



ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ И СПОРТИВНОЙ ФИЗИОЛОГИИ

Научная статья

<https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202614>

УДК 612.766.1:615.851

Индивидуальные особенности моторного контроля при использовании программно-аппаратного комплекса с электромиографической обратной связью в задачах управления реальным объектом

Е. А. Крикленко^{1✉}, А. В. Ковалева¹, Е. Н. Панова¹

¹ ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», Москва, Российская Федерация

✉ kriklenko_ea@academpharm.ru

Аннотация

Обоснование. Внедрение программно-аппаратных комплексов (ПАК) с электромиографической (ЭМГ) обратной связью в реабилитацию в задачах управления реальными физическими объектами сдерживается недостаточной разработанностью методического обеспечения. В отличие от экранных и виртуальных тренажёров, такие комплексы формируют замкнутый сенсомоторный контур с участием проприоцептивной обратной связи, что требует специальных методических подходов. В связи с этим актуальным является изучение физиологического обеспечения применения подобных комплексов у здоровых добровольцев с описанием как субъективной оценки сложности, так и объективных характеристик результативности.

Цель исследования. Изучить индивидуальные особенности моторного контроля при использовании ПАК с ЭМГ обратной связью при управлении реальным физическим объектом на примере здоровых испытуемых с использованием объективных показателей результативности выполнения упражнений по данным видеоанализа и субъективной оценки нагрузки.

Методы. В пилотном наблюдательном поперечном исследовании приняли участие 26 испытуемых 18–35 лет (15 женщин; 11 мужчин) без неврологических заболеваний и нарушений моторики. Использовался ПАК «БИОМОД» (ООО «Нейро МД», Россия) с двумя миографическими датчиками Callibri и ПО на базе Android. Управление модифицированной радиоуправляемой машинкой осуществлялось по ЭМГ-сигналам при сокращении/расслаблении мышц предплечья. Участники в двух сериях упражнений (от себя/к себе) управляли движением машинки в двух постуральных положениях (сидя/стоя) внутри размеченной трассы длиной 5 м. Объективная оценка упражнений проводилась по видеозаписи. Субъективная оценка нагрузки оценивалась после завершения заданий по опроснику NASA-TLX (русскоязычная адаптация).

Результаты. В положении сидя у мужчин наблюдалась тенденция к меньшему времени выполнения упражнения и снижению частоты ошибок; в положении стоя данные



межполовые различия нивелировались. Интегративный показатель качества управления характеризовался относительной устойчивостью: статистически значимых различий между группами выявлено не было. Анализ субъективной нагрузки по шкале NASA-TLX показал, что наиболее выраженным компонентом являлось «Давление времени» при умеренных значениях умственной нагрузки, физического усилия и относительно низком уровне напряжения. Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи между отдельными шкалами NASA-TLX и объективными показателями управления у мужчин; у женщин подобных ассоциаций не обнаружено. Полученные данные указывают на наличие половых различий в структуре взаимосвязей между субъективным восприятием нагрузки и эффективностью управления реальным объектом по ЭМГ.

Заключение. Изучены особенности моторного контроля при управлении реальным объектом по ЭМГ у здоровых добровольцев. Полученные данные могут стать основой методики для использования подобных устройств в реабилитационной практике.

Ключевые слова: электромиография (ЭМГ), биологическая обратная связь, произвольный моторный контроль, зрительно-моторная координация

DIGITAL TECHNOLOGIES IN EXTREME AND SPORTS PHYSIOLOGY

Research article

<https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202614>

UDC 612.766.1:615.851

Individual patterns of motor control in real-object control using a system with electromyographic biofeedback

E. A. Kriklenko ^{1✉}, A. V. Kovaleva ¹, E. N. Panova ¹

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies”, Moscow, Russian Federation

✉ kriklenko_ea@academpharm.ru

Abstract

Background. The introduction of software and hardware systems (SHS) with electromyographic (EMG) biofeedback into rehabilitation for the control of real physical objects is hindered by insufficient development of methodological support. Unlike screen-based and virtual trainers, such systems form a closed sensorimotor loop involving proprioceptive feedback, which requires special methodological approaches. In this regard, the study of the physiological support for the use of such systems in healthy volunteers, with a description of both subjective assessment of difficulty and objective performance characteristics, is relevant.

Aim. To study the individual characteristics of motor control when using an SHS with EMG biofeedback for controlling a real physical object in healthy subjects, using objective performance indicators of exercise execution based on video analysis and subjective assessment of workload.



Methods. The pilot observational cross-sectional study involved 26 subjects aged 18–35 years (15 women; 11 men) without neurological diseases or motor impairments. An SHS “BIO-MOD” (Neuro MD LLC, Russia) with two Callibri myographic sensors and Android-based software was used. A modified radio-controlled car was controlled via EMG signals during contraction/relaxation of forearm muscles. Participants in two series of exercises (push/pull) controlled the movement of the car in two postural positions (sitting/standing) within a marked 5 m track. Objective assessment of the exercises was performed using video recordings. Subjective workload assessment was evaluated after completing the tasks using the NASA-TLX questionnaire (Russian-language adaptation).

Results. In the sitting position, men showed a tendency toward shorter exercise completion time and lower error frequency; in the standing position, these sex differences were leveled out. The integrative indicator of control quality was characterized by relative stability: no statistically significant differences were found between groups. Analysis of subjective workload on the NASA-TLX scale showed that the most pronounced component was “Time Pressure”, with moderate values of mental demand, physical effort, and a relatively low level of frustration. Correlation analysis revealed statistically significant relationships between individual NASA-TLX scales and objective control indicators in men; no such associations were found in women. The obtained data indicate the presence of sex differences in the structure of relationships between subjective perception of workload and the effectiveness of controlling a real object via EMG.

Conclusion. The characteristics of motor control when controlling a real object via EMG in healthy volunteers were studied. The obtained data may serve as a basis for a methodology for using such devices in rehabilitation practice.

Keywords: electromyography (EMG), biofeedback, voluntary motor control, visual-motor coordination

Обоснование

Современные компьютерные технологии радикально изменили характер человеко-машинного взаимодействия. С развитием графических интерфейсов и сенсорных панелей оно стало интуитивным и гибким, однако по мере усложнения систем возрастает и когнитивная нагрузка на оператора [1, 2]. В связи с этим особую актуальность приобретают интерфейсы, способные обеспечивать высокую пропускную способность взаимодействия при минимальных когнитивных затратах. Перспективным направлением является развитие так называемых естественных интерфейсов пользователя, которые используют движения тела, речь или другие физиологические сигналы для формирования команд и позволяют человеку интуитивно управлять внешними устройствами без длительного предварительного обучения [3, 4].

Наиболее доступным и информативным методом регистрации этих сигналов является поверхностная электромиография (пЭМГ), позволяющая регистрировать биоэлектрическую активность скелетных мышц, возникающую при передаче управляющих импульсов от головного мозга. Благодаря простоте использования, компактности и возможности миниатюризации такие системы нашли применение как в реабилитации [5], так и в разработке интуитивных человеко-машинных интерфейсов, включая управление роботизированными устройствами [6, 7, 8].



В реабилитационной практике активно используется метод электромиографической биологической обратной связи (ЭМГ-БОС), основанный на регистрации биоэлектрической активности мышц с помощью поверхностных электродов, преобразовании этого сигнала в визуальные или звуковые стимулы и предъявлении их пациенту в реальном времени [9]. Клиническая эффективность метода подтверждена при восстановлении пациентов с двигательными нарушениями различного генеза: в постинсультной реабилитации [10, 11], терапии травм спинного мозга и конечностей [12], при лечении детей с ДЦП [13] и других нарушениях моторного контроля.

Однако большинство доступных систем с ЭМГ-БОС реализованы в виртуальной среде или на экране монитора [14], что не позволяет в полной мере переносить сформированный навык на взаимодействие с реальными объектами [15, 16]. Управление реальным физическим устройством, в отличие от экранных задач, задействует не только зрительный канал, но и проприоцептивную обратную связь, формируя замкнутый сенсомоторный контур, максимально приближенный к условиям естественной двигательной активности. Это предъявляет повышенные требования к точности и стабильности ЭМГ-сигнала, поскольку ошибки управления имеют физически наблюдаемые последствия.

Кроме того, эффективность такого управления может зависеть от ряда индивидуальных факторов, включая пол, постуральные условия выполнения задачи и особенности субъективного восприятия нагрузки. В литературе накоплены данные о наличии половых различий в сенсомоторной регуляции, скорости и точности выполнения двигательных задач [17, 18, 19], стратегиях координации мышц-антагонистов [20], а также в предпочтении реактивной или контролируемой стратегий при выполнении визуально-моторных задач [21]. Вместе с тем исследования, посвященные комплексной оценке объективных показателей результативности управления реальным объектом по ЭМГ в различных постуральных условиях во взаимосвязи с субъективной нагрузкой, немногочисленны.

Настоящее исследование направлено на восполнение этого пробела. В работе представлены результаты пилотного исследования, целью которого явилось изучение индивидуальных особенностей моторного контроля при использовании программно-аппаратного комплекса с ЭМГ-обратной связью для управления реальным физическим объектом (радиоуправляемой машинкой) у здоровых испытуемых. Комплексная оценка включала анализ объективных показателей результативности выполнения упражнений (по данным видеоанализа) в двух направлениях движения (к себе и от себя) и двух постуральных положениях (сидя и стоя), а также оценку субъективной психофизиологической нагрузки.

Цель исследования – изучить индивидуальные особенности моторного контроля при использовании ПАК с ЭМГ обратной связью при управлении реальным физическим объектом на примере здоровых испытуемых с использованием объективных показателей результативности выполнения упражнений по данным видеоанализа и субъективной оценки нагрузки.

Методы

Дизайн исследования

Исследование выполнено в виде пилотного наблюдательного аналитического поперечного исследования (cross-sectional). Все участники проходили разработанный специально для этого исследования стандартизированный протокол управления реальным физическим объектом по ЭМГ в рамках одной экспериментальной сессии в двух направлениях (от



себя/к себе) с повторными измерениями показателей (сидя/стоя), после чего оценивалась субъективная нагрузка по шкале NASA-TLX (русскоязычная адаптация) [22].

Условия проведения исследования

Исследование выполнено на базе лаборатории реабилитационной и спортивной психофизиологии ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» в период с октября по декабрь 2025 г.

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения:

- возраст от 18 до 35 лет;
- отсутствие острых заболеваний или состояний, способных повлиять на выполнение упражнений в день проведения исследования;
- отсутствие нарушений опорно-двигательного аппарата или неврологических состояний, препятствующих выполнению простых моторных действий в день исследования;
- способность участника понимать инструкции и выполнять простые задания, представленные исследователем;
- подписанное участником добровольное информированное согласие на участие в исследовании, а также согласие на фото- и видеорегистрацию.

Критерии невключения:

- возраст моложе 18 или старше 35 лет;
- наличие острого заболевания, недомогания или ухудшения самочувствия на момент проведения исследования;
- наличие значительных нарушений моторики или хронических заболеваний, которые могут препятствовать выполнению упражнений;
- неспособность следовать инструкциям или выполнять задания исследователя;
- отказ от подписания информированного согласия или отказ от фото- и видеорегистрации, необходимой для анализа результатов до или в процессе проведения исследования.

Критерии исключения:

- нежелание испытуемого участвовать в исследовании на любом из этапов исследования;
- появление несоответствия критериям включения в процессе исследования, в том числе клинически значимые патологические данные, состояния и обстоятельства, которые, по мнению исследователя, негативно скажутся на благополучии участника, ходе или результатах исследования.

Подбор участников в группы

Участники были распределены на группы в зависимости от пола (мужчины/женщины). Формирование групп носило естественный характер и не предполагало рандомизации.



Целевые показатели исследования

Основной показатель исследования

В качестве основных целевых показателей исследования были выбраны объективные количественные характеристики, отражающие эффективность произвольного моторного контроля при управлении реальным объектом по ЭМГ. Оценивались точность и временные аспекты выполнения двигательной задачи в условиях зрительно-моторной обратной связи:

- T_{total} (с) – общее время выполнения упражнения, за которое устройство преодолевает расстояние от стартовой позиции до финиша, характеризующее скорость достижения целевого результата;
- T_{in} (с) – время удержания управляемого объекта в целевом коридоре, отражающее устойчивость и точность моторного контроля;
- $Errors$ – количество ошибок (выездов за пределы целевого коридора);
- Q – интегральный показатель качества управления, рассчитанный по формуле (1) как отношение времени удержания объекта в целевом коридоре (T_{in}) к общему времени выполнения упражнения (T_{total}). Отражает долю времени успешного выполнения задания и позволяет обобщенно оценить эффективность управления движением.

Дополнительные показатели исследования

Дополнительно оценивались субъективные показатели нагрузки с использованием опросника NASA-TLX (RAW) (русскоязычная адаптация), состоящего из 6 субшкал, которые оценивают умственную и физическую нагрузку, субъективную оценку давления времени выполнения задания, субъективную оценку успешности выполнения задания, оценку затраченных усилий и уровень напряжения (фрустрации) во время выполнения задания.

Методы измерения целевых показателей

В исследовании использовался программно-аппаратный комплекс «БИОМОД» (ООО «Нейро МД», Россия), включающий в себя два миографических датчика Callibri (ООО НМФ «Нейротех», г. Таганрог, Россия), радиоуправляемую машинку (РУ), модифицированную для работы по ЭМГ-сигналам, и программное обеспечение [23], установленное на смартфон на базе Android.

Управление РУ-машинкой осуществлялось на специально подготовленной трассе шириной 60 см и длиной 5 м с использованием разметки целевого (зеленого) коридора, в пределах которого испытуемый должен был удерживать устройство (рис. 1). Во время всех этапов выполнения задания производилась видеорегистрация выполнения задания.

Подготовка к исследованию и калибровка сигнала

Поверхностные электроды датчиков Callibri фиксировались на коже испытуемого в проекции лучевого и локтевого сгибателей запястья (*m. flexor carpi radialis*, *m. flexor carpi ulnaris*).

Перед началом каждой исследовательской сессии проводилась калибровка ЭМГ-сигнала. Участнику предлагалось последовательно: 1) полностью расслабить мышцы обеих рук (в течение 5 с); 2) затем напрячь мышцы, в проекции которых установлены датчики (5 с).

Полученные данные использовались для определения индивидуальных порогов активации и настройки диапазона амплитуд ЭМГ сигнала, обеспечивающего устойчивое распознавание мышечных сокращений.

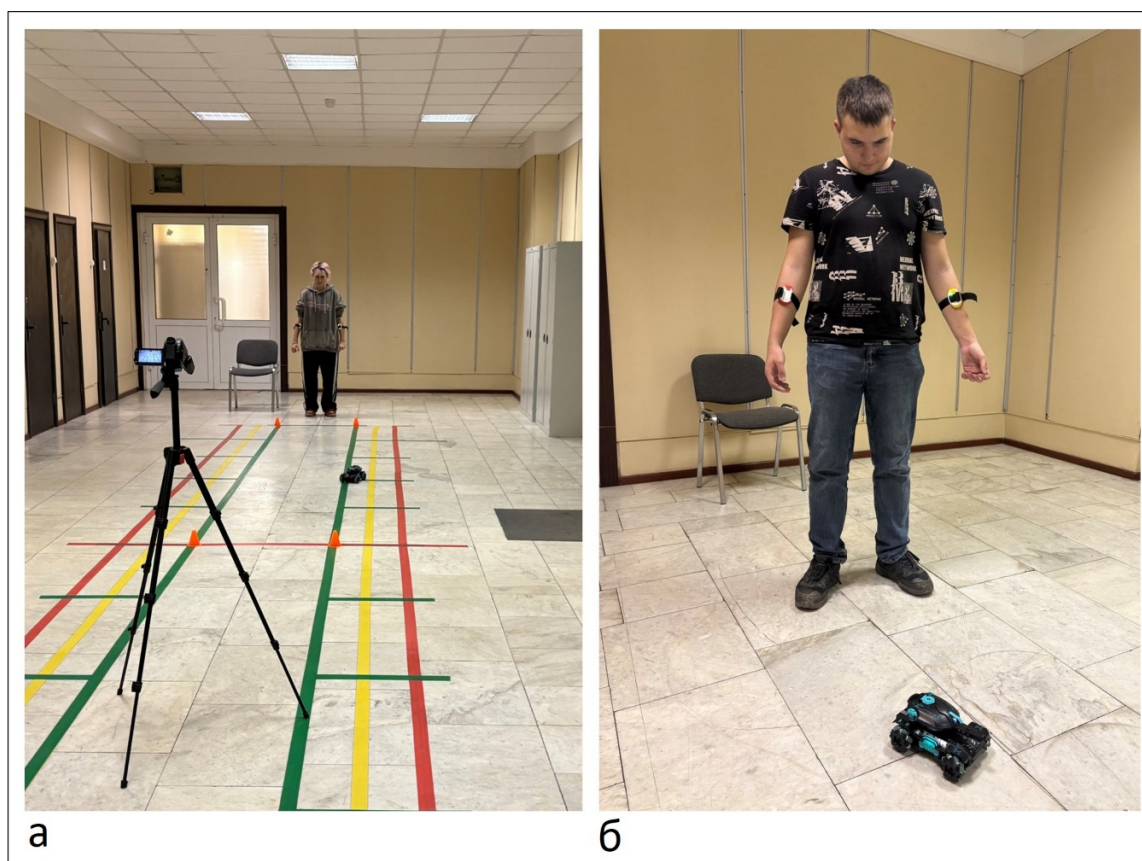


Рис. 1: а) Общий вид трассы для исследования (задача испытуемого – удерживать устройство в центральном зеленом коридоре и въехать в ворота, обозначенные сигнальными конусами); б) испытуемый с закрепленными датчиками Callibri и радиоуправляемой машинкой.

Fig. 1: a) General view of the experimental track (the participant's task is to keep the device within the central green corridor and drive through the gate marked by signal cones); b) a participant with attached Callibri sensors and a radio-controlled car

Обучение испытуемых управлению устройством

Перед началом основного исследования все участники проходили инструктаж по принципам управления и ознакомительную тренировку на этой же трассе. Тренировочная сессия продолжалась до тех пор, пока участник не демонстрировал стабильную способность по команде исследователя выполнять базовые манёвры (прямолинейное движение, повороты в обе стороны) и не сообщал о субъективном комфорте управления.

Процедура исследования

Испытуемый находился перед размеченной на полу трассой, по которой двигалась РУ машинка.

Задача испытуемого заключалась в том, чтобы, управляя мышечным напряжением, провести машинку от линии старта внутри заданного (зеленого) коридора и въехать в «ворота», обозначенные двумя сигнальными конусами на линии финиша.

Испытуемый управлял движением машинки посредством произвольного сокращения и расслабления мышц, в проекции которых установлены датчики.

Сигнал от пЭМГ-датчиков передавался по беспроводному интерфейсу Bluetooth в смартфон исследователя с предустановленным ПО, где осуществлялась его обработка и



дальнейшее управление устройством в реальном времени. Алгоритм управления устройством базировался на схеме:

- активация правого канала вызывала вращение колёс правой стороны машинки;
- активация левого канала – вращение колёс левой стороны;
- согласованная активация правого и левого канала – вращение колёс с двух сторон и движение устройства прямо;
- при отсутствии активности мышц с обеих сторон машинка оставалась неподвижной.

Каждому участнику предъявлялось два типа заданий: 1) движение от испытуемого: машинка стартует с позиции перед участником исследования и движется по направлению от него к воротам на противоположной стороне трассы; 2) движение к испытуемому: машинка стартует с противоположного конца трассы и движется к участнику исследования, финишируя между конусами, расположенными перед ним.

Каждое упражнение выполнялось в двух поструральных положениях – сидя и стоя. В каждом положении испытуемый выполнял по три попытки для каждого направления движения (рис. 2).



Рис. 2: Дизайн исследования

Fig. 2: Study design

Субъективная оценка

Для оценки субъективно воспринимаемой нагрузки использовался опросник NASA-TLX (русскоязычная адаптация) в форме Raw TLX (без этапа взвешивания шкал). Анализировались: умственная и физическая нагрузка, субъективные временные затраты, успешность выполнения, приложенные усилия и уровень напряжения во время выполнения задания.

Оценка результативности управления

На основании анализа видеозаписей для каждого упражнения были рассчитаны:

- Временные показатели: T_{total} (с) – общее время упражнения; T_{in} (с) – время в целевом коридоре.
- Количественные показатели: количество ошибок (*Errors*) – число выездов за пределы коридора.



Вычислялся интегральный показатель качества управления (Q) по формуле:

$$Q = \frac{T_{in}}{T_{total}} \quad (1)$$

Статистические процедуры

Запланированный размер выборки

Исследование планировалось как пилотное (методическое) и было направлено на разработку и первичную апробацию протокола управления реальным объектом по ЭМГ, а также на оценку вариабельности и распределения основных показателей управления (T_{total} , T_{in} , $Errors$, Q) и субъективной нагрузки (NASA-TLX) у условно здоровых лиц. В связи с этим размер выборки формировался по принципу доступности и был ориентирован на получение репрезентативных оценок разброса показателей и предварительных величин эффектов, необходимых для последующих исследований в клинике.

Статистические методы

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics 27. Для описания распределения показателей рассчитывались средние значения (M), стандартные отклонения (SD), медианы (Me) и межквартильный размах [$Q1$; $Q3$].

Для межгрупповых сравнений применялся U -критерий Манна–Уитни, для внутригрупповых сравнений – критерий Вилкоксона. Уровень статистической значимости принимался равным $p < 0,05$. Значения p в диапазоне $0,05 \leq p < 0,10$ рассматривались как статистическая тенденция и обозначались символом †.

Для оценки взаимосвязей между субшкалами NASA-TLX и объективными показателями управления использовался непараметрический корреляционный анализ Спирмена (ρ). Статистически значимыми считались значения $p < 0,05$.

Результаты

Формирование выборки

В исследование были включены добровольцы в возрасте от 18 до 35 лет, не имеющие диагностированных неврологических, психических или выраженных ортопедических нарушений, способных повлиять на выполнение моторной задачи. Участники рассматривались как условно здоровые и не проходили специализированного реабилитационного лечения на момент включения в исследование. Формирование выборки осуществлялось по принципу доступности с последующей проверкой соответствия критериям включения и исключения. Данный возрастной диапазон был выбран для формирования референсной группы с относительно стабильными характеристиками сенсомоторной функции и минимальным влиянием возрастных изменений.

Характеристика выборки

В исследование были включены 26 участников в возрасте от 18 до 35 лет, из них 15 женщин и 11 мужчин. Статистически значимых различий по возрасту между мужчинами и женщинами выявлено не было (таблица 1), что свидетельствует о сопоставимости групп по данному параметру.



Таблица 1: Характеристика выборки испытуемых
Table 1: Characteristics of the study sample

	Мужчины, Me [Q1; Q3]	Женщины, Me [Q1; Q3]	<i>p</i>
<i>N</i> , участников	11	15	
Возраст	25 [23,5; 27,5]	27 [25,5; 30,5]	0,159

Примечание. Статистическая значимость различий оценивалась *U*-критерием Манна-Уитни.

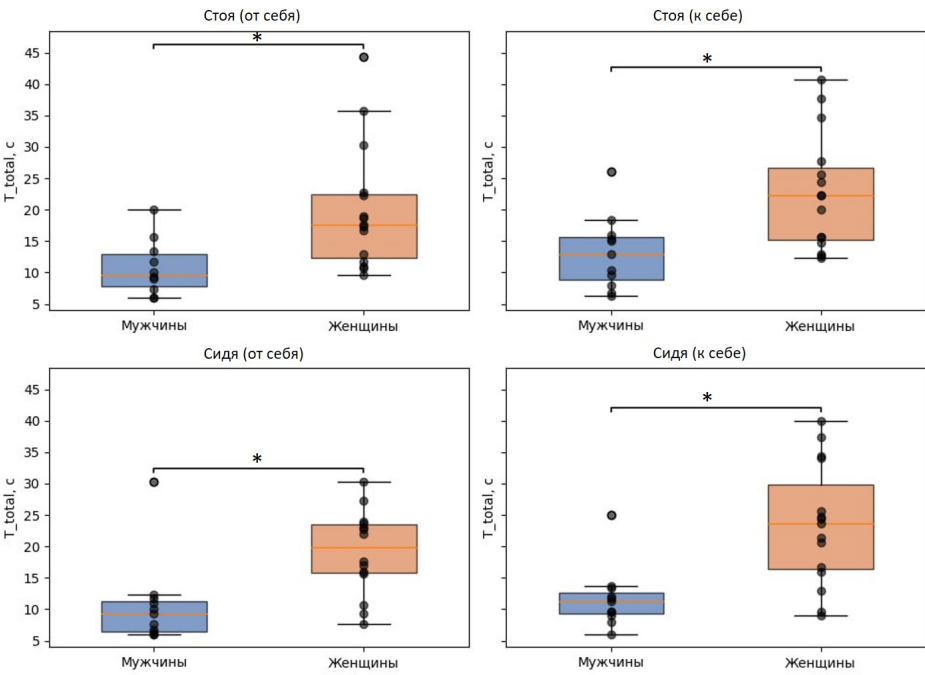


Рис. 3: Сравнение общего времени выполнения задания (T_{total} , с) у мужчин и женщин в зависимости от положения тела (сидя, стоя) и направления движения («от себя», «к себе») у испытуемых 18–35 лет.

Fig. 3: Comparison of the total task completion time (T_{total} , s) in men and women depending on the body position (sitting, standing) and the movement direction (push, pull) in subjects aged 18–35 years

Основные результаты исследования

Общее время выполнения заданий (T_{total})

Независимо от направления движения устройства (от себя или к себе) мужчины демонстрировали более высокую скорость выполнения заданий по сравнению с женщинами (общее время выполнения заданий было меньше). При этом во всех условиях исследования у мужчин наблюдалась меньшая вариабельность показателей, о чём свидетельствует более низкий интерквартильный размах. Выявленные различия в скорости выполнения являются статистически значимыми как в положении сидя, так и стоя (рис. 3).

Время нахождения в целевом коридоре (T_{in})

При анализе времени нахождения в целевом коридоре установлено, что в положении сидя мужчины демонстрировали более низкие значения по сравнению с женщинами



($p < 0,05$). В положении стоя указанные различия не достигали уровня статистической значимости, однако прослеживались на уровне тенденции ($0,05 \leq p < 0,1$) (рис. 4).

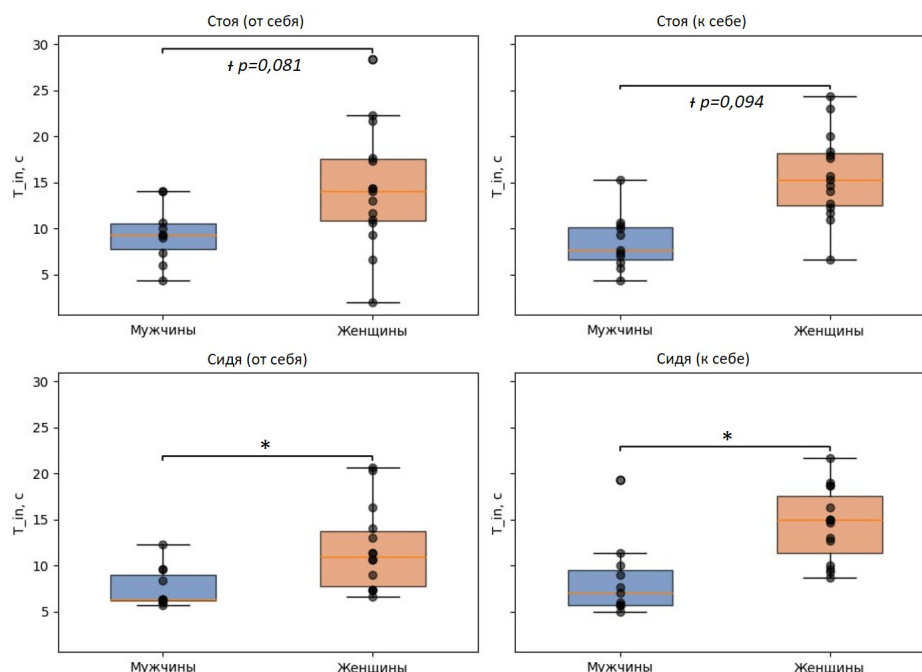


Рис. 4: Сравнение времени нахождения устройства внутри трассы (T_{in} , с) у мужчин и женщин в зависимости от положения тела (сидя, стоя) и направления движения («от себя», «к себе») у испытуемых 18–35 лет

Fig. 4: Comparison of the time the device spent within the track (T_{in} , s) in men and women depending on the body position (sitting, standing) and the movement direction (push, pull) in subjects aged 18–35 years

Качество управления (Q) – отношение времени внутри целевого коридора к общему времени выполнения задания

При анализе показателей качества управления установлено, что у мужчин наблюдаются более высокие значения медианы и меньшая вариабельность (IQR) по сравнению с женщинами. Однако выявленные межгрупповые различия не достигают уровня статистической значимости ни в одном из экспериментальных условий. Исключение составляет условие управления в положении сидя при движении устройства от себя, где различия проявляются на уровне статистической тенденции ($0,05 \leq p < 0,1$) (рис. 5).

Ошибки управления (*Errors*)

Сравнительный анализ количества ошибок, выражающихся в пересечении границ целевого коридора, показал, что в положении сидя мужчины демонстрируют статистически значимо более низкие значения данного показателя по сравнению с женщинами. В положении стоя достоверные различия между группами отсутствуют (рис. 6).

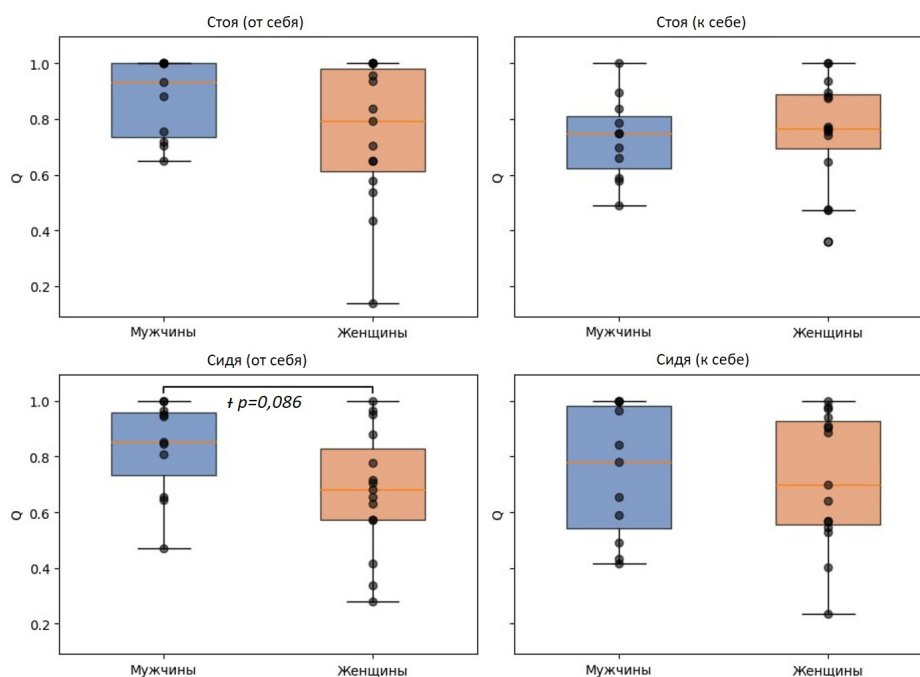


Рис. 5: Сравнение качества управления (Q) у мужчин и женщин в зависимости от положения тела (сидя, стоя) и направления движения («от себя», «к себе») у испытуемых 18–35 лет

Fig. 5: Comparison of control quality (Q) in men and women depending on the body position (sitting, standing) and the movement direction (push, pull) in subjects aged 18–35 years

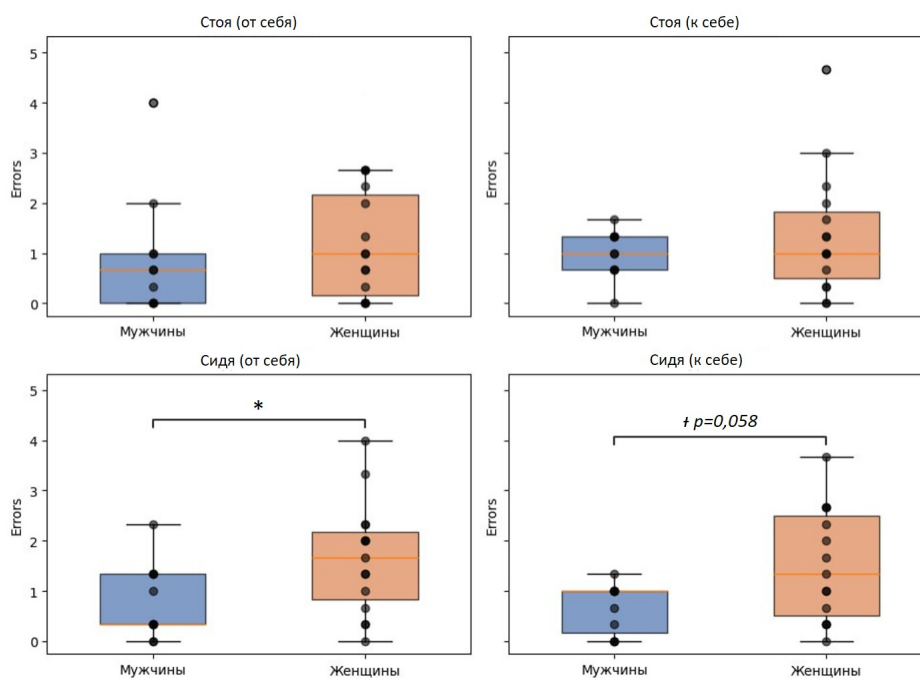


Рис. 6: Количество ошибок ($Errors$) у мужчин и женщин в зависимости от положения тела (сидя, стоя) и направления движения («от себя», «к себе») у испытуемых 18–35 лет
 Fig. 6: Number of errors ($Errors$) in men and women depending on the body position (sitting, standing) and the movement direction (push, pull) in subjects aged 18–35 years



Дополнительные результаты исследования

По завершении исследования всем участникам было предложено оценить субъективную нагрузку при ЭМГ-управлении внешним устройством с помощью русскоязычной версии шкалы NASA-TLX (RAW).

Статистический анализ с использованием U-критерия Манна-Уитни не выявил значимых межполовых различий ни по одной из субшкал. В связи с этим на рис. 7 представлена обобщенная радарная диаграмма, отражающая профиль субъективной нагрузки для всей выборки ($n=26$). Наиболее выраженным компонентом субъективной нагрузки оказалось давление времени (67,5 [47,0; 78,75]), что указывает на восприятие задачи как требующей поддержания темпа и постоянного контроля времени выполнения. Показатели умственной нагрузки (40,0 [30,0; 66,25]) и усилий (47,5 [21,25; 65,0]) находились на умеренном уровне, отражая необходимость концентрации внимания и произвольной регуляции мышечной активности при управлении устройством.

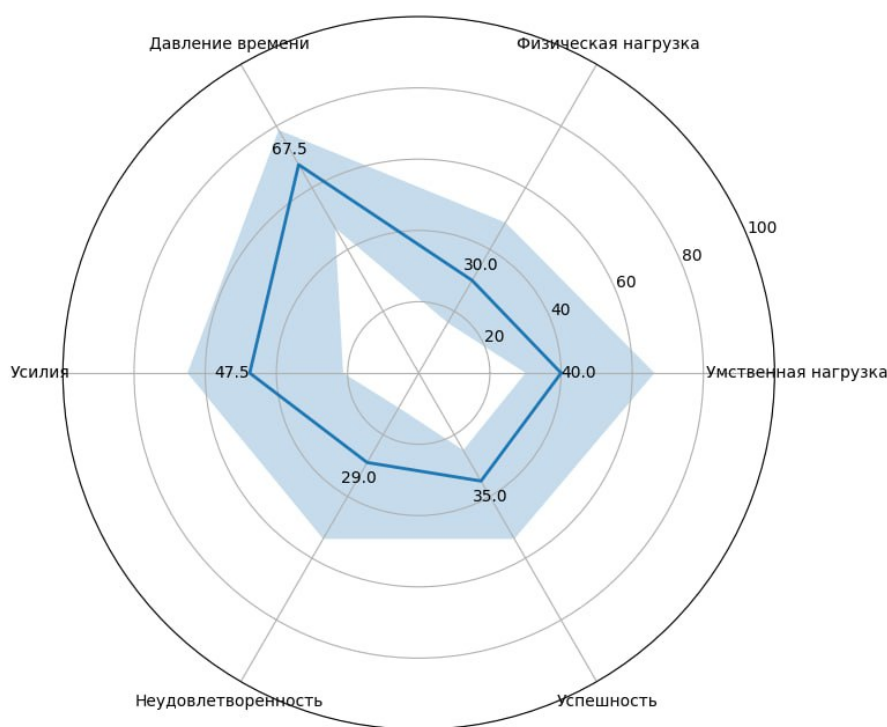


Рис. 7: Профиль субъективной нагрузки по шкалам NASA-TLX (RAW) у условно здоровых испытуемых 18–35 лет при ЭМГ-управлении внешним устройством. Сплошная линия отражает медианные значения, полупрозрачная область – межквартильный размах [Q1; Q3]. Шкалы представлены в диапазоне 0–100 баллов.

Fig. 7: Subjective workload profile on the NASA-TLX (RAW) scales in conditionally healthy subjects aged 18–35 years during EMG control of an external device. The solid line shows the median values, the translucent area shows the interquartile range [Q1; Q3]. The scales are presented in the range of 0–100 points

Физическая нагрузка оценивалась как умеренная (30,0 [16,25; 48,75]), что соответствует характеру задачи, предполагающей локальную активацию сгибателей запястья без значительной общей моторной нагрузки. Наименее выраженным компонентом субъективного восприятия оказалась неудовлетворенность (фрустрация) (29,0 [11,25; 53,75]), что



свидетельствует об отсутствии выраженного эмоционального дискомфорта при выполнении задания. Показатель успешности (35,0 [25,0; 53,75]) отражал умеренную самооценку эффективности выполнения.

Интегральный показатель субъективной нагрузки (среднее шести шкал) составил 42,1 [40,0; 50,6] балла, что соответствует умеренному уровню общей воспринимаемой нагрузки.

Далее был проведен корреляционный анализ (Spearman) между компонентами субъективной нагрузки и объективными показателями эффективности выполнения задания отдельно для мужчин и женщин (рис. 8)

При раздельном анализе корреляций (Spearman) между субшкалами NASA-TLX и объективными показателями управления выявлены различия в структуре связей у мужчин и женщин.

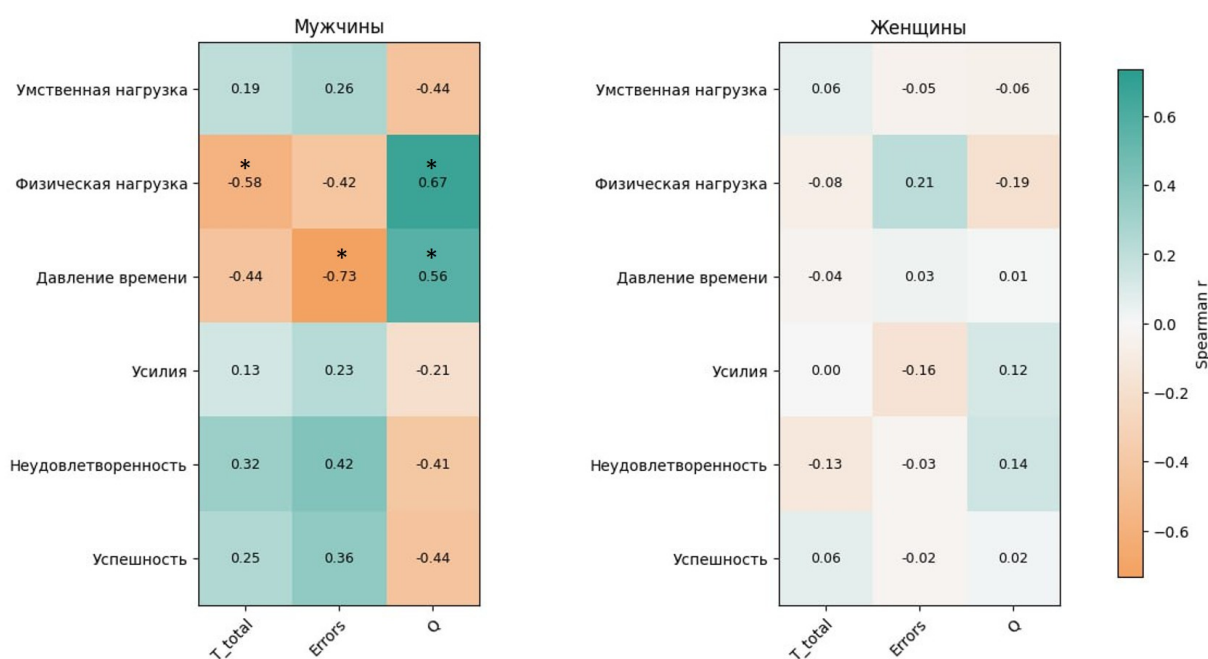


Рис. 8: Корреляции (Spearman) между шкалами NASA-TLX и объективными показателями управления (T_{total} , $Errors$, Q) отдельно у мужчин и женщин (18–35 лет). В ячейках указаны коэффициенты корреляции r ; статистически значимые связи ($p < 0,05$) обозначены *. Цвет отражает направление и силу связи (оранжевый – отрицательные значения, голубой – положительные).

Fig. 8: Spearman correlations between NASA-TLX scales and objective control indicators (T_{total} , $Errors$, Q) separately in men and women (aged 18–35 years). The cells contain the correlation coefficients r ; statistically significant relationships ($p < 0.05$) are marked with *. The colour reflects the direction and strength of the relationship (orange – negative values, blue – positive values)

У мужчин обнаружены статистически значимые корреляции между отдельными шкалами субъективной нагрузки и параметрами управления. Наиболее выраженная отрицательная связь выявлена между шкалой «Давление времени» и количеством ошибок ($r = -0,73$, $p < 0,05$). Также значимая отрицательная корреляция отмечена между «Физической нагрузкой» и T_{total} ($r = -0,58$, $p < 0,05$). Положительные связи средней силы наблюдались



между «Физической нагрузкой» и качеством управления Q ($r = 0,67$, $p < 0,05$), а также между «Давлением времени» и Q ($r = 0,56$, $p < 0,05$).

У женщин статистически значимых корреляций между субъективной нагрузкой и объективными показателями управления не выявлено ($p > 0,05$); корреляции носили слабый характер ($|r| < 0,25$).

Таким образом, ассоциации между субъективной и объективной эффективностью управления выражены преимущественно у мужчин, тогда как у женщин субъективная оценка нагрузки статистически не связана с параметрами выполнения задания.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

В настоящей работе представлены результаты пилотного исследования, направленного на изучение индивидуальных особенностей моторного контроля при использовании ПАК с ЭМГ обратной связью при управлении реальным физическим объектом на примере здоровых испытуемых с использованием объективных показателей результативности выполнения упражнений по данным видеоанализа и субъективной оценки нагрузки. На выборке, включающей 26 здоровых добровольцев в возрасте 18–35 лет, проведена комплексная оценка объективных показателей результативности управления и уровня субъективной психофизиологической нагрузки при выполнении разработанного протокола, включающего задания на управление устройством в двух направлениях (к себе и от себя) и двух поструральных положениях (сидя и стоя) по размеченной трассе.

Комплексная оценка объективных показателей выявила различия, связанные с полом испытуемых: в положении сидя у мужчин наблюдалась тенденция к сокращению времени выполнения упражнения и снижению частоты ошибок управления; в положении стоя эти различия между мужчинами и женщинами не наблюдались. При этом интегральный показатель качества управления (отношение продолжительности нахождения устройства в целевом коридоре к общему времени выполнения упражнения) характеризовался относительной устойчивостью: статистически значимых различий между группами по полу выявлено не было.

Профиль субъективной нагрузки участников исследования характеризовался наибольшей выраженностью компонента «Давление времени» при умеренных значениях умственной нагрузки и усилий и относительно низком уровне напряжения. При корреляционном анализе у мужчин выявлены статистически значимые связи между отдельными шкалами NASA-TLX и объективными показателями управления, тогда как у женщин значимых ассоциаций не обнаружено. Это указывает на различия в структуре взаимосвязей субъективного восприятия нагрузки и эффективности выполнения задания по управлению реальным устройством по ЭМГ в зависимости от пола.

Ограничения исследования

Исследование выполнено на выборке условно здоровых лиц 18–35 лет, что предполагает необходимость дальнейшей валидации полученных результатов в клинических популяциях. Субъективная нагрузка оценивалась суммарно без дифференциации по условиям выполнения задания, что ограничивает анализ влияния отдельных параметров задачи на восприятие нагрузки. Особую сложность представляет пока не автоматизированная



оценка результативности управления устройством по видеозаписи упражнений, которая замедляет процесс анализа.

Интерпретация результатов исследования

Принципиальной особенностью настоящего исследования, отличающей его от большинства работ в области ЭМГ-интерфейсов [24, 25, 26], является использование в качестве управляемого объекта не виртуальной модели на экране, а реального физического устройства – радиоуправляемой машинки, перемещающейся в пространстве.

В отличие от экранных задач, где обратная связь ограничена зрительным каналом, управление реальным объектом задействует также проприоцептивную и тактильную обратную связь, формируя замкнутый сенсомоторный контур, максимально приближенный к условиям естественной двигательной активности. Это предъявляет повышенные требования к точности и стабильности ЭМГ-сигнала, поскольку ошибки управления имеют не виртуальные, а физически наблюдаемые последствия. Дополнительным фактором, повышающим экологическую валидность работы, стало моделирование реальных задач: перемещение устройства относительно тела оператора в двух направлениях (от себя и к себе) выполнялось в разных постуральных условиях (сидя и стоя).

Анализ эффективности управления в данных условиях показал, что в положении сидя мужчины допускали меньше ошибок и выполняли задания быстрее по сравнению с женщинами. При переходе в положение стоя выявленные различия нивелировались, что указывает на влияние постурального контекста на реализацию моторных стратегий.

Полученные данные согласуются с результатами исследований, указывающих на наличие значительных половых различий в особенностях сенсомоторной регуляции, скорости и точности выполнения двигательных задач. Показано, что у мужчин и женщин различаются характеристики нейромышечного ответа, включая быстроту активации мышц и амплитудные параметры ЭМГ-сигнала, что может влиять на скорость и стабильность выполнения движения [17]. Кроме того, мужчины в среднем характеризуются более высокой скоростью нарастания мышечного усилия и большей скоростью развития силы, что имеет значение в задачах, требующих быстрого и точного отклика [18, 19].

Для достижения результата в задачах исследования испытуемому было необходимо добиваться одновременного согласованного сокращения мышц правого и левого предплечья для достижения равномерного прямолинейного движения устройства, что требовало высокой координации и точной регуляции активности антагонистических мышечных групп. В работе Casamento-Moran и соавт. [20] показано, что различия в пространственной точности движений у мужчин и женщин могут быть связаны со стратегией координации мышц-антагонистов и степенью их коактивации. Мужчины в среднем демонстрировали более стабильное выполнение позиционных задач, что ассоциировалось с меньшей степенью избыточной коактивации и, как следствие, меньшей вариабельностью движения.

Описанные в литературе различия в моторных стратегиях находят отражение и в настоящем исследовании: характерная для мужчин реактивная стратегия с быстрым откликом согласуется с более высокой скоростью выполнения заданий, тогда как свойственная женщинам осторожная, контролируемая стратегия проявлялась в увеличенном времени прохождения трассы как в положении сидя, так и стоя [21].

Кроме того, более предсказуемый контроль внешнего объекта с использованием ЭМГ-интерфейса у мужчин может быть связан с меньшей вариабельностью мышечной активации при повторяющихся моторных действиях [27].



Нивелирование различий в положении стоя может быть обусловлено увеличением постуральной нагрузки и перераспределением сенсомоторных ресурсов на поддержание равновесия. Вертикализация сопровождается дополнительной активацией стабилизирующих мышечных групп и увеличением variability мышечной активности, отражающей процессы постуральной регуляции [28, 29], что потенциально может снижать вклад тонких различий в стратегиях управления и сглаживать межполовые различия в показателях точности и скорости.

Отдельного анализа заслуживают выявленные различия в корреляциях между субъективной нагрузкой и объективными параметрами управления внешним объектом по ЭМГ у мужчин и женщин. В ряде исследований показана связь значений шкал NASA-TLX с точностью и скоростью выполнения задач при использовании миоэлектрических протезов и других ЭМГ-интерфейсов [30, 31].

Субъективное ощущение временного давления и физического усилия может отражать изменение стратегии моторного контроля и степень мобилизации функциональных ресурсов. Выявленные отрицательные корреляции между шкалой «Давление времени» и количеством ошибок, а также между шкалой «Физическая нагрузка» и временем выполнения задания у мужчин позволяют предположить, что при возрастании воспринимаемой нагрузки у них происходила более эффективная интеграция субъективной оценки ситуации в процесс управления, что сопровождалось повышением результативности.

Отсутствие аналогичных корреляций у женщин может свидетельствовать об иной структуре взаимосвязи между субъективной нагрузкой и объективной эффективностью моторного контроля. Подобные межполовые различия в структуре взаимосвязей между субъективными оценками нагрузки, показателями мышечной активации и производительностью обсуждаются в литературе [32], однако требуют дальнейшего изучения на больших смешанных выборках. Вероятно, у женщин субъективное восприятие нагрузки менее линейно связано с изменениями объективных параметров управления, что требует дальнейших исследований.

Таким образом, полученные результаты указывают на возможные половые особенности сенсомоторной адаптации при управлении ЭМГ-интерфейсом, проявляющиеся преимущественно в условиях сниженной постуральной нагрузки (положение сидя). При этом интерпретация данных требует осторожности с учётом объёма выборки и потенциального влияния дополнительных факторов (предшествующий опыт работы с техническими устройствами, уровень физической подготовки, мотивационные и когнитивные характеристики). С практической точки зрения результаты подчёркивают необходимость индивидуальной настройки параметров ЭМГ-интерфейса и персонализированного обучения управлению устройством в зависимости от пола пользователя.

Заключение

В реабилитационной практике доминируют ПАК с ЭМГ-обратной связью, реализованные в виртуальной среде или на экране монитора, однако перенос сформированных навыков на взаимодействие с реальными объектами остается нерешенной задачей. Настоящее исследование восполняет этот пробел, демонстрируя возможность эффективного управления реальным объектом (радиоуправляемой машинкой) на основе ЭМГ-сигналов. Установлено, что результативность такого управления зависит от индивидуальных особенностей пользователя и постуральных условий, причем характер этих зависимостей изменяется при переходе от положения сидя к положению стоя. Полученные данные мо-



гут служить основой для разработки методического обеспечения при внедрении ЭМГ-интерфейсов с управлением реальными объектами в практику двигательной реабилитации.

Список литературы / References

1. Johannsen G. Human-machine systems research for needs in industry and society. *IFAC Proceedings Volumes*. 2001;34(16), pp. 1-9. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)41493-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)41493-5)
2. Wucherer K. HMI, the window to the manufacturing and process industry. *IFAC Proceedings Volumes*, 2001, 34 (16), pp. 101–108. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)41508-4](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)41508-4)
3. Palermo E., Laut J., Nov O., Cappa P., Porfiri M. A natural user interface to integrate citizen science and physical exercise. *PLoS One*, 2017, 12 (2), e0172587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172587>
4. Pavón-Pulido N., López-Riquelme J.A., Feliú-Batlle J.J. IoT architecture for smart control of an exoskeleton robot in rehabilitation by using a natural user interface based on gestures. *Journal of Medical Systems*, 2020, 44 (9), 144. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01602-w>
5. Lacomis D. Electrodiagnostic approach to the patient with suspected myopathy. *Neurologic Clinics*, 2002, 20 (2), pp. 587–603. [https://doi.org/10.1016/s0733-8619\(01\)00013-5](https://doi.org/10.1016/s0733-8619(01)00013-5)
6. Agostini V., Ghislieri M., Rosati S., Balestra G., Knaflitz M. Surface electromyography applied to gait analysis: How to improve its impact in clinics? *Frontiers in Neurology*. 2020, 11, 994. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00994>
7. Jeong J.W., Yeo W.H., Akhtar A., Norton J.J., Kwack Y.J., et al. Materials and optimized designs for human-machine interfaces via epidermal electronics. *Advanced Materials*, 2013, 25 (47), pp. 6839–6846. <https://doi.org/10.1002/adma.201301921>
8. Lee S., Yoon J., Lee D., Seong D., Lee S., et al. Wireless epidermal electromyogram sensing system. *Electronics*, 2020, 9 (2), 269. <https://doi.org/10.3390/electronics9020269>
9. Yassin M.M., Saad M.N., Khalifa A.M., Said A.M. Advancing clinical understanding of surface electromyography biofeedback: bridging research, teaching, and commercial applications. *Expert Review of Medical Devices*, 2024, 21 (8), pp. 709–726. <https://doi.org/10.1080/17434440.2024.2376699>
10. Spencer J., Wolf S.L., Kesar T.M. Biofeedback for post-stroke gait retraining: A review of current evidence and future research directions in the context of emerging technologies. *Frontiers in Neurology*, 2021, 12, 637199. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.637199>
11. Ястребцева И.П., Манукян К.А., Шумарина Е.Л., Белова В.В. Результативность тренинга ходьбы у пациентов с центральным гемипарезом // Российский неврологический журнал. 2024. Т. 29, № 6. С. 44–50.
Yastrebtseva I.P., Manukyan K.A., Shumarina E.L., Belova V.V. Effectiveness of gait training in patients with central hemiparesis. *Russian Neurological Journal*, 2024, 29 (6), pp. 44–50. (in Russ.) <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2024-29-6-44-50>
12. Mahnik S., Aljinović A., Mahnik A., Hrbač P., Žabčić M., Bojanić I. Electromyographic biofeedback or neuromuscular electrical stimulation added to isometric quadriceps exercise does not improve pain and functional outcomes in knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *International Journal of Rehabilitation Research*, 2026, 49 (1), pp. 3–10. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000689>
13. Потешкин А.В., Таламова И.Г. Некоторые аспекты методики проведения сеансов ЭМГ-биоуправления при детском церебральном параличе // Современные вопросы биомедицины. 2018. Т. 2, № 1. С. 84–92. <https://svbskfmba.ru/images/journals/2018-1/2018-1.pdf#page=84>
Poteshkin A.V., Talamova I.G. Some aspects of the methodology of EMG biofeedback sessions in children with cerebral palsy. *Modern Issues of Biomedicine*, 2018, 2 (1), pp. 84–92. (in Russ.)
14. Ando T., Matsui K., Okamoto Y., Atsumi K., Taniguchi K., et al. Physio-avatar EB: aftereffects in error learning with EMG manipulation of first-person avatar experience. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2024, 12, 1421765. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1421765>
15. Dupan S., Stuttaford S., Dyson M. Successful transfer of myoelectric skill from virtual interface to prosthesis control. *Journal of Neural Engineering*, 2025, 22 (6), 066034. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ae2803>



16. Галушка Е.С., Муртазина Е.П., Перцов С.С. Сравнительный анализ электромиографических показателей испытуемых при сенсомоторных тренировках в различных социальных условиях деятельности в диадах // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2025. Т. 111, № 6. С. 912–928.
Galushka E.S., Murtazina E.P., Pertsov S.S. Comparative analysis of electromyographic parameters of subjects during sensorimotor training in different social conditions of activity in dyads. *Russian Journal of Physiology (Sechenov)*, 2025, 111 (6), pp. 912–928. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869813925060065>
17. Chappell J.D., Yu B., Kirkendall D.T., Garrett W.E. A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *American Journal of Sports Medicine*, 2002, 30 (2), pp. 261–267. <https://doi.org/10.1177/03635465020300021701>
18. Hunter S.K. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiologica*, 2014, 210 (4), pp. 768–789. <https://doi.org/10.1111/apha.12234>
19. Hunter S.K., Senefeld J.W. Sex differences in human performance. *Journal of Physiology*, 2024, 602 (17), pp. 4129–4156. <https://doi.org/10.1113/JP284198>
20. Casamento-Moran A., Hunter S.K., Chen Y.T., Kwon M.H., Fox E.J., et al. Sex differences in spatial accuracy relate to the neural activation of antagonistic muscles in young adults. *Experimental Brain Research*, 2017, 235 (8), pp. 2425–2436. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-4968-6>
21. Bianco V., Berchicci M., Quinzi F., Perri R.L., Spinelli D., Di Russo F. Females are more proactive, males are more reactive: neural basis of the gender-related speed/accuracy trade-off in visuo-motor tasks. *Brain Structure and Function*, 2020, 225 (1), pp. 187–201. <https://doi.org/10.1007/s00429-019-01998-3>
22. Рыбина Е.П., Ангельгардт А.Н., Березнер Т.А., Расторгуева А.И., Сломинская С.П. Опросник NASA-TLX для измерения когнитивной нагрузки: адаптация на русскоязычной выборке. В кн.: Психология познания: сборник материалов Всероссийской научной конференции памяти Дж. С. Брунера. Ярославль: Филигрань, 2023. С. 269–273. URL: <https://publications.hse.ru/chapters/823749333?ysclid=mu8w14qf3s64169626>
- Rybina E.P., Angelgardt A.N., Berezner T.A., Rastorgueva A.I., Slominskaya S.P. NASA-TLX questionnaire for measuring cognitive workload: adaptation in a Russian-speaking sample. In: *Psychology of Cognition: Collection of materials of the All-Russian Scientific Conference in memory of J. S. Bruner*. Yaroslavl: Filigran', 2023, pp. 269–273. (in Russ.)
23. Бабанов Н. Д., Волков М. В., Ковалева А. В., Крикленко Е. А. Мобильное приложение для регистрации физиологических сигналов и управления внешними объектами MioKit : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681406. 2024. URL: https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2024681406&TypeFile=html
- Babanov N. D., Volkov M. V., Kovaleva A. V., Kriklenko E. A. Mobile application for registration of physiological signals and control of external objects MioKit : certificate of state registration of a computer program No. 2024681406. 2024. (in Russ.)
24. White M.M., Morejon O.N., Liu S., Lau M.Y., Nam C.S., Kaber D.B. Muscle loading in exoskeletal orthotic use in an activity of daily living. *Applied Ergonomics*, 2017, 58, pp. 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.06.010>
25. Castañeda T.S., Connan M., Capsi-Morales P., Beckerle P., Castellini C., Piazza C. Experimental evaluation of the impact of sEMG interfaces in enhancing embodiment of virtual myoelectric prostheses. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2024, 21 (1), 57. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01352-7>
26. Liu X., Dai C., Liu J., Yuan Y. Effects of exercise on the inter-session accuracy of sEMG-based hand gesture recognition. *Bioengineering*, 2024, 11 (8), 811. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11080811>
27. Luger T., Seibt R., Rieger M.A., Steinhilber B. Sex differences in muscle activity and motor variability in response to a non-fatiguing repetitive screwing task. *Biology of Sex Differences*, 2020, 11 (1), 6. <https://doi.org/10.1186/s13293-020-0282-2>
28. Danna-Dos-Santos A., Slomka K., Zatsiorsky V.M., Latash M.L. Muscle modes and synergies during voluntary body sway. *Experimental Brain Research*, 2007, 179 (4), pp. 533–550. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0812-0>
29. Kovaleva A.V., Biryukova E.A., Kubryak O.V. Postural control ability and autonomic and central nervous system parameters in healthy volunteers. *International Journal of Psychophysiology*, 2018, 131 (S), S47. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.07.143>



30. Mohamed M.O., Wood G., Wright D.J., Parr J.V.V. Reducing grip uncertainty during initial prosthetic hand use improves eye-hand coordination and lowers mental workload. *Journal of Motor Behavior*, 2024, 56 (4), pp. 475–485. <https://doi.org/10.1080/00222895.2024.2328297>
31. Williams H.E., Shehata A.W., Cheng K.Y., Hebert J.S., Pilarski P.M. A multifaceted suite of metrics for comparative myoelectric prosthesis controller research. *PLoS One*, 2024, 19 (5), e0291279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291279>
32. Gjoreski M. et al. Gender differences in physiological and subjective responses to mental workload. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2020, 24 (7), pp. 1965–1973. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2019.2953983>

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи. / The authors declare that they have no relationships, activities or interests over the past three years related to third parties (commercial or non-commercial) whose interests could be affected by the content of the article.

Благодарности / Acknowledgements

Авторы выражают искреннюю благодарность А. А. Крикленко за помощь в видео-анализе данных. / The authors sincerely thank A. A. Kriklenko for assistance with video data analysis.

Этическая экспертиза и согласие на публикацию / Ethics approval and consent for publication

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (протокол ЛЭК № 7 от 06.03.2026); все участники подписали информированное добровольное согласие до включения в исследование. Перед проведением исследования от каждого участника было получено добровольное письменное согласие, включающее разрешение на обработку персональных данных, фото- и видеосъемку процедуры, а также на воспроизведение полученных материалов в открытой научной печати. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации) и согласились нести ответственность за все аспекты работы. / The study was approved by the Local Ethics Committee of the FSBSI “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies” (protocol No. 7 of March 6, 2026); all participants signed informed voluntary consent prior to enrollment. Before the study, written informed consent was obtained from each participant, covering personal data processing, photo/video recording of the procedure and reproduction of the materials in open scientific press. All authors approved the manuscript for publication and agreed to be accountable for all aspects of the work.



Информация об авторах / Information about the authors

Крикленко Елена Александровна – лаборатория реабилитационной и спортивной психофизиологии, ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (125315, Российская Федерация, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8) / *Elena A. Kriklenko* – Laboratory of Rehabilitation and Sports Psychophysiology, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies” (8 Baltiyskaya str., Moscow, 125315, Russian Federation); *kriklenko_ea@academpharm.ru*; ORCID: 0000-0002-9856-5426.

Ковалева Анастасия Владимировна – кандидат биологических наук, лаборатория реабилитационной и спортивной психофизиологии, ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (125315, Российская Федерация, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8) / *Anastasia V. Kovaleva* – Cand. Sci. (Biol.), Laboratory of Rehabilitation and Sports Psychophysiology, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies” (8 Baltiyskaya str., Moscow, 125315, Russian Federation); *kovaleva_av@academpharm.ru*; ORCID: 0000-0001-7377-3408.

Панова Елена Николаевна – лаборатория реабилитационной и спортивной психофизиологии, ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий» (125315, Российская Федерация, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8) / *Elena N. Panova* – Laboratory of Rehabilitation and Sports Psychophysiology, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies” (8 Baltiyskaya str., Moscow, 125315, Russian Federation); *panova_en@academpharm.ru*; ORCID: 0000-0002-8449-716X.

Вклад авторов / Contribution of the authors

Крикленко Е.А. (Kriklenko E.A.) – исследование: концепция и организация; методология; проведение исследования; сбор данных; статистическая обработка; написание черновика рукописи; научная редакция. / Investigation: conceptualization and administration; methodology; conducting the study; data collection; statistical analysis; draft writing; scientific editing.

Ковалева А.В. (Kovaleva A.V.) – концепция и дизайн исследования (концептуализация); методология; научное руководство; проверка и редактирование рукописи. / Conceptualization; methodology; supervision; reviewing and editing of the manuscript.

Панова Е.Н. (Panova E.N.) – проведение исследования; сбор материала и анализ данных; проверка результатов. / Conducting the study; material collection and data analysis; results validation.

Цитирование / Citation

Крикленко Е.А., Ковалева А.В., Панова Е.Н. Индивидуальные особенности моторного контроля при использовании программно-аппаратного комплекса с электромиографической обратной связью в задачах управления реальным объектом // Российский журнал информационных технологий в спорте. 2026. Т. 3, № 3. e202614. <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202614> EDN MSQEST



Kriklenko E.A., Kovaleva A.V., Panova E.N. Individual patterns of motor control in real-object control using a system with electromyographic biofeedback. *Russian Journal of Information Technology in Sports*, 2026, 3(3), e202614. (in Russ.) <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202614> EDN MSQEST

Получено/Received: 28.08.2026

Одобрено/Accepted: 18.09.2026

Опубликовано/Published: 20.09.2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International

