

Научная статья
УДК 159.9
DOI: 10.14529/jpps250307

Особенности произвольной регуляции усилий и движений у студентов в динамике нагрузочного тестирования и восстановления

М.В. Громько^{1✉}, А.С. Беленков¹, О.Б. Никольская², Е.Ю. Прокопчик¹, А.С. Ушаков¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, Россия

✉ gromykomv@susu.ru

Аннотация

Обоснование: актуализируется проблема разработки технологий, направленных на сокращение времени эффективного восстановления организма в видах экстремальной деятельности. В основе указанных технологий находятся процессы, отражающие особенности взаимосвязи параметров системы нейромышечного обеспечения деятельности и высших психических функций (произвольного внимания, сенсомоторного контроля) в условиях острого физического утомления и последующего восстановления. **Цель:** выявить особенности функциональных взаимосвязей между показателями произвольного контроля движений и усилий у лиц с различным уровнем физической подготовленности в условиях утомления, вызванного изометрической интервальной физической нагрузкой. **Материалы и методы.** В лабораторных условиях обследованы две группы студентов – «спортсмены» ($n = 14$) и не занимающиеся спортом ($n = 11$), средний возраст – $19,3 \pm 0,8$ года. С целью индукции утомления в формате функциональной пробы применялась изометрическая интервальная физическая нагрузка. Произвольный контроль движений и мышечных усилий оценивали, применяя комплекс показателей, отражающих различные уровни указанного контроля: сенсомоторное реагирование (тест «Реакция на движущийся объект»), регуляция усилий (тест «Мышечная выносливость»); регуляция движений (тест «Динамическая треморометрия по профилю») и постуральный контроль (проба с открытыми глазами с применением инерционного сенсора «Нейросенс»). Диагностику указанных систем проводили троекратно: до функциональной пробы, непосредственно после нее и спустя 10 минут после окончания пробы. Графическому анализу и интерпретации корреляционных плед (г-Спирмена) подвергали взаимосвязи, значимость которых соответствовала уровню $p \leq 0,05$. **Результаты.** В группе спортсменов сформированная система произвольной регуляции движений и усилий после нагрузки характеризуется тенденцией к сохранению точности сенсомоторных реакций, в т. ч. за счет постурального дисбаланса, у неспортсменов – снижением точности сенсомоторного реагирования. После 10-минутного отдыха в группе «спортсменов» продолжается восстановление системы произвольного регулирования функций – выявлена связь частоты ошибок с опережающими сенсомоторными реакциями. При этом число точных реакций детерминировано числом запаздываний – нейродинамическим процессом торможения. В группе «неспортсменов» сохраняется роль импульсивности в снижении качества координации движений. Появление положительных связей между временем удержания усилия (динамометрия) и качеством движения в треморометрии свидетельствует о запуске компенсаторного процесса стабилизации точности движений. **Заключение.** При исследовании механизмов произвольной регуляции функций организма применение нагрузочного тестирования и анализ изменений процессов регуляции, выявляют причинно-следственные связи детерминации, структуры и некоторых механизмов произвольной регуляции функций организма.

Ключевые слова: регуляция усилий, регуляция движений, уравновешенность нервных процессов, точность движений, треморометрия, функциональная проба, изометрическая физическая нагрузка, восстановление, корреляционный анализ, студенты

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Особенности произвольной регуляции усилий и движений у студентов в динамике нагрузочного тестирования и восстановления / М.В. Громыко, А.С. Беленков, О.Б. Никольская и др. // Психология. Психофизиология. 2025. Т. 18, № 3. С. 67–78. DOI: 10.14529/jpps250307

Original article
DOI: 10.14529/jpps250307

Voluntary motor and effort control in students under conditions of induced fatigue and recovery

M.V. Gromyko¹✉, A.S. Belenkov¹, O.B. Nikolskaya², E.Y. Prokopchik¹, A.S. Ushakov¹

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² South Ural State Humanitarian and Pedagogical University, Chelyabinsk, Russia

✉ gromykomv@susu.ru

Abstract

Introduction. The development of technologies to reduce recovery time following extreme physical activities is an area of growing interest. Such technologies must be grounded in a strong understanding of the interplay between neuromuscular parameters and higher mental functions (such as voluntary attention and sensorimotor control) under conditions of acute fatigue and subsequent recovery. **Aims:** this study aimed to identify the characteristics of the functional relationships between voluntary motor and effort control in individuals with differing levels of physical fitness following fatigue induced by an isometric intermittent exercise. **Materials and methods.** Two groups of students (mean age 19.3 ± 0.8 years) were examined under laboratory conditions: athletes ($n = 14$) and non-athletes ($n = 11$). Fatigue was induced via an isometric intermittent exercise. Voluntary control was assessed using a battery of tests measuring sensorimotor response (reaction to a moving object), effort control (muscular endurance), motor control (tremor analysis), and postural control (eyes-open conditions, Neurosens inertial measurement unit). Diagnostics were performed at three time points: pre-test, immediately post-test, and 10 minutes post-test. Data were analyzed using graphical interpretation and the construction of correlation pleiades (Spearman's r , $p < 0.05$). **Results.** In the athlete group, voluntary motor and effort control post-exercise demonstrated a tendency to maintain sensorimotor accuracy, including via postural imbalance. Non-athletes exhibited a decrease in sensorimotor accuracy. After a 10-minute rest, athletes showed continued recovery of function control, error rates became associated with advanced sensorimotor reactions, and the number of precise reactions was linked to inhibitory activity. Among non-athletes, impulsivity continued to negatively impact movement coordination. Positive correlations between strength retention time (dynamometry) and motor quality (tremor analysis) indicated the activation of compensatory mechanisms to stabilize movement accuracy. **Conclusion.** The application of exercise testing combined with an analysis of changes in regulatory processes is an effective methodology for exploring the causal relationships, structure, and mechanisms underlying voluntary control.

Keywords: effort control, motor control, nervous balance, motor accuracy, tremor analysis, functional test, isometric exercise, recovery, correlation analysis, students

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Gromyko M.V., Belenkov A.S., Nikolskaya O.B., Prokopchik E.Y., Ushakov A.S. Voluntary motor and effort control in students under conditions of induced fatigue and recovery. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2025;18(3):67–78. (in Russ.) DOI: 10.14529/jpps250307

Введение

Исследования психофизиологических механизмов координированного движения, составляющих основу нагрузочного тестирования, находятся в контексте (рамках) фундаментальных и прикладных аспектов физиологии движения и частных нейронаук. Фундаментальный аспект отражает исследование интеграционных процессов в формирующихся системах регуляции мышечных усилий и координации движений. Значимыми является оценка функциональных связей между центральной (когнитивный контроль относительно целевой установки), периферической (эфферентация мотонейрона) и вегетативной нервной системой (активация при физической нагрузке, восстановление). Постнагрузочное нарушение произвольного контроля может быть маркером дисбаланса функционирования вегетативной нервной системы.

Прикладной аспект исследований механизмов движения достаточно широкий, однако их результаты остро востребованы в физиологии труда и спорта. Профессиональная деятельность многих специалистов (хирурги, пилоты, операторы сложных технических систем, спортсмены) предъявляет высокие требования к синхронному проявлению высоких уровней физических кондиций и исключительной точности сенсомоторных действий, концентрации внимания и эмоциональной устойчивости в условиях утомления. Исследование специфики причинно-следственных функциональных связей в организации «тонкого» моторного контроля на фоне развития утомления актуально для разработки режимов труда и отдыха, тренажерных комплексов и критериев профессионального отбора.

Оценка функционального состояния в контексте разработки простых и информативных тестов – одна из поисковых задач практической физиологии. Комбинация нагрузочной пробы с последующим тестированием психомоторной сферы – подход, реализация которого может выявить латентные признаки утомления или недостаточного восстановления, которые не проявляются в состоянии покоя. Данный прикладной аспект имеет профилактический потенциал, выраженный в предотвращении ошибочных (критических) действий и травм.

Обзор литературы

Сформулированный еще в 1964 году Е.И. Бойко принцип «второсигнального

управления афферентациями» – «... избирательно, локально и направленного изменения – повышающих и понижающих возбудимость на разных этапах и отделах проводящих путей (афферентных и эфферентных) при осуществлении любых произвольных актов» [1], лежит в основе интеграции механизма биологической обратной связи в когнитивный контроль – управление функциями (усилий и движения).

«Усиление ощущений» (по А.В. Запорожцу) как фактор формирования произвольных движений отражает зависимость силы ощущения (восприятия) от степени повышения возбудимости в проекциях раздражителя: вследствие центрального повышения и понижения возбудимости изменяется количество нейронов, возбуждающихся со стороны прямого сенсорного входа, и также частота их импульсации. В результате исследования, проведенного на выборке 35597 человек, установлено, что субъективное восприятие нагрузки ограничивает толерантность к физической нагрузке, которая (конечно) зависит от силы и мощности мышц, «выполняющих работу». Авторы предлагают прогнозировать воспринимаемое мышечное усилие в случаях, когда завершение теста с возрастающей нагрузкой невозможно [2].

Функциональное двигательное тестирование организма предусматривает инструкцию к выполнению алгоритма (программы) действий, например, сложнокоординационных движений, формирующего «установочные реакции» – постоянные и неотъемлемые компоненты произвольных двигательных актов. В этой связи качество произвольной регуляции функций определяется мотивационной [3], волевой¹ [4] составляющей управления функциональным состоянием и в целом когнитивным контролем [5].

Произвольная регуляция движений и усилий характеризуется (со)подчинением множеств систем (подсистем) и «осуществляется при помощи специальных механизмов, в частности тех, которые основываются на речевых кинестезиях и с психологической стороны вы-

¹ Long J. Construction of An Assessment Model of Elite Athletes' volitional Quality Structure and Related Analysis. In Proceedings of the 2024 International Conference on Sports Technology and Performance Analysis (ICSTPA '24). Association for Computing Machinery. New York, NY, USA. 2025. P. 66–72. DOI: 10.1145/3723936.3723947

ражаются в направленном усилении определенных ощущений, а с физиологической – в избирательном направленном усилении и ослаблении определенных афферентаций и определенных центральных возбуждений» [6]. При этом известно, что процессы высшего уровня подчиняют себе течение всех других процессов, вызываемых действием в т. ч. нецелевых сторон (аспектов) двигательной задачи; а качество этих сторон отражается человеком на сознательном и бессознательном уровне, формируя у него стереотипность двигательного акта и/или целостного движения. Это является основой различий психофизиологического статуса регуляции движения (усилия) между спортсменами – лицами со сформированным множеством стереотипов и относительно совершенным управлением движениями, и лицами, не занимающимися спортом [7, 8].

Актуальным является вопрос о локализации и свойствах нейрональной адаптации в ответ на многолетнюю интенсивную мышечную работу на разных уровнях ЦНС. В исследовании Р.Н. Фомина и М.В. Селяева (2011) показано, что у спортсменов, по сравнению с контролем, в процессе возрастания силы и длительности изометрических мышечных сокращений установлено более выраженное увеличение максимальной амплитуды вызванных моторных ответов скелетных мышц нижних конечностей, меньшее снижение времени центрального моторного проведения нервных импульсов и периферического периода молчания электромиограмм, менее выраженное увеличение коркового и сегментарного периодов молчания [7]. В диссертационном исследовании Л.В. Смирновой (2011) показано, что выраженность аутогенного торможения спинальных α -мотонейронов понижается при увеличении силы изометрического сокращения мышц и возрастает при длительном удержании значительного по величине статического усилия, сопровождающегося развитием утомления. Также установлена зависимость процесса аутогенного торможения α -мотонейронов спинного мозга от нисходящей эфферентной импульсации головного мозга и мощности афферентного потока от сухожильных рецепторов². Позже представлены результаты функциональной активности

² Смирнова Л.В. Влияние изометрического сокращения скелетных мышц на аутогенное торможение спинальных α -мотонейронов у человека: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тверь. 2011. 18 с.

реципрокного торможения α -мотонейронов мышц-антагонистов голени при разных типах мышечного сокращения субмаксимальной и максимальной силы [9].

Безусловно важным фактором функционального динамометрического тестирования является автономная регуляция функций жизнеобеспечивающих систем. Так, например, в работе А.С. Боровика с соавт. (2024) проведено сравнение изменений показателей системной гемодинамики при активации эргорефлекса, по мере развития выраженного утомления в тесте с ритмическими сокращениями мышц бедра и предплечья в статическом режиме. Авторами показано, что утомление различных мышечных групп сопровождается активацией разных компонентов эргорефлекса – сосудистого при работе мышц ноги и сердечного при работе мышц руки [10]. Учет данного аспекта принципиален с позиций обеспечения безопасности организации и безопасности нагрузочного тестирования [11].

Остается открытым вопрос о влиянии функциональной динамометрической пробы на качество произвольного регуляторного контроля движений и усилий, оцениваемое с помощью психофизиологического инструментария и корреляционного анализа параметров сенсомоторной интеграции.

Цель: выявить особенности функциональных взаимосвязей между показателями произвольного контроля движений и усилий у лиц с различным уровнем физической подготовленности в условиях утомления, вызванного изометрической интервальной физической нагрузкой.

Материалы и методы

На основании добровольного информированного согласия обследовано 25 студентов и сформированы группы с различным уровнем физической подготовленности: первая – лица, представители единоборств (борьба, дзюдо, рукопашный бой, бокс), имеющие спортивную квалификацию (1-й разряд и КМС) – «спортсмены» ($n = 14$); вторая – не занимающиеся спортом, чья систематическая двигательная активность реализована в объеме учебных занятий физической культурой в вузе ($n = 11$). Средний возраст обследованных составил $19,3 \pm 0,8$ года. Обследование проводилось в условиях лаборатории научно-исследовательского центра спортивной науки ЮУрГУ.

С целью индукции утомления применялась функциональная проба, в основе которой – изометрическая интервальная физическая нагрузка в виде последовательных серий сжимания и расслабления ведущей рукой кистевого динамометра [12].

Произвольный контроль движений и мышечных усилий оценивали, применяя комплекс показателей, отражающих различные уровни указанного контроля: сенсомоторное реагирование (тест «Реакция на движущийся объект»), регуляция усилий (тест «Мышечная выносливость»); регуляция движений (тест «Динамическая треморометрия по профилю») и постуральный контроль (проба с открытыми глазами с применением инерционного сенсора «Нейросенс»). Указанные тесты реализованы в лицензионных аппаратно-программных комплексах «НС-ПсихоТест» и «Стэдис-Баланс» (ООО «Нейрософт», <https://neurosoft.com/ru>). Исследуемые показатели представлены на рис. 1 и 2.

Диагностику указанных систем проводили троекратно: до функциональной пробы, непосредственно после нее и спустя 10 минут после окончания пробы.

Математико-статистический и графический анализ полученных данных проводился с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2016, IBM SPSS Statistica v. 25. Определение нормальности распределения выборки значений изучаемых показателей осуществлялось с помощью теста Шапиро – Уилка. С целью качественно-количественной оценки взаимосвязей исследуемых параметров применяли корреляционный анализ (r-Спирмена). Графическому анализу и интерпретации корреляционных плеяд подвергали взаимосвязи, значимость которых соответствовала уровню $p \leq 0,05$ [13].

Результаты и их обсуждение

Спортсмены до функциональной пробы. Число точных реакций в тесте «РДО» отрицательно коррелирует с временем, затраченным на выполнение теста «Динамическая треморометрия» ($r = -0,655$ при $p = 0,011$) и количеством ошибок в этом же тесте ($r = -0,644$ при $p = 0,013$).

Спортсмены после функциональной пробы. Общая длительность ошибочных реакций в тесте «Динамическая треморометрия» прямо взаимосвязана с площадью статокинезиограммы ($r = 0,699$ при $p = 0,008$) и обратно –

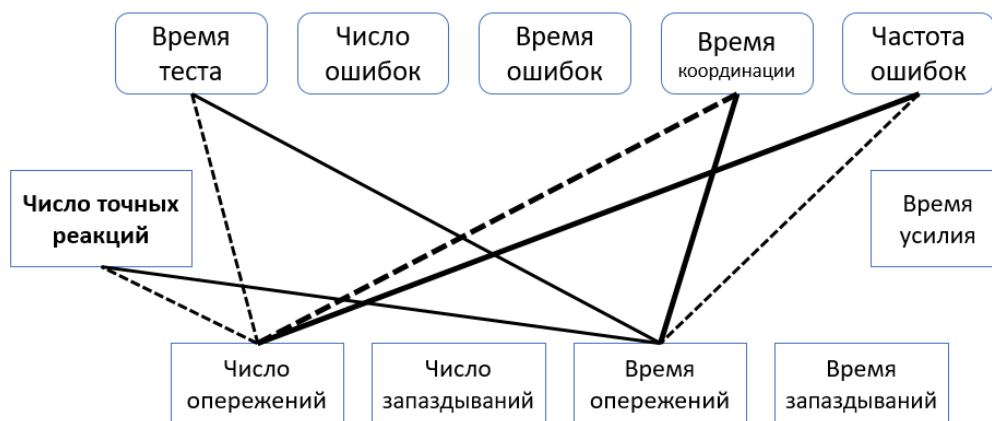
со временем регуляции усилий в тесте «Динамометрия» ($r = -0,568$ при $p = 0,043$). Число точных реакций в тесте «РДО» имеет обратные взаимосвязи с числом опережений ($r = -0,635$ при $p = 0,02$), числом запаздываний ($r = -0,816$ при $p = 0,001$) и суммой времени запаздываний ($r = -0,898$ при $p < 0,001$).

Спортсмены после 10 минут отдыха после выполнения функциональной пробы. Частота касаний в тесте «Динамическая треморометрия» имеет положительную взаимосвязь с числом опережений ($r = 0,637$ при $p = 0,019$) и отрицательную – с суммой времени опережений ($r = -0,559$ при $p = 0,047$) в тесте «РДО». При этом число точных реакций в этом же тесте коррелирует с числом запаздываний ($r = -0,620$ при $p = 0,024$).

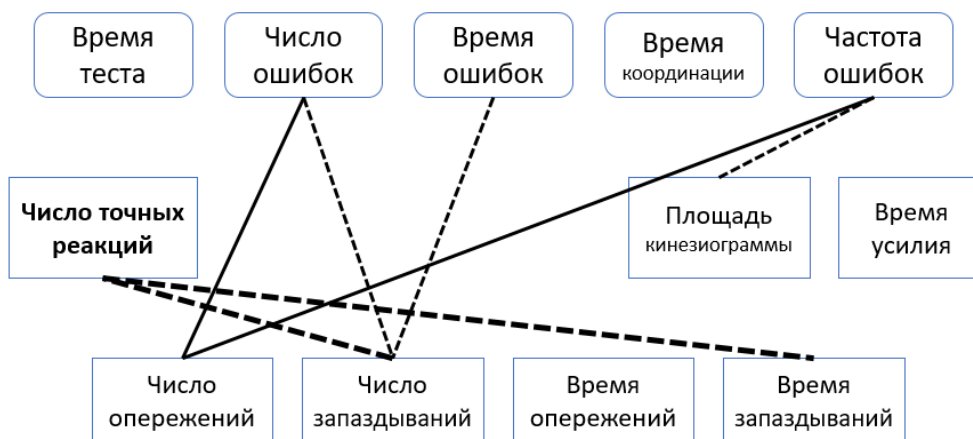
Неспортсмены до функциональной пробы. Число опережений в тесте «РДО» взаимосвязано с продолжительностью теста «Динамическая треморометрия» ($r = -0,721$ при $p = 0,012$), а также со временем координации движений ($r = -0,753$ при $p = 0,007$) и частотой ошибочных двигательных реакций ($r = 0,735$ при $p = 0,01$) того же теста (рис. 2). Примечательно, что не только количество опережающих реакций, но и сумма времени этих реакций коррелирует с указанными выше показателями теста «Динамическая треморометрия»: $r = 0,727$ при $p = 0,011$; $r = 0,755$ при $p = 0,007$ и $r = -0,727$ при $p = 0,011$ соответственно. Точность двигательных реакций в тесте «РДО» имеет отрицательную взаимосвязь с числом опережений ($r = -0,624$ при $p = 0,04$) и положительную – с суммой времени опережений ($r = -0,681$ при $p = 0,021$).

Неспортсмены после функциональной пробы. Число опережений в тесте «РДО» имеет положительную корреляцию с количеством ошибок ($r = 0,648$ при $p = 0,031$) и их частотой ($r = -0,606$ при $p = 0,048$) в тесте «Динамическая треморометрия»; а число запаздываний отрицательно коррелировало с количеством ошибок ($r = -0,633$ при $p = 0,036$) и длительностью ошибочных реакций в течении теста ($r = -0,625$ при $p = 0,04$). Число точных реакций было взаимосвязано числом запаздываний ($r = -0,793$ при $p = 0,004$) и суммой времени запаздываний ($r = -0,759$ при $p = 0,007$) этого же теста. Кроме того, выявлена отрицательная взаимосвязь между площадью статокинезиограммы и частотой ошибок в тесте «Динамическая треморометрия» ($r = -0,613$ при $p = 0,045$).

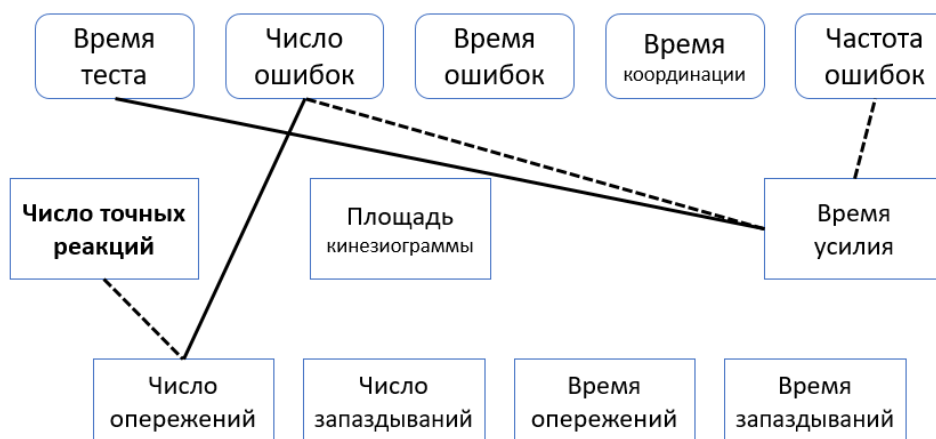
До функциональной пробы / Pre-test



После функциональной пробы / Post-test



Спустя 10 минут отдыха после функциональной пробы / 10 minutes post-test



- положительная взаимосвязь при $p \leq 0,01$
 - отрицательная взаимосвязь при $p \leq 0,01$
 - положительная взаимосвязь при $p \leq 0,05$
 - отрицательная взаимосвязь при $p \leq 0,05$

Рис. 2. Функциональные связи показателей произвольной регуляции усилий и движений у неспортсменов в динамике нагрузочного тестирования и восстановления
 Fig. 2. Dynamics of voluntary motor and effort control correlations in non-athletes under exercise testing and recovery

Неспортсмены после 10 минут отдыха после выполнения функциональной пробы. Установлена положительная взаимосвязь количества ошибок в тесте «Динамическая треморометрия» с числом опережений в тесте «РДО» ($r = 0,648$ при $p = 0,043$), при этом последнее отрицательно коррелирует с числом точных реакций в этом же тесте ($r = -0,663$ при $p = 0,037$). На данном этапе наблюдения установлен ряд корреляций продолжительности удержания усилия в заданных пределах (тест «Динамометрия») с показателями время тестирования ($r = 0,640$ при $p = 0,046$), количеством ошибок ($r = -0,683$ при $p = 0,03$) и с частотой ошибок ($r = -0,720$ при $p = 0,019$) в тесте «Динамическая треморометрия» (см. рис. 2).

Сравнительный анализ полученных корреляционных плеяд выявил особенности в реализации произвольной регуляции у лиц, занимающихся и не занимающихся спортом.

Период до функциональной пробы (фон). Отрицательные связи между точностью сенсомоторных реакций (РДО) и длительностью и ошибочностью выполнения моторного теста (треморометрия), выявленные в группе «спортсмены», отражают эффективную нейромоторную интеграцию в преднагрузочном состоянии. В группе «неспортсмены» связи между импульсивными реакциями (число и длительность опережений в РДО) и снижением качества движения представлены зависимостью: чем больше опережений, тем хуже координация движений. Точность двигательных реакций в обоих психомоторных тестах зависит от импульсивности – доминирования процессов возбуждения, что отражает недостаточный моторный контроль и может рассматриваться как дестабилизирующий фактор.

Период после функциональной пробы (реакция на стресс). В группе «спортсмены» связь между устойчивостью позы (статокинезиограмма) и моторным контролем (длительность ошибок в треморометрии) свидетельствует о затратах ресурсов на поддержание постурального баланса, что напрямую влияет на качество «тонких» движений. Число точных реакций зависит преимущественно от развития торможения нервных процессов (число и время запаздываний). Сформированная на данном этапе система произвольной регуляции движений и усилий характеризуется тенденцией к сохранению точности сенсомоторных реакций, в т. ч. за счет постурального дисбаланса.

В группе «неспортсменов» функциональная нагрузка также способствовала снижению числа точных реакций (РДО) за счет увеличения и числа и длительности тормозных реакций (запаздываний). При этом число и частота ошибочных действий в тесте «Динамическая треморометрия» детерминируется количеством опережающих реакций в тесте «РДО», т. е. импульсивными реакциями. Примечательно, что отрицательная корреляция между частотой ошибочных действий в тесте «Динамическая треморометрия» и площадью статокинезиограммы отражает компенсаторную, но неэффективную стратегию постурального контроля. Таким образом, выполнение сложнокоординационной задачи в условиях утомления снижает точность сенсомоторного реагирования, в т. ч. на фоне нарушения уравновешенности нервных процессов: торможения и возбуждения.

Период после 10 минут отдыха после выполнения функциональной пробы (восстановление). В группе «спортсменов» анализ корреляций свидетельствует о продолжении восстановления системы произвольного регулирования функций. В частности, на это указывает связь частоты ошибок в треморометрическом тесте с опережающими сенсомоторными реакциями в тесте «РДО». При этом число точных реакций детерминируется числом запаздываний, т. е. нейродинамическим процессом торможения.

В группе «неспортсменов» сохраняется роль импульсивности в снижении качества координации движений. Появление положительных связей между временем удержания усилия (динамометрия) и качеством движения в треморометрии: чем дольше удержание, тем меньше ошибочных действий. Это свидетельствует о том, что после отдыха у неспортсменов произвольная регуляция мышечных усилий становится компенсаторным процессом стабилизации точности движений.

Заключение

Результаты апробации нагрузочной пробы представлены в различной по качеству реактивности сформированной системы сенсомоторного контроля, выраженного в специфической структуре функциональных взаимосвязей показателей произвольной регуляции движений и усилий при их сравнении у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом.

Устойчивость нервной системы (по показателям ее произвольной регуляторной функции) у спортсменов более выражена, а нагрузочная проба приводит к ее «адаптивной» перестройке, а не к дестабилизации, как это проявляется в группе неспортсменов. Ведущим фактором указанной дестабилизации функциональной системы у неспортсменов на всех этапах наблюдения является импульсивность, выраженная в преобладании возбуждения нервных процессов. Различия выявлены и в стратегии восстановления (по истечении 10 минут пассивного отдыха): у спортсменов процессы восстановления выражены в изменениях функциональных связей между подсистемами, обеспечивающими точность двигательных реакций. У неспортсменов восстановление проявляется в компенсации точных реакций через регуляцию мышечных усилий, вероятно, вследствие критических нарушений, вызванных функциональной пробой.

В контексте вышеуказанного, практическую значимость имеют результаты анализа количества и плотности корреляционных связей, являющиеся ключевым методом в оценке напряженности сформированной функциональной системы. Увеличение количества значимых корреляций трактуется как признак повышения напряженности системы для достижения полезного результата в усложненных условиях (функциональной пробы). Система вынуждена задействовать больше связей и ресурсов, чтобы компенсировать возмущающее воздействие. Так, у неспортсменов

функциональная система произвольной регуляции изначально (фон) более напряжена, чем у спортсменов, что проявляется в большем количестве корреляционных связей, направленных на компенсацию внутренней дезорганизации и импульсивности. Физическая нагрузка приводит к резкому росту напряженности систем в обеих группах, что закономерно проявляется в увеличении количества корреляций. Однако характер этого увеличения разный: у спортсменов оно характеризует упорядоченную или планомерную мобилизацию, тогда как в группе неспортсменов – дезорганизацию, дестабилизацию системы произвольной регуляции движений и мышечных усилий.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о сформированности неспецифического ответа тренированного организма на специфическую функциональную пробу, выраженного в оптимальной работе центральных механизмов управления движениями и усилиями. Как следствие, функциональная система произвольной регуляции функций способна эффективно перераспределять ресурсы в условиях утомления и быстрее восстанавливать свою работоспособность.

Таким образом при исследовании механизмов произвольной регуляции функций организма нагрузочное тестирование дает возможность анализа изменений процессов системы регуляции, отражающих причинно-следственные связи детерминации, организации, структуры и некоторых механизмов произвольной регуляции функций организма.

Список источников

1. Чуприкова Н.И. Организация и механизмы произвольных познавательных процессов и двигательных актов человека // Вопросы психологии. 1980. Т. 3. С. 32–44.
2. Leg muscle strength and power predict rating of perceived effort during cardiopulmonary exercise testing / S.E. Valentino, K.J. Killian, S.R. Bray, M.J. MacDonald // *Advanced Exercise and Health Science*. 2025. Vol. 2, iss. 1. P. 38–43. DOI: 10.1016/j.aehs.2025.02.001
3. Байгужин П.А., Наумова К.А. Реактивность автономной нервной системы у лиц с различной мотивацией к выполнению функциональной нагрузки // Психология. Психофизиология. 2021. Т. 14, № 2. С. 96–107. DOI 10.14529/jpps210210.
4. Щербаков Е.П. Функциональная структура воли: моногр. Омск: Изд-во НОУ ВПО ОмГА, 2015. 210 с.
5. Englert C. Self-control – A critical discussion of a key concept in sport and exercise psychology // *Psychology of Sport and Exercise*. 2025. Vol. 80. ID art. 102878. DOI: 10.1016/j.psychsport.2025.102878
6. Чуприкова Н.И. Время реакций человека: Физиологические механизмы, вербально-смысловая регуляция, связь с интеллектом и свойствами нервной системы. М.: Издательский Дом ЯСК. 2019. 432 с.
7. Фомин Р.Н., Селяев М.В. Нейрональная адаптация кортикоспинальных механизмов управления мышечным сокращением у спортсменов // *Физиология человека*. 2011. Т. 37, № 6. С. 76–88.

8. Влияние тренировки дискретного расслабления мышц руки и тонко-координационной тренировки на проприоцептивный контроль / Е.С. Иконникова, А.А. Мельников, Р.Х. Люкманов и др. // Физиология человека. 2024. Т. 50, № 3. С. 41–55. DOI: 10.31857/S0131164624030047.

9. Функциональная активность реципрокного торможения α-мотонейронов мышц-антагонистов голени при разных типах мышечного сокращения субмаксимальной и максимальной силы / Д.А. Гладченко, С.М. Богданов, Л.В. Рощина, А.А. Челноков // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2023. Т. 31, № 2. С. 185–194. DOI: 10.17816/PAVLOVJ110739.

10. Изменения показателей системной гемодинамики при повторных статических сокращениях мышц верхних и нижних конечностей: влияние утомления / А.С. Боровик, М.А. Печерица, О.Л. Виноградова, О.С. Тарасова // Физиология человека. 2024. Т. 50, № 4. С. 80–91. DOI: 10.31857/S0131164624040076.

11. Christou G.A., Christou K.A., Kiortsis D.N. Pathophysiology of Noncardiac Syncope in Athletes // Sports Medicine. 2018. Vol. 48. P. 1561–1573. DOI: 10.1007/s40279-018-0911-7

12. Громыко М.В., Байгужин П.А. Разработка интервальной динамометрической функциональной пробы // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. 2025. Т. 4, № 2(14). С. 6–10. DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_1

13. Schober P., Boer C., Schwarte L.A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation // Anesthesia and Analgesia. 2018. Vol. 126(5). P. 1763–1768. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864

Поступила 29.05.2025; одобрена после рецензирования 16.07.2025; принята к публикации 21.07.2025.

Информация об авторах

Громыко Михаил Васильевич, аспирант кафедры теории и методики физического воспитания и спорта, Южно-Уральский государственный университет (454080, Россия, г. Челябинск, проспект Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7635-8269>; e-mail: mikhailgromyko@mail.ru

Беленков Александр Сергеевич, доцент кафедры спортивного совершенствования; Институт спорта, туризма и сервиса; Южно-Уральский государственный университет (454080, Россия, г. Челябинск, проспект Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6595-4735>; e-mail: belenkovas@susu.ru

Никольская Олеся Борисовна, старший преподаватель кафедры физического воспитания, Высшая школа физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет (454080, Челябинск, пр. Ленина, 69). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4681-7695>; e-mail: nikolskayaob@cspu.ru

Прокопчик Елена Юрьевна, ассистент кафедры теории и методики физической культуры и спорта; Южно-Уральский государственный университет (454080, Россия, г. Челябинск, проспект Ленина, 76); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8391-7329>, e-mail: lena-prokopchik@mail.ru

Ушаков Александр Сергеевич, ассистент кафедры физического воспитания и здоровья, ассистент кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет (454080, Россия, г. Челябинск, проспект Ленина, 76); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7591-3678>; e-mail: ushakovas74@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Громыко М.В. – получение эмпирического материала, обработка и анализ данных, редактирование статьи

Никольская О.Б., Беленков А.С. – анализ источников информации, подготовка раздела «Обзор», первичная обработка данных

Прокопчик Е.Ю., Ушаков А.С. – организация практической части исследования

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

1. Chuprikova N.I. Organization and mechanisms of voluntary cognitive processes and motor acts of a person. *Voprosy psikhologii*. 1980;3:32–44. (in Russ.).
2. Valentino S.E., Killian K.J., Bray S.R., MacDonald M.J. Leg muscle strength and power predict rating of perceived effort during cardiopulmonary exercise testing. *Advanced Exercise and Health Science*. 2025;2(1):38–43. DOI: 10.1016/j.aehs.2025.02.001
3. Baiguzhin P.A., Naumova K.A. Reactivity of the Autonomic Nervous System in Persons with Different Levels of Motivation for Exercise. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology*. 2021;14(2):96–107. (in Russ.). DOI: 10.14529/jpps210210
4. Shcherbakov E.P. *Funktsionalnaya struktura voli* [The functional structure of the will]. Omsk. NOU VPO OmGA Publ. 2015:210. (in Russ.).
5. Englert C. Self-control – A critical discussion of a key concept in sport and exercise psychology. *Psychology of Sport and Exercise*. 2025;80:102878. DOI: 10.1016/j.psychsport.2025.102878
6. Chuprikova N.I. *Vremya reaktsii cheloveka: Fiziologicheskie mekhanizmy, verbalno-smyslovaya regulyatsiya, svyaz s intellektom i svoistvami nervnoi sistemy* [Human reaction time: Physiological mechanisms, verbal and semantic regulation, connection with intelligence and properties of the nervous system]. Moscow. YASK Publ. 2019:432. (in Russ.).
7. Fomin R.N., Selyaev M.V. Neuronal adaptation of corticospinal mechanisms of muscle contraction regulation in athletes. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2011;37(6):708–718. (in Russ.).
8. Ikonnikova E.S., Melnikov A.A., Lyukmanov R.KH. et al. The effect of arm muscle discrete relaxation training and fine-coordination training on proprioceptive control. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2024;50(3):41–55. (in Russ.). DOI 10.31857/S0131164624030047
9. Gladchenko D.A., Bogdanov S.M., Roschina L.V., Chelnokov A.A. Functional activity of reciprocal inhibition of a-motor neurons of antagonistic muscles in different types of muscle contractions of submaximal and maximal force. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I.P. Pavlova = I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2023;31(2):185–194. (in Russ.). DOI: 10.17816/PAVLOVJ110739.
10. Borovik A.S., Pecheritsa M.A., Vinogradova O.L., Tarasova O.S. Changes in system hemodynamics during static contractions of upper and lower limb muscles: influence of fatigue. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2024;50(4):80–91. (in Russ.). DOI: 10.31857/S0131164624040076.
11. Christou G.A., Christou K.A., Kiortsis, D.N. Pathophysiology of Noncardiac Syncope in Athletes. *Sports Medicine*. 2018;48:1561–1573. DOI: 10.1007/s40279-018-0911-7
12. Gromyko M.V., Baiguzhin P.A. Development of an interval dynamometric functional test. *Rossiiskii zhurnal sportivnoi nauki: meditsina, fiziologiya, trenirovka = Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*. 2025;4(2). DOI: 10.24412/2782-6570-2025_04_02_1
13. Schober P., Boer C., Schwarte L.A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia and Analgesia*. 2018;126(5):1763–1768. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002864

Submitted 29.05.2025; approved after reviewing 16.07.2025; accepted for publication 21.07.2025.

About the authors

Mikhail V. Gromyko, Postgraduate Student, Department of Theory and Methods of Physical Education and Sports; Institute of Sport, Tourism and Service; South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7635-8269>; e-mail: mikhailgromyko@mail.ru

Alexander S. Belenkov, Associate Professor of the Department of Athletic Performance Enhancement; Institute of Sport, Tourism and Service; South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6595-4735>, e-mail: belenkovas@susu.ru

Olesya B. Nikolskaya, Senior Lecturer, Department of Physical Education, Higher School of Physical Education and Sports, South Ural State University of Humanities and Education (69 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4681-7695>; e-mail: nikolskayaob@cspu.ru

Elena Yu. Prokopchik, Assistant, Department of Theory and Methods of Physical Education and Sport, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia); ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8391-7329>; lena-prokopchik@mail.ru

Aleksander S. Ushakov, Assistant of the Department of Physical Education and Health, Assistant of the Department of Theory and Methodology of Physical Culture and Sports, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7591-3678>; e-mail: ushakovas74@mail.ru

Contribution of the authors

Gromyko M.V. – obtaining empirical material, data processing and analysis, editing the article.

Nikolskaya O.B., Belenkov A.S. – analysis of information sources, preparation of the “Overview” section, primary data processing.

Prokopchik E.Yu., Ushakov A.S. – organization of the practical part of the study.

All authors have read and approved the final manuscript.