

## ПРОПРИОЦЕПТИВНАЯ АФФЕРЕНТАЦИЯ КАК БАЗОВОЕ ЗВЕНО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯМИ СПОРТСМЕНА



**Лойко Т.В.**

канд. пед. наук, доцент,  
Белорусский  
государственный  
университет  
физической культуры

В работе раскрывается роль проприоцептивной афферентации в управлении движениями спортсмена. Показано, что ограничение потока афферентных нервных импульсов в центральную нервную систему от проприорецепторов работающих мышц (пассивное отведение руки) снижает точность воспроизведения суставного угла.

Эффективное решение новой двигательной задачи (развитие мышечного напряжения, соответствующего 50 % от его максимальной величины) на основе мышечных ощущений, сформированных в моторной зоне коры больших полушарий в процессе выполнения сходной двигательной задачи (развитие максимального мышечного напряжения), достаточно затруднительно.

Повышению эффективности управления движениями способствует сочетанное поступление в центральную нервную систему афферентных нервных импульсов от проприорецепторов двигательной сенсорной системы и фоторецепторов зрительной сенсорной системы.

**Ключевые слова:** двигательная деятельность; параметры движения; управление движением; регуляция мышечного напряжения; обратная связь; программа движения; двигательная задача; мышцы; сенсорные системы; проприоцептивная афферентация; мышечная чувствительность; суставная чувствительность.

### PROPRIOCEPTIVE AFFERENTATION AS A BASIC ELEMENT OF ATHLETE MOVEMENT CONTROL

The work reveals the role of proprioceptive afferentation in controlling the movements of an athlete. It has been shown that restricting the flow of afferent nerve impulses into the central nervous system from proprioceptors of working muscles (passive abduction of the arm) reduces the accuracy of reproduction of the joint angle.

Effective solution of a new motor task (development of muscle tension corresponding to 50 % of its maximum value) based on muscle sensations formed in the motor zone of the cerebral cortex in the process of performing a similar motor task (development of maximum muscle tension) is quite difficult. The combined entry into the central nervous system of afferent nerve impulses from proprioceptors of the motor sensory system and photoreceptors of the visual sensory system contributes to increasing the efficiency of movement control.

**Keywords:** motor activity; motion parameters; motion control; regulation of muscle tension; feedback; movement program; motor task; muscles; sensory systems; proprioceptive afferentation; muscle sensitivity; joint sensitivity.

### ВВЕДЕНИЕ

Тренировочная и соревновательная деятельность спортсмена неразрывно связана с выполнением многочисленных движений, каждое из которых имеет определенные силовые, пространственные и временные параметры. Эффективное управление

каждым из них является залогом достижения высоких спортивных результатов.

Конечной целью управления любым движением является безошибочное решение двигательной задачи (выполнение физического упражнения) с наименьшими затратами энергии [1].

В управлении движениями можно выделить 2 компонента [2]:

1. Мотивацию движения (социальную либо биологическую), которая определяет его конечный результат (цель).

2. Тактику движения, представляющую собой способ достижения желаемого результата (решения двигательной задачи).

Мотивация запускает ранее сформированные и хранящиеся в центральной нервной системе программы движения либо приводит к формированию новых программ, соответствующих сложившейся обстановке. Именно программа движения и формирует его пространственно-временные, а также силовые характеристики (параметры), соответствующие текущей обстановке.

Тактика движения определяет характер эффективной импульсации к двигательным ядрам спинного мозга, активизирующим соответствующие мышечные группы [3].

Существует два принципа управления движениями [2]:

1. Принцип прямого программного управления.
2. Принцип сенсорных коррекций.

Первый из них особенно актуален при выполнении ациклических упражнений, характеризующихся быстрой и непредсказуемой сменой двигательной деятельности, что делает невозможным ее коррекцию по ходу движения. Второй – при выполнении продолжительных циклических упражнений, характеризующихся многократным повторением стереотипных циклов движения, что позволяет их корректировать по ходу движения.

Управление движениями осуществляется в несколько этапов [1, 4]:

1. Постановка двигательной задачи.
2. Определение исходного функционального состояния мышц и организма в целом.
3. Формирование программы движения и его эталона.
4. Осуществление сенсорных коррекций в случае несовпадения результата действия с его эталоном, хранящимся в центральной нервной системе.
5. Реализация корректирующих воздействий.

Программирование двигательного действия, контроль за его выполнением, а также коррекция (при необходимости) реализуемой программы движения осуществляется лобной долей коры головного мозга [4, 5].

Важнейшую роль в управлении движениями играет обратная афферентация. Она представляет собой непрерывный поток нервных импульсов, поступающих в центральную нервную систему от рецепторов двигательной, вестибулярной, зрительной, слуховой и тактильной сенсорной системы (соответственно проприорецепторов, ампулярных

гребешков и отолитового аппарата, фото- и фонорецепторов, механорецепторов кожи) [1, 2, 5, 6].

Анализ и синтез сигналов, поступающих в центральную нервную систему по каналам внутренней и внешней обратной связи, осуществляется в теменных, височных и затылочных долях коры больших полушарий головного мозга. Результаты его аналитической и синтетической деятельности в случае необходимости используются при уточнении реализуемой программы движения в соответствии с текущими двигательными задачами, стоящими перед спортсменом [4, 7].

## ■ ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Цель исследования – изучить влияние проприоцептивной афферентации на эффективность управления пространственными и силовыми параметрами движения (на примере верхних конечностей).

В исследовании принимали участие студенты учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры» (72 юноши и 69 девушек в возрасте 18–20 лет).

Все экспериментальные задания студенты выполняли ведущей рукой.

### ***Задание 1 – Активное отведение руки.***

Исследуемый стоит спиной к градуированной шкале. Руки опущены вниз. Взгляд направлен прямо перед собой.

За счет напряжения собственной мускулатуры студент вдоль градуированной шкалы отводит прямую руку в сторону на какой-либо угол и фиксирует ее в таком положении. По расположению дистальной фаланги среднего пальца на градуированной шкале определяется величина угла в плечевом суставе, образовавшегося в результате отведения руки. Затем исследуемый за счет собственных мышечных усилий спокойно опускает руку в исходное положение.

По истечении пятисекундной паузы студент должен, ориентируясь на собственные мышечные ощущения, повторно отвести руку в сторону на ту же величину угла. Оценивается точность воспроизведения угла в плечевом суставе.

### ***Задание 2 – Пассивное отведение руки.***

Исходное положение исследуемого то же, что и при выполнении первого задания.

Исследователь, удерживая расслабленную руку студента в области лучезапястного сустава, отводит ее вдоль градуированной шкалы в сторону на какой-либо угол (обязательно отличный от угла, зафиксированного при активном отведении руки). По положению дистальной фаланги среднего пальца руки на градуированной шкале определяется величина заданного угла в плечевом суставе. Сразу же после этого исследователь отпускает руку студента, которая под действием силы тяжести быстро опускается в исходное положение.

По истечении пятисекундной паузы исследуемый должен, ориентируясь на собственные мышечные ощущения, повторно отвести руку в сторону на ту же величину угла. Оценивается точность воспроизведения угла в плечевом суставе.

**Задание 3 – Сжатие пружины кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной произвольной силы кисти без подключения зрительного контроля.**

Исследуемый сжимает пружину кистевого динамометра, проявляя максимальное напряжение мышц сгибателей пальцев руки. Фиксируют максимальную произвольную силу кисти.

По истечении пятисекундной паузы исследуемый должен, ориентируясь на собственные мышечные ощущения, сжать пружину кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной произвольной силы кисти. Оценивается точность выполнения задания.

**Задание 4 – Сжатие пружины кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной произвольной силы кисти с подключением зрительного контроля.**

Задание 4 выполняют только те исследуемые, которые не смогли развить мышечное напряжение, соответствующее требованиям задания 3.

Исследуемый сжимает пружину кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной про-

извольной силы кисти. Напряжение мышц, сгибающих пальцы руки, регулируется с использованием зрительного контроля за передвижением стрелки по циферблату динамометра. Развив требуемую величину мышечного напряжения, исследуемый удерживает его на протяжении нескольких секунд, в течение которых старается запомнить свои мышечные ощущения (начальный этап выполнения задания).

По истечении пятисекундной паузы он должен, ориентируясь только на сформированные мышечные ощущения (зрительный контроль исключается), повторно сжать пружину кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной произвольной силы кисти (заключительный этап выполнения задания). Оценивается точность выполнения задания.

Анализ результатов выполнения первого и второго экспериментального задания показал, что средняя величина исходного угла в плечевом суставе при активном отведении руки у юношей составила  $84,15 \pm 1,62$  градуса, у девушек –  $74,54 \pm 1,86$  градуса. При пассивном отведении руки – соответственно  $68,38 \pm 0,33$  и  $65,78 \pm 0,87$  градуса.

Количество студентов, точно повторивших исходный угол в плечевом суставе при выполнении активного отведения руки, было значительно больше, чем при пассивном отведении этой же конечности. Данное утверждение справедливо в отношении представителей обоих полов (таблица 1).

Таблица 1. – Соотношение студентов с различной степенью точности воспроизведения величины угла в плечевом суставе (чел / %)

Отведение руки	Результат движения	Юноши (n=72)	Девушки (n=69)
Активное	Воспроизведенный угол равен исходному	19 / 26	19 / 28
	Воспроизведенный угол больше исходного	34 / 48	33 / 48
	Воспроизведенный угол меньше исходного	19 / 26	17 / 24
Пассивное	Воспроизведенный угол равен исходному	1 / 1,5	2 / 3
	Воспроизведенный угол больше исходного	48 / 66,5	35 / 51
	Воспроизведенный угол меньше исходного	23 / 32	32 / 46

Таблица 2. – Погрешность при воспроизведении суставного угла в плечевом суставе у студентов при активном и пассивном отведении руки (град.)

Группы исследуемых	Активное отведение руки (M±m)	Пассивное отведение руки (M±m)	Значимость различий (P)
Юноши (n=72)	3,92±0,35	6,38±0,43	<0,05
Девушки (n=69)	2,77±0,39	5,13±0,30	<0,05

Таблица 3. – Соотношение студентов с различной степенью точности развития регламентированного мышечного напряжения (чел / %)

Величина мышечного напряжения	Условия выполнения задания			
	Полное отсутствие зрительного контроля		С подключением зрительного контроля на начальном этапе	
	юноши (n=72)	девушки (n=69)	юноши (n=66)	девушки (n=64)
Соответствует 50 % максимальной произвольной силы кисти	6 / 8	5 / 7	8 / 12	17 / 27
Более 50 % максимальной произвольной силы кисти	45 / 63	48 / 70	34 / 52	20 / 31
Менее 50 % максимальной произвольной силы кисти	21 / 29	16 / 23	24 / 36	27 / 42

Таблица 4. – Погрешность при развитии регламентированного напряжения мышц-сгибателей пальцев рук в условиях отсутствия и подключения зрительного контроля (кг)

Группы исследуемых	Полное отсутствие зрительного контроля (M±m)	С подключением зрительного контроля на начальном этапе (M±m)	Значимость различий (P)
Юноши (n=72 <sup>1</sup> /69 <sup>2</sup> )	7,94±3,62	3,86±0,41	>0,05
Девушки (n=69 <sup>1</sup> /64 <sup>2</sup> )	6,21±0,55	2,85±0,24	<0,05

Примечание: <sup>1</sup> – количество исследуемых, выполнявших третье экспериментальное задание;  
<sup>2</sup> – количество исследуемых, выполнявших четвертое экспериментальное задание.

Установлено, что в обеих исследуемых группах преобладали студенты, которые при повторном отведении руки превысили величину исходного угла в плечевом суставе. При пассивном отведении этой же конечности количество таких студентов увеличилось, особенно среди юношей (таблица 1).

Точность воспроизведения исходного суставного угла при выполнении задания с активным отведением руки была значимо выше, чем при выполнении задания с ее пассивным отведением (таблица 2).

Причиной более низкой точности воспроизведения угла в плечевом суставе, а также значительного уменьшения количества студентов, которым удалось точно воспроизвести величину заданного суставного угла при пассивном отведении руки, является ограничение потока нервных импульсов, поступающих в мозг от проприорецепторов мышц, выполнявших соответствующее движение верхней конечности. Снижение их импульсной активности было обусловлено практически полным расслаблением названной группы мышц. Ограничение проприоцептивной афферентации при выполнении второго экспериментального задания затруднило формирование в коре больших полушарий достоверного представления о степени мышечного напряжения, необходимого для отведения руки с целью воспроизведения заданного угла в плечевом суставе.

Анализ результатов выполнения третьего и четвертого экспериментального задания показал, что средняя величина максимальной произвольной

силы кисти у юношей составила 46,32±0,70 кг, у девушек – 31,70±0,59 кг.

Установлено, что только небольшое количество юношей и девушек смогли развить напряжение мышц-сгибателей пальцев до уровня, соответствующего 50 % от максимальной произвольной силы кисти, ориентируясь исключительно на собственные мышечные ощущения. В подавляющем большинстве случаев студенты развивали более значительное мышечное напряжение (таблица 3).

Величина погрешности при развитии регламентированного напряжения исследуемых мышц, у юношей и девушек была практически одинаковой (таблица 4).

Дополнительное подключение зрительного контроля на начальном этапе выполнения четвертого экспериментального задания способствовало увеличению числа студентов, развивших напряжение мышц-сгибателей пальцев до уровня, регламентированного условиями эксперимента, особенно среди девушек. Соотношение студентов, развивших чрезмерное либо недостаточное мышечное напряжение, стало более сбалансированным по сравнению с результатами предыдущего экспериментального задания. Величина погрешности при развитии напряжения мышц-сгибателей пальцев, соответствующего 50 % от максимальной произвольной силы кисти, значительно уменьшилась. У девушек различия по величине погрешности, допущенной при выполнении экспериментальных заданий 3 и 4, статистически значимы (таблица 4).

Развитие максимального напряжения мышц, сгибающих пальцы руки, сопровождалось непрерывным поступлением в моторную зону коры больших полушарий афферентных импульсов от активизировавшихся проприорецепторов. На основе их анализа в центральной нервной системе сформировались мышечные ощущения, соответствующие условиям решаемой двигательной задачи [8]. Они и стали исходным ориентиром для напряжения тех же мышц с усилием 50 % от их максимума. Это, вероятно, и обусловило выраженное преобладание числа студентов, развивших чрезмерное мышечное напряжение, особенно в процессе выполнения третьего экспериментального задания.

Согласно теории функциональных систем П.К. Анохина, оперативные поправки, внесенные центральной нервной системой в программу исходного движения (сжатие пружины кистевого динамометра с максимальным мышечным усилием), у данной категории исследуемых оказались недостаточными для успешного решения новой двигательной задачи (сжатие пружины кистевого динамометра с усилием 50 % от максимальной произвольной силы кисти в условиях отсутствия зрительного контроля за производимым движением) [9, 10].

Сочетанное поступление в головной мозг афферентных импульсов от мышечных проприорецепторов и фоторецепторов зрительной сенсорной системы повысило качество произведенных сенсорных коррекций. Это повысило эффективность регуляции мышечного напряжения в четвертом экспериментальном задании.

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты проведенного исследования показали высокую значимость проприоцептивной афферентации в управлении произвольными движениями спортсмена. Следовательно, в тренировочном процессе представителей всех видов спорта целесообразно уделять достаточное внимание формированию высокой проприоцептивной чувствительности.

Эффективными средствами решения этой задачи, по мнению О.В. Ильичевой и соавторов [11], являются:

1. Упражнения на сохранение баланса, в частности с использованием нестабильных платформ.
2. Упражнения, выполняемые без визуального контроля.
3. Упражнения с использованием фитболов.
4. Упражнения на расслабление-напряжение мышц.
5. Кинезиотейпирование.

При этом в процессе выполнения различных двигательных действий, особенно на начальных этапах их освоения, целесообразно обеспечивать дополнительное поступление в центральную нервную систему срочной визуальной информации, собранной фоторецепторами зрительной сенсорной системы.

## ■ ЛИТЕРАТУРА

1. Курьсь, В. Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения : учеб. пособие / В. Н. Курьсь. – М. : Советский спорт, 2013. – 368 с.
2. Данилова, Н. Н. Физиология высшей нервной деятельности : учеб. / Н. Н. Данилова, А. Л. Крылова. – 4-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2002. – 480 с.
3. Батуев, А. С. Высшая нервная деятельность : учеб. для вузов / А. С. Батуев. – М. : Высшая школа, 1991. – 256 с.
4. Лойко, Т. В. Физиологические основы развития физических качеств и формирования двигательного навыка : пособие / Т. В. Лойко. – Минск : БГУФК, 2018. – 42 с.
5. Платонов, В. Н. Двигательные качества и физическая подготовка спортсменов / В. Н. Платонов. – М. : Спорт, 2019. – 656 с.
6. Барчукова, Г. В. Влияние зрительного контроля на качество проявления пространственно-временных координационных способностей в различных видах спорта / Г. В. Барчукова, Е. Д. Мишутин // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. – 2019. – № 5. – С. 38.
7. Общая психология : курс лекций / Рос. акад. образования, Ростов. гос. пед. ун-т. ; сост. Е. И. Рогов. – М. : ВЛАДОС, 1995. – 447 с.
8. Психомоторная организация человека : учеб. для вузов / Е. П. Ильин. – СПб. : Питер, 2003. – 384 с.
9. Курьсь, В. Н. Биомеханика. Познание телесно-двигательного упражнения : учеб. пособие / В. Н. Курьсь. – М. : Советский спорт, 2013. – 368 с.
10. Лойко, Т. В. Физиологические основы развития физических качеств и формирования двигательного навыка : пособие / Т. В. Лойко. – Минск : БГУФК, 2018. – 42 с.
11. Ильичева, О. В. Методика развития проприоцептивной чувствительности спортсменов-конниц 13–15 лет на тренировочном этапе / О. В. Ильичева, Я. В. Сираковская, Е. В. Лукьянова // Вестник спортивной науки. – 2019. – № 1. – С. 38–43.

**02.04.2024**