stepping and later walking: a new interpretation. *Dev Med Child Neurol* 1987; 29: 380–393. DOI: 10.1111/j.1469-8749.1987.tb02492.x. PMID: 3596074.
20. Kelso J.A.S., Tuller B. A dynamic basis for action systems. In: Gazzaniga M.S. (ed.) *Handbook of cognitive neuroscience*. New York: Plenum; 1984: 321–356.
21. Perry S.B. Clinical implications of a dynamical systems theory. *Neural Rep* 1998; 22: 4–10. DOI: 10.1044/1058-0360(2009/08-0047). PMID: 19644125.
22. Evars E.V. Relation of pyramidal tract activity to force exerted during voluntary movement. *J Neurophysiol* 1968; 31: 14–27. DOI: 10.1152/jn.1968.31.1.14. PMID: 4966614.
23. Evars E.V., Tanji J. Reflex and intended responses in motor cortex pyramidal tract neurons of monkey. *J Neurophysiol* 1976; 39: 1069–1080. DOI: 10.1152/jn.1976.39.5.1069. PMID: 824410.
24. Evars E.V., Fromm C., Kröller J., Jennings V.A. Motor cortex control of finely graded forces. *J Neurophysiol* 1983; 49: 1199–1215. DOI: 10.1152/jn.1983.49.5.1199. PMID: 6864246.
25. Georgopoulos A.P., Kettner R.E., Schwartz A.B. Primate motor cortex and free arm movements to visual targets in three-dimensional space. II. Coding of the direction of movement by a neuronal population. *J. Neurosci* 1988; 8: 2928–2937. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.08-08-02928.1988. PMID: 3411362.
26. Woollacott M.H., Shumway-Cook A. Changes in posture control across the life span – a systems approach. *Phys Ther* 1990; 70: 799–807. DOI: 10.1093/ptj/70.12.799. PMID: 2236223.
27. Horak F. Assumptions underlying motor control for neurologic rehabilitation. In: *Contemporary management of motor control problems*. Proceedings of the II Step Conference. Alexandria, VA: American Physical Therapy Association; 1991: 11–27.
28. Carr J.H., Shepherd R.A. *Neurologic rehabilitation: optimizing motor performance*. Oxford: Butterworth and Heinemann; 1998.
29. Rood M.S. Neurophysiological reactions as a basis for physical therapy. *Phys Ther Rev* 1954; 34: 444–449. DOI: 10.1093/ptj/34.9.444. PMID: 13194374.
30. Kabat H., Knott M. Proprioceptive facilitation therapy for paralysis. *Physiotherapy* 1954; 40: 171–176. PMID: 13177173.
31. Voss D.E., Knott M. Patterns of motion for proprioceptive neuromuscular facilitation. *Br J Phys Med* 1954; 17: 191–198. PMID: 13190150.

32. Funk D.C., Swank A.M., Mikla B.M. et al. Impact of prior exercise on hamstring flexibility: a comparison of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretching. *Natl Str Cond Assoc J* 2003; 17: 489–492. PMID: 12930174.
33. Lucas R.C., Koslow R. Comparative study of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques on flexibility. *Percept Motor Skill* 1984; 58: 615–618. DOI: 10.2466/pms.1984.58.2.615. PMID: 6739253.
34. Wallin D., Ekblom B., Grahn R., Nordenborg T. Improvement of muscle flexibility: a comparison between two techniques. *Am J Sport Med* 1985; 13: 263–268. DOI: 10.1177/036354658501300409. PMID: 4025678.
35. Kottke F.J., Teigen B.S. Evaluation of aids to muscle reeducation in the treatment of poliomyelitis. *Arch Phys Med Rehabil* 1948; 29: 141–147. PMID: 18910437.
36. Huffman A.L. Biofeedback treatment of orofacial dysfunction: a preliminary study. *Am J Occup Ther* 1978; 32: 149–154. PMID: 636967.
37. Rathkolb O., Baykoushev S., Baykousheva V. Myobiofeedback in motor re-education of wrist and fingers after hemispherical stroke. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1990; 30: 89–92. PMID: 1690122.
38. Dijkers M.P., deBear P.C., Erlandson R.F. et al. Patient and staff acceptance of robotic technology in occupational therapy: a pilot study. *J Rehabil Res Dev* 1991; 28: 33–44. DOI: 10.1682/JRRD.1991.04.0033. PMID: 2066869.
39. Bobath K., Bobath B. The facilitation of normal postural reactions and movements in the treatment of cerebral palsy. *Physiotherapy* 1964; 50: 246–262. PMID: 14179895.
40. Johnstone M. *Restoration of motor function in the stroke patients: a physiotherapist's approach*. 3rd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1987.
41. Brunnstrom S. Motor testing procedures in hemiplegia: based on sequential recovery stages. *Phys Ther* 1966; 46: 357–375. PMID: 5907254.
42. Brunnstrom S. *Movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach*. New York: Harper and Row, 1970. 192 p.
43. Sawner K.A., LaVigne J.M. *Brunnstrom's movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach*. Philadelphia, PA: J.B. Lippincott, 1992.
44. Pandian S., Arya K.N., Davidson E.W. Comparison of Brunnstrom movement therapy and Motor Relearning Program in rehabilitation of post-stroke hemiparetic hand: a randomized trial. *J Bodyw Mov Ther* 2012; 16: 330–337. DOI: 10.1016/j.jbmt.2011.11.002. PMID: 22703742.
45. Sanford J., Moreland J., Swanson L.R. et al. Reliability of the Fugl–Meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Phys Ther* 1993; 73: 447–454. DOI: 10.1093/ptj/73.7.447. PMID: 8316578.
46. Carr J.H., Shepherd R.B. *Motor learning programme for stroke*. London: William Heinemann Medical Books Ltd., 1982. 208 p.
47. Schenkman M., Butler R.B. A model for multisystem evaluation, interpretation, and treatment of individuals with neurologic dysfunction. *Phys Ther* 1989; 69: 538–547. DOI: 10.1093/ptj/69.7.538. PMID: 2740445.
48. Shumway-Cook A., Horak F.B. Rehabilitation strategies for patients with vestibular deficits. *Neurologic Clinics* 1990; 8: 441–457. PMID: 2193221.
32. Funk D.C., Swank A.M., Mikla B.M. et al. Impact of prior exercise on hamstring flexibility: a comparison of proprioceptive neuromuscular facilitation and static stretching. *Natl Str Cond Assoc J* 2003; 17: 489–492. PMID: 12930174.
33. Lucas R.C., Koslow R. Comparative study of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques on flexibility. *Percept Motor Skill* 1984; 58: 615–618. DOI: 10.2466/pms.1984.58.2.615. PMID: 6739253.
34. Wallin D., Ekblom B., Grahn R., Nordenborg T. Improvement of muscle flexibility: a comparison between two techniques. *Am J Sport Med* 1985; 13: 263–268. DOI: 10.1177/036354658501300409. PMID: 4025678.
35. Kottke F.J., Teigen B.S. Evaluation of aids to muscle reeducation in the treatment of poliomyelitis. *Arch Phys Med Rehabil* 1948; 29: 141–147. PMID: 18910437.
36. Huffman A.L. Biofeedback treatment of orofacial dysfunction: a preliminary study. *Am J Occup Ther* 1978; 32: 149–154. PMID: 636967.
37. Rathkolb O., Baykoushev S., Baykousheva V. Myobiofeedback in motor re-education of wrist and fingers after hemispherical stroke. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1990; 30: 89–92. PMID: 1690122.
38. Dijkers M.P., deBear P.C., Erlandson R.F. et al. Patient and staff acceptance of robotic technology in occupational therapy: a pilot study. *J Rehabil Res Dev* 1991; 28: 33–44. DOI: 10.1682/JRRD.1991.04.0033. PMID: 2066869.
39. Bobath K., Bobath B. The facilitation of normal postural reactions and movements in the treatment of cerebral palsy. *Physiotherapy* 1964; 50: 246–262. PMID: 14179895.
40. Johnstone M. *Restoration of motor function in the stroke patients: a physiotherapist's approach*. 3rd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1987.
41. Brunnstrom S. Motor testing procedures in hemiplegia: based on sequential recovery stages. *Phys Ther* 1966; 46: 357–375. PMID: 5907254.
42. Brunnstrom S. *Movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach*. New York: Harper and Row, 1970. 192 p.
43. Sawner K.A., LaVigne J.M. *Brunnstrom's movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach*. Philadelphia, PA: J.B. Lippincott, 1992.
44. Pandian S., Arya K.N., Davidson E.W. Comparison of Brunnstrom movement therapy and Motor Relearning Program in rehabilitation of post-stroke hemiparetic hand: a randomized trial. *J Bodyw Mov Ther* 2012; 16: 330–337. DOI: 10.1016/j.jbmt.2011.11.002. PMID: 22703742.
45. Sanford J., Moreland J., Swanson L.R. et al. Reliability of the Fugl–Meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Phys Ther* 1993; 73: 447–454. DOI: 10.1093/ptj/73.7.447. PMID: 8316578.
46. Carr J.H., Shepherd R.B. *Motor learning programme for stroke*. London: William Heinemann Medical Books Ltd., 1982. 208 p.
47. Schenkman M., Butler R.B. A model for multisystem evaluation, interpretation, and treatment of individuals with neurologic dysfunction. *Phys Ther* 1989; 69: 538–547. DOI: 10.1093/ptj/69.7.538. PMID: 2740445.
48. Shumway-Cook A., Horak F.B. Rehabilitation strategies for patients with vestibular deficits. *Neurologic Clinics* 1990; 8: 441–457. PMID: 2193221.

**Информация об авторах:** Устинова Ксения Ивановна – к.п.н., проф. Школы реабилитации и медицинских наук Центрального мичиганского университета, Маунт-Плезант, США;  
Черникова Людмила Александровна – д.м.н., проф., г.н.с. отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия;  
Хижникова Анастасия Евгеньевна – асп. отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия;  
Пойдашева Александра Георгиевна – врач-невролог, м.н.с. отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия;  
Супонева Наталья Александровна – д.м.н., проф., зав. отделением нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ НЦН, Москва, Россия;  
Пирадов Михаил Александрович – д.м.н., проф., акад. РАН, директор ФГБНУ НЦН, Москва, Россия

**Information about the authors:** Ksenia I. Ustinova, PhD, Professor, School of Rehabilitation & Medical Sciences, Central Michigan University, Mount Pleasant, USA;  
Lyudmila A. Chernikova, D. Sci. (Med.), Professor, chief researcher, Department of Neurorehabilitation and Physiotherapy, Research Center of Neurology, Moscow, Russia;  
Anastasia E. Khizhnikova, PhD student, Department of Neurorehabilitation and Physiotherapy, Research Center of Neurology, Moscow, Russia;  
Alexandra G. Poydasheva, MD, researcher, Department of Neurorehabilitation and Physiotherapy, Research Center of Neurology, Moscow, Russia;  
Natalia A. Suponeva, D. Sci. (Med.), Professor, Head of Department of Neurorehabilitation and Physiotherapy, Research Center of Neurology, Moscow, Russia;  
Michael A. Piradov, D. Sci. (Med.), Professor, Academician of RAS, Director of Research Center of Neurology, Moscow, Russia