

Н.А. Бернштейн — основатель современной биомеханики

В.М. Девишвили Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила 8 декабря 2015 / Принята к публикации: 27 декабря 2015

N.A. Bernstein, the founder of modern biomechanics

Vazha M. Devishvili Moscow Lomonosov State University, Moscow, Russia

Received: December 8, 2015 / Accepted for publication: December 27, 2015

Статья освещает три основных периода научного творчества выдающегося отечественного ученого, основателя учения о двигательной деятельности человека и животных Николая Александровича Бернштейна. В 2016 году будет отмечаться 120-летие со дня его рождения.

Первый период его научной деятельности — от начала работы в Центральном институте охраны труда (1922 год) до середины тридцатых годов двадцатого столетия. К этому времени были сформулированы и опубликованы основные принципы и представления о кольцевом управлении и сенсорной коррекции движений различной сложности и различного смысла. Второй период завершается основополагающим научным трудом Н.А. Бернштейна «О построении движений», удостоенным государственной премии СССР в 1948 году. Монография подводит итог его более чем двадцатилетних исследований в области биомеханики и физиологии движений. В статье кратко описаны основные положения трех содержательных частей данной монографии. В части «Движения» раскрываются эволюционные представления о происхождении двигательной функции и сформулирован принцип уровенного построения движений. Во второй — описаны пять уровней, имеющих различное функциональное назначение и в разной степени участвующие в реализации моторных действий. В третьей части «Развитие и распад», рассматриваются общие закономерности возникновения уровней построения движений и приводятся признаки, подтверждающие уровневую структуру движений на материалах патологии и нормы.

В 1950–60-х годах Н.А. Бернштейн значительно расширил представления о функциональном содержании и нервном субстрате уровней построения движений, детализировал этапы и фазы формирования и совершенствования двигательных навыков.

В статье показано значение научных достижений Н.А. Бернштейна для современных исследований в области психофизиологии движений.

Ключевые слова: психофизиология активности; сенсорные коррекции; кольцевое управление движениями; уровни построения движений; схема тела; двигательные навыки

The paper deals with three major periods of scientific work of Nikolai Alexandrovich Bernstein, the outstanding Russian scientist, the founder the motor activity theory of human and animal. In 2016 is the 120th anniversary of Bernstein's birth.

The first period of his scientific activity, from 1922 when Bernstein started his research at the Central Institute of Labour Protection until the middle of the 30s of the 20th century. By this time, he formulated and published the basic principles and ideas of the annular motion control and sensor correction movements of varying complexity and various performance. The second period ends with the fundamental scientific work «On the Construction of Movements» awarded by the USSR State Prize in 1948. The book sums up Bernstein's more than twenty years of research in the field of biomechanics and physiology of movement. The paper briefly describes the main assumptions of the three chapters of the book. The first chapter «Movements» reveals the evolutionary ideas about the origin of motor function and shaped the principle of the equation of building movements. The second chapter describes five levels with different functionality in varying degrees involved in the implementation of motor actions. The third chapter of the «Development and Decay» deals with the general laws of occurrence and levels of building movements being signs of confirming the level structure of motion in pathology and standards.

In 1950–60-ies of the 20th century Bernstein greatly expanded representation of the functional content and neural substrate levels of building movements, detailed the stages and phases of shaping and improvement of motor skills.

The author shows the importance of scientific achievements of N.A. Bernstein for modern research in the psychophysiology of movements.

Keywords: psychophysiology of activity; sensory correction; annular motion control; levels of building movements; body image; motor skills

Выдающийся отечественный физиолог и психофизиолог Николай Александрович Бернштейн (1896-1966) родился в Москве в семье видного московского психиатра А.Н. Бернштейна. В 1919 году окончил медицинский факультет Московского университета, там же прослушал курс математического факультета. В 1919 году был мобилизован в качестве военного врача в Красную армию. В 1920 году демобилизован из армии, работал психиатром в клинике В.А. Гиляровского. В 1922 году Н.А. Бернштейн был приглашен А.К. Гастевым в Центральный институт охраны труда (ЦИТ). Там он основал и возглавил лабораторию биомеханики, где занимался изучением трудовых движений с целью их оптимизации и повышения производительности труда. Н.А. Бернштейн совершенствует существующие и разрабатывает новые методы регистрации параметров трудовых движений (кимоциклография, циклограмметрия) с использованием кинокамер с высокой частотой съемки, которые позволяли более подробно фиксировать фазы движения человека. Он создает новые способы анализа результатов эксперимента с последующей математической обработкой данных, исследует механизмы управления сокращением скелетной мускулатуры и закладывает основы биомеханики. Уже к 1924 году ученый подготовил к изданию обширный труд «Общая биомеханика», который был опубликован в 1926 году.

На основе экспериментальных данных, полученных на основе изучения биомеханики и физиологии мышечного сокращения в трудовых движениях, Н.А. Бернштейн обосновал необходимость постоянного контроля и коррекции процесса реализации целенаправленных двигательных действий. Этот механизм кольцевого управления в 1928 году

получил название принцип «сенсорных коррекций». Спустя два десятилетия Норберт Винер, разрабатывая основы кибернетики, назовет аналогичный механизм обратной связью.

К середине тридцатых годов XX столетия Н.А. Бернштейном были разработаны и наполнены содержанием такие теоретические положения концепции как «кольцевая схема управления движениями», «принцип сенсорных коррекций», «повторение без повторения», «модель потребного будущего», «преодоление избыточных степеней свободы», «принцип равной простоты» и другие, которые составили ядро его монографии «О построении движений».

В этом труде ученый сформулировал принцип активности субъекта при планировании и реализации моторного действия. Взяв за основу иерархическую систему построения движений, он блестяще описал огромное разнообразие движений человека различной сложности и смыслового содержания. Монография «О построении движений», опубликованная в 1947 году, была удостоена Государственной премии СССР.

В первой ее части приводятся материалы об эволюции двигательной функции и обосновывается необходимость кольцевой схемы управления движениями. Согласно концепции кольцевого управления и сенсорной коррекции, при реализации программы какого-либо движения результаты действия оцениваются на основе анализа информации от сенсорных систем. При отклонении от заданной программы вносятся коррективы в программу движения. Этот факт приводит Н.А. Бернштейна к выводу, что даже при выполнении хорошо заученных и часто повторяемых движений способы и средства решения двигательной задачи будут различны из-за

непостоянства внешних и внутренних условий. Процесс планирования движения осуществляется на основе сенсорной информации, а процесс реализации двигательной задачи – на основе сенсорных коррекций от начала движения до его завершения.

Вторая часть монографии посвящена описанию пяти уровней (А, В, С, D, E) построения движений. В процессе реализации двигательной задачи могут участвовать практически все уровни движения. Исключение составляют лишь кратковременные рефлекторные реакции (защитные, избегания и др.) которые реализуются на уровне А раньше, чем информация о действии достигает высших аналитических отделов мозга.

Уровень А или субкортикальный уровень имеет важнейшее значение для жизнедеятельности человека в среде обитания. Практически ни одно требуемое моторное действие не может быть успешно выполнено без предварительной и соответствующей подготовительной реакции позы и тонуса и дальнейшего сопровождения моторного процесса на основе сенсорных коррекций. Большинство этих моторных реакций произвольны и отличаются высокими адаптивными свойствами и качеством исполнения. Наиболее древние из них Н.А. Бернштейн относил к палеокинетическим регуляциям. К самым очевидным самостоятельным движениям этого уровня относят следующие – произвольные: дрожательные движения от холода, испуга, страха и патологические моторные эффекты (паралич «Паркинсона» и др.), произвольные: быстрые вибрационные движения динамического типа и статические в виде определенных поз, отдельных фаз или фрагментов сложного целостного движения.

Уровень В. Субкортикальный уровень синергии и штампов или таламопаллидарный уровень. Если на уровне А, основанном на некинетическом нейромышечном субстрате (поперечно полосатая мускулатура и нервные волокна, покрытые миелиновой оболочкой), реализовывались в основном палеокинетические регуляции, то на уровне В на базе некинетического субстрата представлено большое число сложных некинетических механизмов регуляции,



Важа Михайлович Девишвили – кандидат биологических наук, доцент кафедры психофизиологии факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова
E-mail: vmdev37@gmail.com

Для цитирования: Девишвили В.М. Н.А. Бернштейн – основатель современной биомеханики // Национальный психологический журнал. – 2015. – № 4(20). – С. 74-78.

For citation: Devishvili Vaja M. (2015). N.A. Bernstein, the founder of modern biomechanics. *National Psychological Journal*, 4, 74-78.

ISSN 2079-6617 Print | 2309-9828 Online
© Lomonosov Moscow State University, 2015
© Russian Psychological Society, 2015

несущих, совместно с уровнем А, базовые фоновые функции для обеспечения успешной реализации моторных действий. Н.А. Бернштейн выделяет три координационных качества, характерных для этого уровня:

- способность к высоко сложенным движениям всего тела с участием многих десятков мышц и мышечных синергий;
- способность выстраивать различные фазы движений соответствующим образом во времени;
- свойство или склонность к штампам, к чеканной повторяемости движений, не важно, ритмических или однократных.

Несмотря на огромные координационные возможности и совершенную афферентацию уровня синергий, уровнем В управляется мало самостоятельных движений. По мнению Н.А. Бернштейна, это, прежде всего, выразительная мимика, пантомимика и пластика, проявляющаяся в результате сдвигов эмоциональных состояний, а не символических факторов. К этому уровню относят также бесснарядовые гимнастические упражнения, которые отличаются грациозностью, плавностью и высокой устойчивостью к внешним воздействиям.

Важнейшим свойством уровней А и В является то, что на основе различных видов сенсорной информации (от суставных, сухожильных и мышечных рецепторов, вестибулярной системы и др.), за исключением визуальной информации, формируется чувство схемы тела.

Кортикальный уровень построения С или уровень пространственного поля. Этот уровень оснащен визуальной системой, что позволяет субъекту в содружестве с уровнями А и В активно взаимодействовать с окружающим предметным миром. Н.А. Бернштейн рассматривает на уровне С два подуровня: С1 и С2. Для С1 характерны требования минимальной вариативности (пример типового задания – обведение фигуры). Для С2 характерны требования наивысшей точности (пример типового задания – срисовывание фигуры). Перечень самостоятельных движений, управляемых на уровне пространственного поля настолько обширен и разнообразен, что Н.А. Бернштейн исключал возможность

составления перечня или каталога. Он выделил семь основных видов и групп движений. Первые четыре ученый относит к регуляциям типа С1, пятую – к переходной, а оставшиеся две группы движений – к регуляциям типа С2.

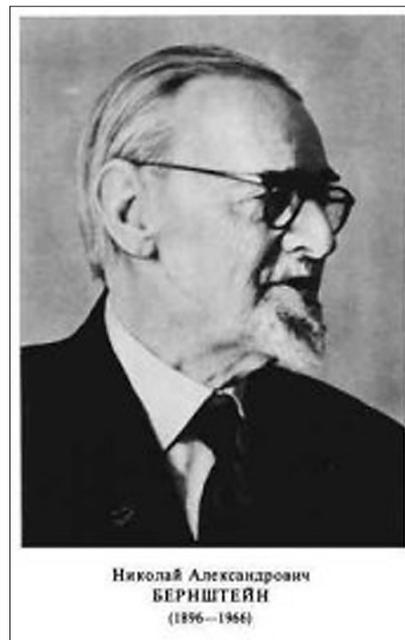
Кортикальный уровень построения D. Теменно-премоторный уровень действий или уровень предметных действий. Полностью кортикальный уровень D является принадлежностью человека, где ведущей афферентацией уровня действий является предмет, а ведущим мотивом – смысловая сторона действия с предметом. Таким образом, в отличие от ниже лежащих уровней (С, В и А), для которых характерна в основном метричность в моторных действиях, для смысловых цепей уровня D характерна топологичность.

Пространственные и временные компоненты моторного действия представлены на всех уровнях построения движений. Временная структура на уровне синергии (В) вплетена в ткань движения, а на уровне пространственного поля (С) определяет скорость, темп, время начала и завершения движения. На уровне предметного действия (D) время представлено в виде цепи интервалов активных моторных действий, объединенных в смысловую структуру и определяемых смыслом поставленной задачи.

Уровни выше уровня D (группа E) или высшие кортикальные уровни.

На уровне E представлены высшие интеллектуальные двигательные действия, символические или условные смысловые действия, относящиеся в основном к координации речи и письма, а также действия, имитирующие предмет или действия с предметом являющимся вспомогательным средством, например, различные виды и формы художественного исполнения. Для обоснования наличия уровней выше уровня D Н.А. Бернштейн приводит материалы, связанные с особенно сложными интеллектуальными актами речи и письма, например, перевод или «перешифровка» фонетического (звукового) образа слова на его правильное графическое начертание и обратно.

В качестве материалов, подтверждающих наличие уровней выше уровня D, Н.А. Бернштейн приводит патологические признаки персеверации и апраксии.



Третья часть монографии посвящена возникновению и развитию уровней построения движений. Н.А. Бернштейн описывает принципы формирования двигательных навыков и выделяет признаки уровневой структуры в патологии и норме.



Монография «О построении движений» – фундаментальный труд, итог более чем двадцатилетней научной работы. В последующих научных публикациях 1950-60 годов Н.А. Бернштейн значительно расширил представления о функциональном содержании и нервном субстрате уровней построения движений, детализировал этапы и фазы формирования и совершенствования двигательных навыков, дал оп-



ределения моторной памяти, моторному профилю и моторному стилю.

Принцип сенсорных коррекций, лежащий в основе кольцевого управления движениями, является основным

в рамках его учения концепции, о которых мы уже упоминали: «повторение без повторения», «модель потребного будущего», «преодоление избыточных степеней свободы», «принцип равной

области психофизиологии, развиваясь и наполняясь новым содержанием. Несомненным достоинством трудов Н.А. Бернштейна является демонстрируемая автором широта научных взглядов вместе с глубиной и детальностью рассмотрения изучаемого предмета, что является неиссякаемым источником идей для исследований в области физиологии активности. Научное наследие Н.А. Бернштейна более чем за полвека не только не потеряло привлекательности для исследователей, но и активно используется в области физиологии, психологии, трудовой деятельности и спорта.

Несомненным достоинством трудов Н.А. Бернштейна является демонстрируемая автором широта научных взглядов вместе с глубиной и детальностью рассмотрения изучаемого предмета, что является неиссякаемым источником идей для исследований в области физиологии активности

фундаментальным положением учения Н.А. Бернштейна о физиологии и психофизиологии активности. Сформулиро-

ванности» и другие, до сих пор не утратили своей значимости, активно используются в научных исследованиях в

Литература:

- Алкарас В., Аракелов Г.Г., Девишвили В.М., Соколов Е.Н. Нейронные механизмы организации движений // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология.* – 1982. – № 4.
- Бернштейн Н.А. Новые линии развития в физиологии и их соотношение с кибернетикой. – Москва, 1962.
- Бернштейн Н.А. О ловкости и ее развитии. – Москва, 1991.
- Бернштейн Н.А. О построении движений. – Москва, 1947.
- Бернштейн Н.А. Общая биомеханика. Основы учения о движениях человека. – Москва, 1926.
- Бернштейн Н.А. Очередные проблемы физиологии активности // *Проблемы кибернетики.* – 1961. – Вып. 6. – С. 101-160.
- Бернштейн Н.А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. – М., 1966.
- Бернштейн Н.А. Проблема взаимоотношений координации и локализации // *Архив биологических наук.* – 1935. – Т. 38. – Вып. 1. – С. 1-34.
- Бернштейн Н.А. Пути и задачи физиологии активности // *Вопросы философии.* – 1961. – № 6. – С. 77-92.
- Бернштейн Н.А. Физиология человека : учебник для ин-тов физич. культуры / соавторы А.Н. Крестовников, М.Е. Маршак и др. – Москва, 1946.
- Беспалов Б.И. Сферическая нейросетевая модель познавательного действия // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология.* – 2014. – №4 – с.56-75.
- Грушко А.И., Леонов С.В. Использование систем регистрации движений глаз в психологической подготовке спортсменов // *Национальный психологический журнал.* – 2013. – № 2(10). – С. 106-116.
- Грушко А.И., Леонов С.В. Применение систем регистрации движений глаз в психологической подготовке футболистов // *Национальный психологический журнал.* – 2015. – № 2(18). – С. 13-24.
- Девишвили В.М. С.Г. Геллерштейн о Н.А. Бернштейне (о дружбе, сотрудничестве и научном творчестве) // *Спортивный психолог.* – 2009. – № 3 (18). – С. 15-18.
- Девишвили В.М. Моторный опыт профессионала // *Мир психологии.* – 1997. – № 3.
- Корнеев А.А., Курганский А.В. Преобразование порядка движений в серии, заданной зрительным образцом // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология.* – 2014. – №2 – с.61-74.
- Левин В. Человек, разгадавший тайну живого движения // *Наука и жизнь.* – 2005. – Вып. 5.
- Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. – Москва : АСТ, 2014. – 350, [1] с.
- Сеченов И.М. Физиология нервных центров / ред. и вступ. статья Х. С. Коштоянца. – Москва : Изд-во Акад. мед. наук СССР, 1952. – 236 с. 13.
- Ярошевский М.Г. Сеченовские идеи о мышечной чувствительности в свете теории отражения и кибернетики // *Вопросы философии.* – 1963. – № 9.

References:

- Alkaras, V., Arakelov, G.G. Devishvili V.M., & Sokolov, E.N. (1982) Neural mechanisms of the organization of movements. *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]. Series 14. Psychology*, 4.
- Bernstein, N.A. (1962) The new line of development in physiology and their relationship with cybernetics. Moscow.
- Bernstein, N.A. (1991) On dexterity and its development. Moscow.
- Bernstein, N.A. (1947) On the construction of movements. Moscow.
- Bernstein, N.A. (1926) General biomechanics. Fundamentals of human movements. Moscow.

- Bernstein, N.A. (1961) Regular activity physiology problem. *Problemy kibernetiki [Issues of Cybernetics]*. Vol. 6, 101-160.
- Bernstein, N.A. (1966) Essays on the physiology of movements and activity physiology. Moscow.
- Bernstein, N.A. (1935) The problem of relations of coordination and localization. *Arhiv biologicheskikh nauk [Archives of Biological Science]*. Vol. 1, 1-34.
- Bernstein, N.A. (1961) Ways and task activity physiology. *Problemy Filosofii [Issues of Philosophy]*. 6, 77-92.
- Bernstein, N.A. (1946) Human physiology: a textbook for institutes of physical culture. Moscow.
- Bespalov, B.I. (2014) Spherical neural network model of cognitive actions. *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]*. Series 14. Psychology, 4, 56-75.
- Devishvili, V.M., & Gellerstein, S.G. (2009) About N.A. Bernstein (on friendship, cooperation and scientific work). *Sportivnyy psikholog [Sport Psychologist]*. 3 (18), 15-18.
- Devishvili, V.M. (1997) Motor professional experience. *Mir psikhologii [World of Psychology]*. 3.
- A. Grushko A.I., & Leonov S.V. (2013) Using systems of eye movements recording in the psychological preparation for the athletes. *National Psychological Journal [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal]*, 2, 106-116
- Grushko A.I., & Leonov S.V. (2015) Using eye tracking system in psychological training of football players. *National psychological journal [Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal]*. 2 (18), 13-24.
- Korneev, A. A., & Kurgansky, A. V. (2014) Change in order of movements constituting in series set by visual template. *Vestnik Moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]*. Series 14. Psychology, 2, 61-74.
- Levin, V. (2005) Man to unravel the mystery of living motion. *Nauka i zhizn' [Science and Life]*. Vol. 5.
- Pluzhnikov I.V., Kaleda V.G. (2015). Neuropsychological findings in personality disorders: A.R. Luria's Approach. *Psychology in Russia: State of the Art*, 8(2), 113-125.
- Sechenov, I.M. (2014) Reflexes of the Brain. Moscow, AST, 350, [1].
- Sechenov, I.M. (1952) The physiology of the nerve centers. Moscow, Izdatel'stvo Akademii meditsinskikh nauk SSSR, 236, 13.
- Yaroshevskii, M.G. (1963) Sechenov's ideas on muscle sensitivity in the light of the theory of reflection and cybernetics. *Problemy filosofii [Issues of Philosophy]*. 9.