

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПРОИЗВОЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЙ

Ю.Г. БУРЫКИН*, С.А. ТРЕТЬЯКОВ**

* *Сургутский государственный университет, Пр. Ленина, 1, г. Сургут, Тюменской обл., 628400, Россия, yriig@yandex.ru*

** *Тюменский индустриальный университет, филиал в г. Сургуте, Энтузиастов, 38, г. Сургут, Тюменской обл., 628404, Россия, trets@rambler.ru*

Аннотация. В статье представлена количественная оценка степени произвольности движений. Полученные результаты свидетельствуют о вариабельности выходных показателей двигательных функций в зависимости от афферентации. Наибольшее число пар совпадений выборок (k) наблюдается при произвольном управлении движением – 11,6% от общего их количества, а наименьшее – в состоянии покоя – 3,17%. При изменении афферентации в условиях статической нагрузки – 7,11%. Делается вывод о произвольности выбора цели, но не способа её достижения.

Ключевые слова: произвольное движение, непроизвольное движение, афферентные потоки.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF ARBITRARY MOTION

Y.G. BURYKIN*, S.A. TRETYAKOV**

* *Surgut state University, Lenin av., 1, Surgut, 628400, Russia*

** *Tyumen Industrial University, Branch in Surgut, Entuziastov str., 38, Surgut, Tyumen region, 628404, Russia*

Abstract. This article presents a quantitative assessment of the degree of arbitrary motion movements. The results indicate the variability of the output parameters of motor functions depending on the afferentation. The largest number of pairs of samples of coincidences (k) is observed at an arbitrary motion control 11,6% of the total number, and the smallest – at rest – 3,17%. Changing afferentation under static load is 7,11%. The authors conclude the arbitrary choice of goal, but no way to achieve it.

Key words: arbitrary motion, involuntary movement, afferent flows.

Введение. Согласно представлениям И.М. Сеченова: «Первоначальная причина всякого поступка лежит всегда во внешнем чувственном возбуждении, потому что без него никакая мысль невозможна» [13]. Таким образом, показана иллюзорность человеческого самосознания, ошибочно принимающего мысль за причину поступка. Предпосылки для возникновения такой иллюзии заложены в природе обработки информации человеком. Как пишет И. М. Сеченов: «В случае же, если внешнее влияние, т.е. чувственное возбуждение, остаётся, как это чрезвычайно часто бывает, незамеченным, то, конечно, мысль принимается даже за первоначальную причину поступка» [13].

Впервые различия информационных и энергетических взаимодействий с точки зрения психофизиологии были рассмотрены А.Н. Леонтьевым (1965) и не потеряли своей актуальности в настоящее время. Информационное и энергетическое взаимодействие организма со средой, аналогом которых являются чувствительность и раздражимость, отличаются друг от друга по степени использования энергии воздействующего стимула в процессах жизнедеятельности организма [8, 10]. За нижнюю границу информационного взаимодействия принимается пороговая чувствительность биологических систем к внешним стимулам эквивалентным плотности потока мощности 10^{-12} Вт/м² [12].

Неосознаваемые человеком сенсорные стимулы, например, по причине отсутствия внимания к ним или слабые неосознаваемые раздражители могут, тем не менее, оказывать влияние на его поведение. В пользу того, что большая часть информации о движении, в том числе выполняемом произвольно остаётся неосознанной свидетельствуют работы Н. А. Бернштейна. Это следует из его высказывания: «Если учесть, что движения в очень многих суставах и подвижных органах совершаются совместно, в одно и то же время, а для таких целостных действий, как смотрение, ходьба и бег, метание и т. п., обязаны протекать совместно в виде стройных и дружных синергий, то одна из трудностей уже сразу встает перед нами во весь рост. Какое огромное распределение внимания потребовалось бы, если бы все эти элементы сложного движения должны были управляться сознательно, с обращением внимания на каждый из них!» [1]. Таким образом, процесс управления произвольными движениями происходит неосознанно.

Координация движений по Н.А. Бернштейну «...есть не что иное, как преодоление избыточных степеней свободы наших органов движения, т.е. превращение их в управляемые системы» [1]. Далее

Н.А. Бернштейн даёт ответ на вопрос, каким образом организм человека справляется с этой сложной задачей, описывая вклад различных органов чувств в управление движениями. При этом ведущая роль отводится проприоцептивной системе: *«Каждый залп двигательных импульсов, прибывающих из мозга в мышцу, оказывается прямой причиной нового залпа импульсов, текущих уже в обратную сторону – от чувствительного аппарата в мозг. Там этот поток чувствительных сигналов преобразуется в соответствующие коррекции к движению, т. е., в свою очередь, является причиной возникновения новых двигательных импульсов, исправленных и дополненных, снова мчащихся из мозга в нужные мышцы. Перед нами, таким образом, замкнутый кольцевой процесс – то, что в нервной физиологии называется рефлекторным кольцом»* [1].

Аналогичный подход, который был применен Н.А. Бернштейном для выяснения роли сенсорной коррекции в регуляции движений человека, был использован для выяснения роли перцептивного действия в формировании сенсорного образа. К эффекторным компонентам перцептивных действий относятся окуломоторика при рассмотрении контура изображения, движение руки при тактильном изучении предмета, а также движения гортани при воспроизведении слышимых звуков [9]. Перцептивные действия уподобляются своей внешней формой воспринимаемому объекту и сопоставляются с особенностями этого объекта [10]. При создании копии объекта возникают сигналы рассогласования, выполняющие корректирующую функцию по отношению к перцептивному образу, следовательно и к практическим действиям [9].

Таким образом, изменение афферентации вызывает в свою очередь изменение эфферентных потоков и движений, в том числе выполняемых произвольно. Информация, поступающая на вход зрительного (восприятие цветов, форм, световых пульсаций) и слухового анализатора, а также от проприорецепторов и тактильных рецепторов может влиять на состояние двигательных функций, что требует дальнейшего экспериментального изучения [2, 11, 14].

Цель работы. Количественное изучение степени произвольности простых двигательных актов в сравнении с произвольными, а именно движение пальца правой руки в эксперименте, а также количественная оценки выходных параметров произвольных движений при изменении афферентных потоков.

Объекты и методы исследования. Исследование произвольных движений человека, выполняемых II пальцем правой руки с ограниченной амплитудой (4 мм), проводилось в сопоставлении с данными, полученными при регистрации произвольных колебательных микродвижений в состоянии покоя (удержания ферромагнитной пластины, прикрепленной к пальцу над датчиком), а также в сравнении с данными, полученными в условиях статической нагрузки на верхнюю конечность при регистрации произвольных микродвижений. При этом использовался груз массой 0,3 кг, подвешиваемый на запястье правой руки обследуемого. Это обеспечивало изменение афферентации по проприоцептивному каналу передачи информации к управляющим структурам нервной системы человека, а следовательно и изменение эфферентных потоков нервных импульсов, направленных к мышцам руки и тела, которые удерживали верхнюю конечность с грузом в относительно фиксированном положении.

В данной статье представлены результаты исследования, выполненные на одном человеке при регистрации кинематограмм в различных условиях. Аналогичные результаты были получены и на других участниках исследования. Перед регистрацией обследуемый принимал стандартное положение тела, характерное для всех серий экспериментов: сидя с вытянутой вперед верхней конечностью (произвольно фиксирована в плечевом суставе). На дистальной фаланге II пальца правой верхней конечности обследуемого закреплялась металлическая (ферромагнитная) пластинка. Регистрация кинематограмм производилась в течение 5 секундного интервала времени. В каждой серии было выполнено по 15 регистраций кинематограмм с перерывами на отдых в 1 мин через каждые 5 регистраций. В каждом из трёх различных состояний было выполнено 225 регистраций кинематограмм, т.е. 15 серий по 15 регистраций в каждой. В один день с целью профилактики утомления производилась регистрация 5 серий. Таким образом, в течение трёх дней выполнялась регистрация всех 15-ти серий. В течение последующих трёх дней регистрировались следующие 15 серий в состоянии покоя. Последние 15 серий регистрировались в условиях статической нагрузки. Таким образом, общее число регистраций составило 675.

Регистрация произвольных и произвольных движений человека производилась методом дистанционной регистрации кинематограмм с помощью датчика токовых типа и сопряженного с ним измерительного комплекса [4-5].

Обработка полученных данных производилась с использованием статистической программы «Statistica 6». Сравнение нескольких зависимых переменных для каждой серии из 15-ти регистраций кинематограмм производился с использованием рангового дисперсионного анализа, после чего выполнялась процедура парного сравнения с использованием непараметрического критерия Вилкоксона.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлен характерный пример кинематограммы при удержании верхней конечности в вытянутом положении.

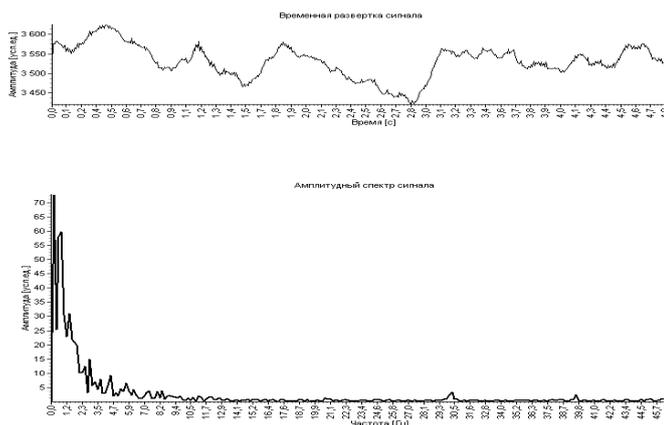


Рис.1. Кинематограмма правой верхней конечности человека (А) и ее амплитудный спектр (В) при произвольном движении

В результате парного сравнения 15-ти выборок между собой было получено 105 пар, результаты сравнения которых отражались в табл. 1. Пары, которые статистически различались, т.е. относились к разным совокупностям, отмечались в таблице нулевым значением. Пары, которые относились к одной совокупности отмечались соответствующим вычисленным значением p -уровня значимости. При этом статистически значимыми считались различия с уровнем значимости $p < 0,05$.

Таблица 1

Результаты парных сравнений кинематограмм по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$), число пар совпадений $k=29$ (29 из 105=27,6%)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,90	0,00
2		0,15	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3			0,00	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6						0,87	0,05	0,16	0,00	0,00	0,10	0,46	0,63	0,44
7							0,11	0,12	0,00	0,00	0,32	0,65	0,46	0,62
8								0,12	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,77
9									0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,43
10										0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11											0,00	0,00	0,00	0,00
12												0,00	0,00	0,00
13													0,14	0,25
14														0,08

Для каждой серии, состоящей из 15 выборок, полученных при регистрации 15 кинематограмм вычислялось абсолютное число совпадений (k) и относительное значение, которое находилось в процентном отношении числа совпадений к общему числу возможных пар сравнений, т.е. 105 неповторяющихся комбинаций. Полученные абсолютные значения k для каждого состояния сравнивались между собой с использованием критерия Крускала-Уоллиса и Ньюмена-Кейлса.

Расчёт числа совпадений – k в 15-ти сериях регистрации кинематограмм, где осуществлялось волевое управление движением II пальца с ограничением по амплитуде в диапазоне до 4 мм и по времени в диапазоне 5 секунд, показал, что ни в одной серии число k не повторяется и варьирует в диапазоне от 6 до 29 пар совпадений. При этом коэффициент вариации составил 51,79%. Полученные данные в виде абсолютных и относительных значений (процент совпадений выборок от общего числа возможных комбинаций парных сравнений с доверительной вероятностью не ниже 95%) представлены в табл. 2 и на рис. 2. Общее число пар совпадений в 15-ти сериях составило в сумме 184 из 1575 возможных, т.е. 11,6%.

Относительные значения пар совпадений (k) выборок при регистрации кинематограмм в трёх различных состояниях при сравнении 15-ти кинематограмм (105 пар сравнения) по критерию Уилкоксона ($p < 0,05$)

№ выборки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
День	1-й	1-й	1-й	1-й	1-й	2-й	2-й	2-й	2-й	2-й	3-й	3-й	3-й	3-й	3-й
k_1	27,6	5,71	9,52	13,33	5,71	13,33	17,14	9,52	6,66	9,52	18,09	7,62	8,57	16,19	6,67
k_2	3,81	0,95	1,90	3,81	2,86	5,71	0,95	3,81	4,76	3,81	2,86	0,95	4,76	1,90	4,76
k_3	3,81	2,86	8,57	13,3	7,62	4,76	5,71	8,57	4,76	7,62	11,42	4,76	14,29	4,76	3,81

Для сравнения с состоянием покоя, в котором вытянутая вперёд рука осуществляла произвольные колебательные движения с низкой амплитудой (микродвижения), был выполнен расчёт числа пар совпадений для данного состояния (15 серий регистрации кинематограмм). Полученные результаты представлены в табл. 2 и на рис. 2. Также было рассчитано общее число пар совпадений в 15-ти сериях, которое было в 3,68 раза меньше, чем в случаях произвольного управления движениями пальца и составило 50 из 1575 возможных, т.е. 3,17%.

Анализ результатов, приведённых на рис. 2 показывает, что число k_2 также варьирует, но в меньшем диапазоне, чем k_1 , а именно от 1 до 6. Таким образом, между произвольными и произвольными движениями существуют количественные различия, выражающиеся в увеличении числа пар совпадений выборок, а также в диапазоне колебания k . Общим признаком для двух этих режимов управления движениями (произвольное и произвольное) является вариабельность k . Следовало бы предположить, что при произвольном контроле движений, возможно сформировать устойчивый периодический режим колебаний, который бы в идеале описывался функцией косинуса или синуса. Однако, в реальном эксперименте мы этого не наблюдаем, поскольку в каждой серии экспериментов получаем совершенно разные результаты по числу пар возможных совпадений выборок.

Увеличение k по сравнению с произвольным колебательным процессом не управляемым силой воли, свидетельствует о попытке упорядочить колебательный процесс в случае произвольного управления ритмом движений (амплитудой и частотой). В результате этого выборки при парном сравнении совпадают в большем числе случаев, т.к. сигнал структурируется за счёт управляющих структур нервной системы. Однако, говорить о полном произвольном контроле даже сравнительно простых движений (колебательное движение пальцем в одном направлении, т.е. приближение и удаление от датчика) мы не можем, т.к. число k в этом случае бы было одинаковым во всех сериях регистрации кинематограмм. При увеличении количества степеней свободы функции произвольного контроля движений будут ещё менее выражены.

Максимально возможное число совпадений выборок при полной их идентичности для серии из 15-ти регистраций кинематограмм составляет 105. Из этого следует, что на произвольное движение накладывает свой отпечаток некая произвольная составляющая, управлять которой человек не может в полной мере. Это может происходить в результате изменения афферентного сигнала, поступающего через зрительный, слуховой, проприоцептивный каналы информации. Так, в исследованиях *Cropper S.J., Wuergler S.M* [14] приводятся экспериментальные данные о влиянии цветовосприятия на кинематические характеристики движений человека. Положение тела, изменение взаимного расположения частей тела (отличающегося даже незначительно при каждой регистрации кинематограмм) может изменять афферентацию от проприорецепторов, а следовательно и выходной сигнал, регистрируемый в виде кинематограмм.

Таким образом, процентное соотношение реального числа совпадений k в каждой серии с предельно возможным является показателем идентичности сравниваемых выборок. Увеличение числа k будет свидетельствовать об уменьшении вариативности, увеличении степени контроля над движением, либо о внешнем воздействии, например, статической нагрузки. Предполагается, что такой фактор, как утомление также будет влиять на число пар совпадений выборок k .

Изменение афферентных потоков может быть не замечено человеком, в особенности, когда это касается воздействия слабых стимулов, например, световой природы [2]. В результате у человека формируется иллюзорное представление о свободе выбора, о полном контроле над своими действиями, а в случае получения объективных данных, например, в виде числа пар совпадений выборок, которые разнятся по абсолютным значениям в каждой серии, может возникнуть иллюзия другого рода – о хаотической работе структур нервной системы, управляющих движениями и о хаотичности самих движений [4]. Между тем, речь идёт о детерминированных процессах, о наличии причинно-следственной связи между афферента-

цией и эфферентацией, что полностью согласуется с приведённым выше высказыванием И. М. Сеченова об иллюзорности человеческого самосознания.

Для состояния покоя можно говорить о меньшем числе пар совпадений выборок, что свидетельствует о более выраженных различиях кинематограмм, т.е. о большей вариации значений амплитуды сигнала в исходных выборках. Иными словами сигнал практически не структурирован [3-7].

На третьем этапе исследований нами была экспериментально проверена гипотеза о том, что при изменении афферентации изменяются и эфферентные потоки нервных импульсов, направленные к мышцам, участвующим в удержании груза массой 0,3 кг (прикреплялся к вытянутой вперёд верхней конечности).

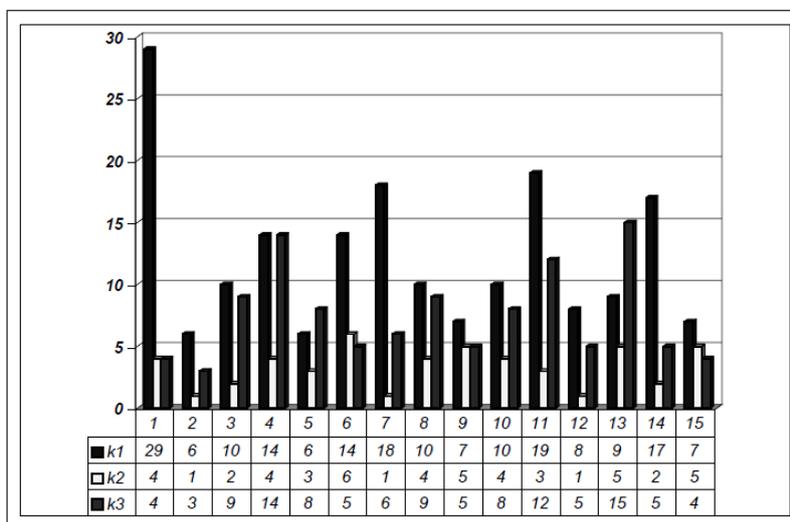


Рис. 2. Графическое представление трёх состояний по числу совпадений выборок (k) при парном сравнении, где k_1 – абсолютное значение числа совпадения пар выборок при произвольном управлении движением II пальца правой руки; k_2 – то же в состоянии покоя; k_3 – то же в условиях статической нагрузки (0,3 кг)

Таблица 3

Сравнение абсолютного числа пар совпадения выборок k для состояния произвольного выполнения движений (теппинга), состояния покоя и в условиях статической нагрузки по критерию Ньюмена-Кейлса

Показатель	$k_1 (n=15)$	$k_2 (n=15)$	$k_3 (n=15)$
Среднее ($M \pm m_x$)	12,27±1,64	3,33±0,42	7,47±0,97
Стандартное отклонение	6,35	1,63	3,74
Медиана (Персентиль 0,05; 0,95)	10 (6; 22)	4 (1; 5,3)	6 (3,7; 14,3)
$k_{1,2}$	$p < 0,05$		
$k_{1,3}$	$p < 0,05$		
$k_{3,2}$	$p < 0,05$		

Результаты, представленные в табл. 2 и на рис. 2 подтверждают гипотезу об увеличении числа пар совпадений выборок по сравнению с состоянием покоя вытянутой вперед верхней конечности в условиях статической нагрузки. Общее число пар совпадений выборок k увеличилось в 2,24 раза по сравнению с состоянием покоя и в абсолютном выражении составило 112 из 1575 возможных, т.е. 7,11%.

Таким образом, изменение афферентации от проприорецепторов вызывает изменение потока управляющих эфферентных импульсов к мышцам, участвующим в удержании конечности в заданном положении.

В результате сравнения числа k для трёх состояний были получены достоверные различия по критерию Крускала-Уоллеса ($H=26,26, p < 0,001$). Парные сравнения выполнены с использованием критерия Ньюмена-Кейлса (табл. 3). Как следует из сравнительного анализа, представленного в табл. 3, все три состояния количественно различаются между собой по числу пар совпадений выборок k , что имеет прикладное значение для сравнения кинематограмм, зарегистрированных в различных состояниях.

Заключение. При регистрации произвольных и непроизвольных движений человека необходимо учитывать влияние внешней афферентации на состояние двигательных функций организма. Однократный съём информации отражает лишь текущее состояние двигательного анализатора. В условиях воздействия внешних и внутренних стимулов происходит постоянное изменение в структуре движений. Произвольное управление заключается в выборе цели, постановке задачи, например, направленной на удержание конечности в заданном положении, но не в способности полностью влиять на параметры самих движений. Такое волевое управление имеет ограничение, поскольку движение выполняемые произвольно модулируются за счёт постоянного изменения афферентации.

В лабораторных условиях возможно создание лишь частично стандартизированных условий проведения эксперимента, заключающееся в регуляции освещения и акустических параметров среды. Следует отметить, что по нашим предыдущим исследованиям [2] зрительный анализатор очень чувствительный к незначительным изменениям параметров световой среды, которые могут не осознаваться человеком. Кроме того, положение тела также будет оказывать влияние на параметры движений, что требует дальнейшего изучения.

Также нами была обозначена проблема количественной оценки вариабельности движений, носящих произвольный и непроизвольный характер. Дальнейшие исследования в этой области позволят количественно установить взаимосвязи вариабельности движений с параметрами внешних стимулов (световых, акустических), а также выяснить роль внутренних факторов, что может иметь прикладное значение в диагностике различных патологий.

Литература

1. Бернштейн Н.А. О ловкости и ее развитии. М.: Физкультура и спорт, 1991. 288 с.
2. Бурькин Ю.Г., Буров И.В., Наумов К.В., Тиде Н.В. Изучение взаимодействия зрительного и двигательного анализаторов человека при восприятии слабых световых стимулов // Синергетика природных, технических и социально-экономических систем: Сборник статей 8 Международной науч. конф. 2010. С. 77–82.
3. Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 3. С. 106–110
4. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Бурькин Ю.Г., Пашнин А.С. Хаотическая динамика произвольных и непроизвольных движений: монография. Сургутский государственный университет. ХМАО-Югры: ООО «Библиографика», 2014. 149 с.
5. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатова О.Е. Использование статистических методов и методов многомерных фазовых пространств при оценке хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы человека в условиях акустических воздействий // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 6–10.
6. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4 (20). С. 66–73.
7. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Стрельцова Т.В. Стресс-реакция на холод: энтропийная и хаотическая оценка // Национальный психологический журнал. 2016. № 1(21). С. 45–52.
8. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Троицкий М.С. Методы регистрации различных видов движения, как основа разработки механотренажеров // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 6-4. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4957.pdf> (дата обращения 24.10.2014).
9. Запорожец А.В., Венгер Л.А., Зинченко В.П., Рузская А.Г. Восприятие и действие. М.: Изд-во Просвещение, 1967. 323 с.
10. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. М.: Мысль, 1965. 480 с.
11. Миролубов А.В. Использование искусственных функциональных связей мозга для регуляции психофизиологического состояния человека: автореф. ... дис. д. м. н. СПб., 1996. 40 с.
12. Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 188 с.
13. Сеченов И.М. Элементы мысли. СПб.: Питер, 2001. 416 с.
14. Cropper S. J., Wuerger S. M. The Perception of Motion in Chromatic Stimuli // Behavioral and Cognitive Neuroscience reviews. 2005. № 3. Vol. 4. P. 192–217.

References

1. Bernshteyn NA. O lovkosti i ee razvitiy [About dexterity and its development]. Moscow: Fizkul'tura i sport; 1991. Russian.
2. Burykin YG, Burov IV, Naumov KV, Tide NV. Izuchenie vzaimodeystviya zritel'nogo i dvigatel'nogo analizatorov cheloveka pri vospriyatii slabykh svetovykh stimulov. Sinergetika prirodnykh, tekhnicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [The study of the interaction of the human visual and motor analyzers in the perception of weak light stimuli]: Sbornik statey 8 Mezhdunarodnoy nauch. konf. 2010:77-82. Russian.
3. Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DY. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattraktornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii [system synthesis method based on the calculation of distances mezhattraktornykh in the hypothesis of uniform and non-uniform distribution in the study of the effectiveness of kinesitherapy]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(3):106-10 Russian.
4. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Burykin YG, Pashnin AS. Khaoticheskaya dinamika proizvol'nykh i ne-proizvol'nykh dvizheniy: monografiya [Chaotic dynamics of voluntary and involuntary movements: a monograph.]. Surgutskiy gosudarstvennyy universitet. KhMAO-Yugry: OOO «Bibliografika»; 2014. Russian.
5. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatova OE. Ispol'zovanie statisticheskikh me-todov i me-todov mnogomernykh fazovykh prostranstv pri otsenke khaoticheskoy dinamiki parametrov nervno-myshechnoy sistemy cheloveka v usloviyakh akusticheskikh vozdeystviy [The use of statistical techniques and methods of multidimensional phase spaces in assessing the chaotic dynamics of human neuromuscular system parameters in terms of acoustic effects]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):6-10. Russian.
6. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Poskina TY. Effekt NA. Bernshteyna v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh [Bernstein in the evaluation of tremor parameters for different acoustic effects]. Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal. 2015;4(20):66-73. Russian.
7. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Strel'tsova TV. Stress-reaktsiya na kholod: entropiynaya i khaoticheskaya otsenka [Stress reaction to cold: entropy and chaotic rating]. Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal. 2016;1(21):45-52. Russian.
8. Es'kov VM, Khadartsev AA, Troitskiy MS. Metody registratsii razlichnykh vidov dvizheniya, kak osnova razrabotki mekhanotrenazherov [Methods of registration of various types of movement, as a basis for the development of mechanical simulators]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie. 2014 [cited 2014 Oct 24];1 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4957.pdf>.
9. Zaporozhets AV, Venger LA, Zinchenko VP, Ruzskaya AG. Vospriyatie i deystvie [Perception and Action]. Moscow: Izd-vo Prosveshchenie; 1967. Russian.
10. Leont'ev AN. Problemy razvitiya psikhiki [mental development problems]. Moscow: Mysl'; 1965. Russian.
11. Mirol'yubov AV. Ispol'zovanie iskusstvennykh funktsional'nykh svyazey mozga dlya regulyatsii psikhofiziologicheskogo sostoyaniya cheloveka [The use of artificial functional brain connections for the regulation of psychophysiological state] [dissertation]. Sankt-Peterburg (Sankt-Peterburg region); 1996. Russian.
12. Plekhanov GF. Osnovnye zakonomernosti nizkochastotnoy elektromagnitobiologii [Basic laws of the low-frequency elektromagnitobiologii]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta; 1990. Russian.
13. Sechenov IM. Elementy mysli [elements of thought]. Sankt-Peterburg: Piter; 2001. Russian.
14. Cropper SJ, Wuerger SM. The Perception of Motion in Chromatic Stimuli. Behavioral and Cognitive Neuroscience reviews. 2005;3(4):192-217.

Библиографическая ссылка:

Бурыкин Ю.Г., Третьяков С.А. Оценка степени произвольности движений // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №3. Публикация 1-8. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-8.pdf> (дата обращения: 20.09.2016). DOI: 12737/21670.