

DOI: 10.7868/S2658655X26060055  
УДК 612.822

Экспериментальная статья

## **Стабилометрические характеристики человека при мысленном совершении метафорических и моторных действий**

**В.А. Галкин<sup>1,\*</sup>, М.А. Лебедев<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация  
\*E-mail: 30galkin98@gmail.com*

*Аннотация.* Воображение движений широко изучается, в том числе при помощи методов исследования пострурального контроля. В то же время при большом количестве исследований, посвященных мысленному совершению моторных действий и восприятию метафор, не было прямого сравнения мысленного совершения моторных и метафорических действий. Целью данного исследования было сравнить стабилометрические характеристики испытуемых при мысленном совершении моторных и метафорических действий. В исследовании приняли участие 36 здоровых испытуемых (18–30 лет). Задачей испытуемых было, стоя на стабилотренажере, мысленно совершать предъявляемые им действия. Измерялись абсолютные и относительные (по отношению к фоновой записи с открытыми глазами) значения таких характеристик, как длина траектории центра давления, скорость смещения центра давления и площадь стадиокинезиограммы. Сравнение абсолютных и относительных показателей не выявило статистически значимых различий, что могло объясняться неоднородностью общей группы. На основе кластерного анализа методом Варда было выявлено две группы, условно названные «моторной» (25 человек, 69,4%) и «метафорической» (11 человек, 30,6%). Обе группы характеризовались эффектом дестабилизации позы при мысленном совершении моторных действий по сравнению с фоновым состоянием и увеличением значений стабилометрических характеристик к концу исследования по сравнению с началом. «Моторная» группа характеризовалась большим значением абсолютных и относительных характеристик при мысленном совершении моторных действий и наличием эффекта дестабилизации при мысленном совершении моторных действий. «Метафорическая» группа характеризовалась большим значением абсолютных и относительных характеристик при мысленном совершении метафорических действий и наличием эффекта дестабилизации при мысленном совершении метафорических действий. «Метафорическая» группа по сравнению с «моторной» показала большее увеличение значений стабилометрических характеристик со временем. По результатам исследования можно сделать предположение о возможном преобладании визуального воображения при мысленном совершении метафорических действий в «моторной» группе и о большем влиянии

когнитивной составляющей воображения при мысленном совершении метафорических действий в «метафорической» группе.

*Ключевые слова:* стабилметрия, воображение моторных действий, воображение метафорических действий

*Финансирование.* Публикация подготовлена в рамках гранта Программы «Мозг» АНО «Идея» и в рамках Гос. задания № 075-00264-246-00.

*Соблюдение этических стандартов.* Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие. Исследование одобрено этическим комитетом Института эволюционной физиологии и биохимии (протокол № 01-12 от 19 декабря 2025 г.).

*Конфликт интересов.* Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

*Вклад авторов в публикацию.* ГВА, ЛМА – идея работы и планирование эксперимента; ГВА – сбор и обработка данных; ГВА, ЛМА – написание и редактирование манускрипта .

*Благодарности.* Авторы благодарят участников исследования, сотрудников лаборатории сравнительной сенсорной физиологии Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН и Андрееву Ирину Германовну за предоставленное помещение, оборудование и помощь в подготовке установки. Благодарим Шемякину Наталью Вячеславовну и Нагорнову Жанну Владимировну за помощь в подготовке протокола эксперимента и помощь в работе над рукописью.

*Ссылка для цитирования:* Галкин В.А., Лебедев М.А. Стабилметрические характеристики человека при мысленном совершении метафорических и моторных действий. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова / Russian Journal of Physiology.* 2026. Т. 112. № 6. С. 1461–1490.  
<https://doi.org/10.7868/S2658655X26060055>

## The Stabilometric Characteristics during the Mental Performance of Metaphorical and Motor Actions

V.A. Galkin<sup>1,\*</sup>, M.A. Lebedev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, RAS,  
Saint Petersburg, Russian Federation*

*\*E-mail: 30galkin98@gmail.com*

**Abstract.** Motor imagery is widely studied, including using postural control methods. However, despite a large number of studies devoted to mental performance of motor actions and metaphor comprehension, no direct comparison has been made between mental performance of motor and metaphorical actions. The aim of this study was to compare stabilometric characteristics of subjects during mental performance of motor and metaphorical actions. The study involved 36 healthy subjects (18–30 years old). The subjects' task was to mentally perform presented actions while standing on a stabilotrainer. Absolute and relative (relative to baseline recording with eyes open) values of parameters such as center of pressure trajectory length, center of pressure displacement velocity, and statokinesiogram area were measured. Comparison of absolute and relative parameters revealed no statistically significant differences, which could be explained by the heterogeneity of the overall group. Using Ward's cluster analysis, two groups were identified, conditionally named "motor" (25 subjects, 69.4%) and "metaphorical" (11 subjects, 30.6%). Both groups were characterized by a postural destabilization effect during mental performance of motor actions compared to baseline, and by an increase in stabilometric parameter values toward the end of the study compared to the beginning. The "motor" group was characterized by larger absolute and relative parameter values during mental performance of motor actions and the presence of a destabilization effect during mental performance of motor actions. The "metaphorical" group was characterized by larger absolute and relative parameter values during mental performance of metaphorical actions and the presence of a destabilization effect during mental performance of metaphorical actions. Compared to the "motor" group, the "metaphorical" group showed a greater increase in stabilometric parameter values over time. Based on the results of the study, it can be hypothesized that visual imagery may predominate during mental performance of metaphorical actions in the "motor" group, and that the cognitive component of imagery has a greater influence during mental performance of metaphorical actions in the "metaphorical" group.

**Keywords:** stabilometry, imagination of movements, metaphorical action imagery

**Funding.** This publication was prepared within the framework of the grant from the "Brain" Program of the Autonomous Non-Profit Organization "Idea" and within the framework of State Assignment No. 075-00264-246-00.

*Ethics declarations.* All procedures performed in studies involving human participants comply with the ethical standards of the national research ethics committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Informed voluntary agreement was obtained from each participant included in the study. The study was approved by the Ethics Committee of the Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry (Protocol No. 01-12 of December 19, 2025).

*Conflict of interests.* The authors declare no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Authors contribution.* GVA, LMA – conceptualization and experimental design; GVA – data collecting; GVA – data processing; GVA, LMA – writing and editing of the manuscript.

*Acknowledgements.* The authors thank the study participants, the staff of the Laboratory of Comparative Sensory Physiology at the Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, and I.G. Andreeva for providing the premises, equipment, and assistance in setting up the experimental apparatus. They also thank PhD N.V. Shemyakina and Zh.V. Nagornova for their assistance in developing the experimental protocol and their help in working on the manuscript.

*For Citation:* Galkin V.A., Lebedev M.A. The stabilometric characteristics during the mental performance of metaphorical and motor actions. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova / Russian Journal of Physiology*. 2026;112(6):1461–1490. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S2658655X26060055>

## ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривалась гипотеза о различиях в реакциях постурального контроля у человека при мысленном совершении моторных и метафорических действий. Постуральный контроль определяется как формирование конфигурации тела и ее поддержание, в том числе в гравитационном поле [1]. Стоит отметить, что постуральный контроль и изменение позы могут быть как произвольными, так и непроизвольными. При этом произвольное изменение позы будет связано с кортикальным уровнем построения движения, а непроизвольное с пирамидно-стриарным уровнем (уровни С и D по [2]). Известно, что постуральный ответ может наблюдаться в ситуациях, когда человек лишь воображает / мысленно совершает моторное действие [3]. Известно, что воображение движений активирует те же нейронные сети, что и реальное выполнение движений [4], и, как правило, включает премоторные [5], моторные [6], теменные [7] и лобные области коры [8], а также мозжечок и базальные ганглии [9]. В ситуации инструкции «воображать движения» человек может делать это кинестетически, то есть представляя ощущения от движения мышц и суставов (и тогда происходит активация сенсомоторной коры и проприоцептивных путей), или визуально, как бы со стороны, – и тогда происходит в большей степени активация зрительных областей коры [10].

В нашем случае исследования сконцентрированы на использовании кинестетического моторного воображения и воображения действий, имеющих переносный смысл (метафорический). Воображение действий в ответ на словосочетание, имеющее

метафорический смысл в большей степени, может включать визуализацию самого себя и совершаемых действий как со стороны, так и «от первого лица».

Реакции постурального контроля при моторном воображении изучаются как у здоровых испытуемых [11], так и у пациентов с нейродегенеративными заболеваниями [12, 13]. В том числе такие исследования проводятся и при помощи стабилметрических методов [14]. Также моторное воображение часто используется в качестве способа управления интерфейсом мозг–компьютер (ИМК), в частности при помощи ЭЭГ [15]. Таким образом, одним из видов ИМК может быть гибридный ИМК, основанный на моторном воображении, в контуре которого использован сигнал от ЭЭГ, и стабилметрических или иных данных постурального контроля.

В то же время постуральный контроль и постуральный ответ при воображении метафор не изучен, что вкупе с данными о вовлеченности сенсомоторной коры в процесс обработки метафор [16] говорит о целесообразности сравнения моторного и метафорического воображения с точки зрения характеристик постурального контроля.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Испытуемые.* В исследовании приняли участие 36 здоровых испытуемых (14 мужчин, 22 женщины; 18–30 лет), без задокументированных нарушений работы опорно-двигательного аппарата. У всех испытуемых ведущей являлась правая нога согласно опроснику Oldfield [17]. В этом опроснике испытуемый отвечал на вопросы о преимущественном использовании им/ею правой/левой руки или ноги и т. д. при совершении какого-либо действия (например, удар по мячу). На основании ответов испытуемых вычисляется коэффициент преимущественного использования – ведущей левой или правой конечности.

*Задания.* У испытуемых проводилась регистрация фоновых состояний по 3 мин каждое (неподвижное стояние с открытыми и закрытыми глазами) на стабиллоплатформе и выполнение заданий на мысленное совершение действий (длительностью 8,5 мин с паузой не менее 2 мин в середине задания). При выполнении заданий с открытыми глазами взгляд испытуемых фиксировался на точку на мониторе компьютера, расположенного на уровне глаз.

*Процедура исследования.* Испытуемые стояли на стабилметрической платформе в центре звукоизолированной, безэховой комнаты, на расстоянии в 1,5 м от монитора, установленного на стойке на уровне глаз. Испытуемые стояли на стабиллоплатформе в позе «пятки вместе, носки врозь», что соответствовало европейской постановке стоп [18, 19], на комфортной для себя ширине, то есть не обязательно совмещали пятки, если такое положение вызывало дискомфорт.

*Стимулы.* Словосочетания «инфинитив глагола действия + существительное» (полужирное начертание, Times New Roman, 48 кегль) предъявлялись на мониторе (61 × 35,5 см, диагональ 70 см), находящемся на расстоянии 1,5 м от испытуемого и зафиксированном на стойке на уровне глаз. Угловые размеры текста стимулов в среднем составляли 2°40' по горизонтали и 1°8' по вертикали.

Задача испытуемых после предъявления стимулов состояла в мысленном совершении метафорических или моторных действий (испытуемые были проинструктированы не просто представлять, как они совершают то или иное действия, а стараться представить мышечные ощущения при его совершении). В качестве стимулов использовались словосочетания, обозначающие метафорические и моторные действия, основанные на одних и тех же глаголах (пример: поднять вопрос – метафорическое действие, поднять руку – моторное). Всего использовали по 50 словосочетаний

на каждый тип действия (примеры стимулов приводятся в Приложении 1), сформированные при использовании различных глаголов действия.

Задание на воображение действий было представлено в виде последовательности 5-секундных проб. Внутри каждой пробы осуществлялось текстовое предъявление стимула (пример: «встать на защиту» – метафорическое; «встать на стул» – моторное) на 300 мс от начала пробы с временем экспозиции 1000 мс (схема единичной пробы представлена на рис. 1), в моменты отсутствия текста на экране предъявлялась точка для фиксации взгляда. Общая длительность задания составляла около 8,5 мин. В середине исследования (через 4,5 мин от начала выполнения заданий) или по запросу испытуемым предоставлялась пауза/отдых длительностью от 2 мин. При повторном вставании на платформу (после паузы или перерыва между фоновыми записями и исследованием) испытуемый должен был встать в ту же позу, что и до этого (исследователь отслеживал правильность возвращения в первоначальную позу).

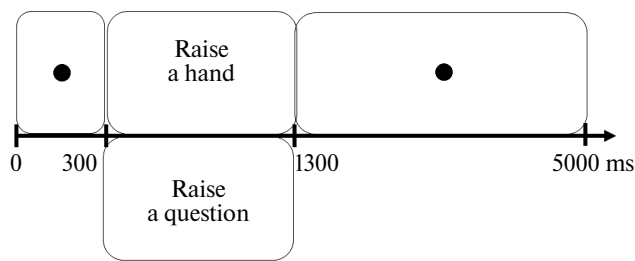


Рис. 1. Схема единичной пробы

Fig. 1. The scheme of a single trial

**Регистрация стабилметрических данных.** Регистрация стабилметрических данных осуществлялась при помощи стабилотренажера Стабилан-01-2 (частота дискретизации – 50 Гц), исполнение 12 (ОКБ «Ритм», Таганрог, Россия). В программе Stabmed (ПО для Стабилан-01-2) определялись стабилографические параметры колебаний центра давления (ЦД) тела за период времени, соответствующий одной пробе длительностью 5 с: длина траектории ЦД (общая, вдоль фронтальной и сагиттальной осей, далее  $L$ ,  $L_x$  и  $L_y$  соответственно); средняя линейная скорость перемещения ЦД (общая, вдоль фронтальной и сагиттальной осей далее  $V$ ,  $V_x$  и  $V_y$  соответственно); площадь статокинезиограммы (далее  $S$ ). Использование данного оборудования приводится в работах коллег [18, 19].

**Самоотчеты испытуемых.** После исследования испытуемые давали самоотчет, включающий следующие вопросы: «Оцените сложность мысленного совершения действий от 1 (очень легко) до 10 (очень сложно)», «Оцените сложность мысленного совершения моторных действий от 1 (очень легко) до 10 (очень сложно)», «Оцените сложность мысленного совершения метафорических действий от 1 (очень легко) до 10 (очень сложно)», «Удавалось ли вам представить мышечные ощущения при мысленном совершении моторных действий?», «Что вы представляли/воображали при мысленном совершении метафорических действий?», «Удавалось ли вам представить мышечные ощущения при мысленном совершении метафорических действий?».

*Анализ данных.* При выполнении задания на мысленное совершение действий для каждого испытуемого рассчитывались абсолютные и относительные значения длины траектории ЦД (общей, по фронтальной и сагиттальной осям), средней скорости перемещения ЦД (общей, вдоль фронтальной и сагиттальной осей), площади эллипса, для каждой пробы (длительностью 5 с) во время выполнения тестовых заданий – мысленного совершения метафорических и моторных действий. Вычислялись медианные значения каждого параметра для каждого типа проб.

Для вычисления относительных значений стабилOMETрических показателей в задании на мысленное совершение моторных и метафорических действий вычисляли медианные значения стабилOMETрических показателей фоновых записей с открытыми глазами (до и после выполнения задания на мысленное совершение действий), на которые делились абсолютные значения заданий. Фоновые записи 3 испытуемых были исключены из анализа относительных показателей в связи с программной ошибкой. Так как задание на мысленное совершение действий имело структуру из 5-секундных проб, фоновые записи статокинезиограммы также разбивались на пятисекундные интервалы, для которых вычислялись вышеуказанные показатели.

Для оценки влияния утомления на значения стабилOMETрических показателей было проведено дополнительное сравнение первых и последних 20 проб выполнения задания на мысленное представление действий (безотносительно к типу действия).

*Разделение на группы.* Разделение испытуемых на группы проводилось на основе рассчитанных нормализованных  $(-1; 1)$  разниц медианных значений четырех параметров (длина траектории ЦД по фронтальной и сагиттальной осям, общая линейная средняя скорость перемещения и площадь статокинезиограммы) в условиях мысленного совершения моторных и метафорических действий, методом иерархической кластеризации Ward [20]. Этот метод позволяет разделить общую выборку на группы без предварительного разделения по числу групп. Использовались Евклидовы расстояния (геометрические расстояния в многомерном пространстве, рассчитанные по формуле  $d(x,y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2}$ ), для вычисления дисперсии и объединения в кластеры с минимальной внутриклассовой дисперсией (анализ был выполнен в Statistica 10). Мы использовали значение, равное половине общего Евклидова расстояния, для определения числа кластеров (аналогично [21, 22]).

*Статистический анализ.* Нормальность распределений значений стабилOMETрических характеристик проверялась по критерию Шапиро–Уилка. Распределения не являлись нормальными, в связи с чем были применены непараметрические методы анализа, далее данные представлены медианами и верхними/нижними квартилями. Различия между состояниями определялись по непараметрическому парному тесту Вилкоксона, между группами при помощи непараметрического U-теста Манна–Уитни. Статистический анализ выполнялся в программном пакете Statistica 10.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Результаты самоотчетов.* Сложность мысленного совершения действий (без учета типа действия – моторного/метафорического), согласно самоотчетам испытуемых, составила 5,6 (верхний – 4,3, нижний – 6,5 квартили) из 10. При этом сложность мысленного совершения моторных действий – 5,2 (3,7; 6,2) из 10; сложность мысленного совершения метафорических действий – 5,9 (4,8; 7,3) из 10. Таким образом, сложность задачи мысленно совершать метафорические действия

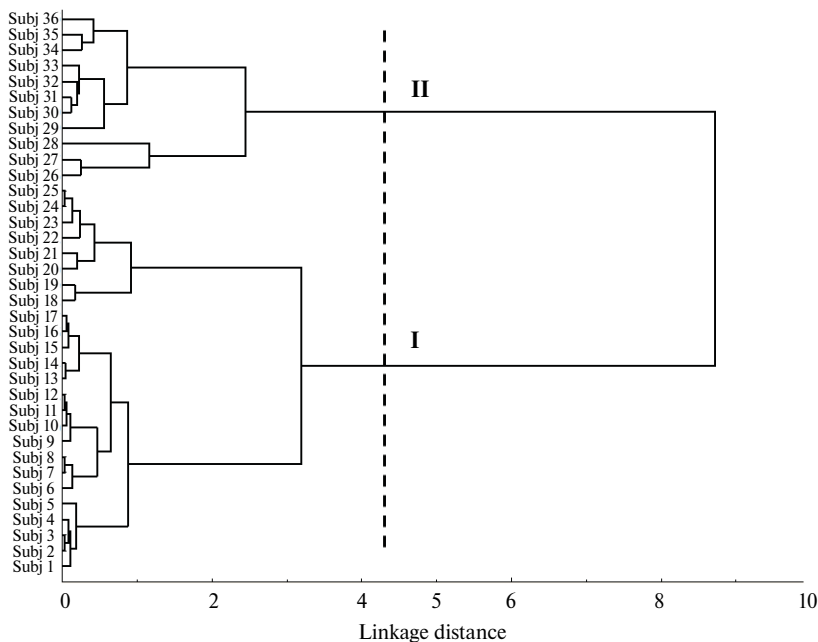
была достоверно больше, чем при мысленном выполнении моторного действия ( $Z = 2,93$ ;  $p < 0,005$ ; непараметрический парный тест Вилкоксона).

Вместе с тем все испытуемые сообщали что: 1) им удалось представить мышечные ощущения при мысленном совершении моторных действий; 2) при мысленном совершении метафорических действий старались представлять/вообразать ситуацию, в которой подобное действие могло быть ими совершено, и мышечные ощущения, которые бы возникали при выполнении этого действия.

### *Сравнение стабилметрических показателей при мысленном совершении моторных и метафорических действий*

*Анализ абсолютных и относительных значений в общей группе испытуемых.* При сравнении абсолютных и относительных значений стабилметрических характеристик в общей группе испытуемых при мысленном совершении моторных против метафорических действий статистически значимых различий обнаружено не было.

Вместе с тем при кластеризации методом Ward по абсолютным значениям (рис. 2) испытуемые образуют две группы: первая имела большие абсолютные значения показателей при мысленном совершении моторных действий vs метафорических



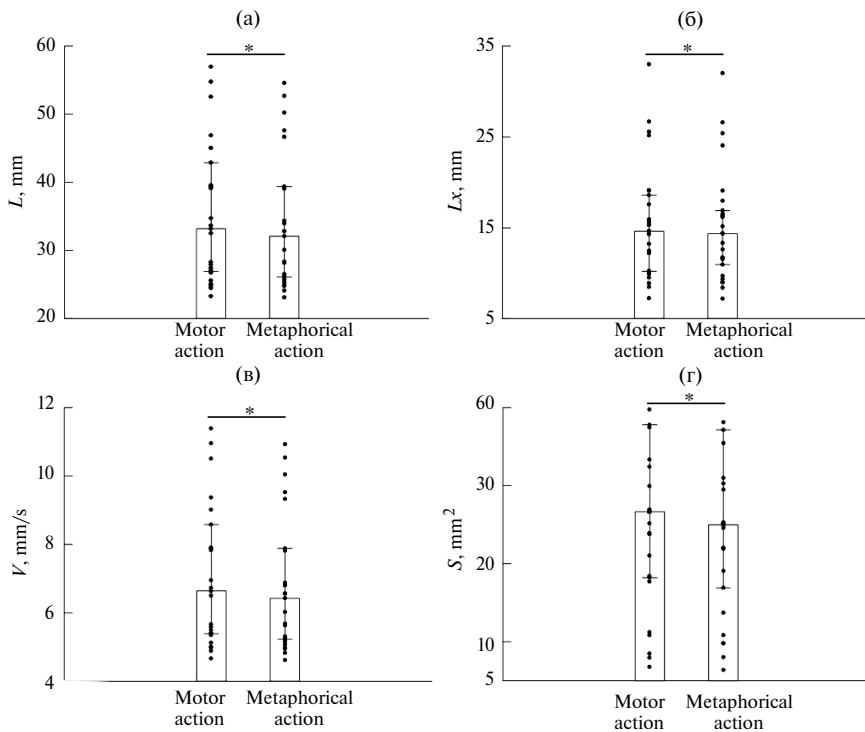
**Рис. 2.** Разделение общей группы на кластеры по абсолютным значениям характеристик по методу Ward. I, II – кластеры, полученные по стабилметрическим данным. По оси абсцисс указано Евклидово расстояние, по оси ординат каждое значение соответствует одному испытуемому. Штриховой линией указано расстояние, применявшееся для разделения на кластеры

**Fig. 2.** Division of the overall group into clusters based on the absolute values of characteristics using Ward's method. I, II – clusters obtained from stabilometric data. The Euclidean distance is indicated on the abscissa axis. Each value on the ordinate axis corresponds to one subject. The dashed line indicates the distance used to divide into clusters

(«моторная» группа), вторая — при мысленном совершении метафорических действий vs моторных («метафорическая» группа). При кластеризации относительных значений стабилметрических показателей разделение на группы и принадлежность испытуемых к кластерам/группам сохранились. При анализе относительных значений медиана всех показателей в общей группе была больше единицы, то есть при выполнении заданий стабилметрические показатели были выше, чем в фоновом состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами.

### «Моторная» группа

*Анализ абсолютных значений.* В данной группе ( $n = 25$ ) стабилметрические характеристики имели большие абсолютные значения при мысленном совершении моторных действий в сравнении с метафорическими (рис. 3).



**Рис. 3.** Медианные значения (столбец) и верхний и нижний квартили (линии) стабилметрических характеристик в «моторной» группе. Подписи под столбцами обозначают тип мысленного действия. Точками представлены индивидуальные значения. (а) — общая длина траектории ЦД; (б) — длина траектории ЦД по фронтальной оси; (в) — средняя скорость перемещения ЦД; (г) — площадь статокинезиограммы. \* —  $p < 0,05$  (непараметрический парный тест Вилкоксона)

**Fig. 3.** Median values (column) and upper and lower quartiles (lines) of stabilometric characteristics in the “motor” group. Labels under the columns indicate the type of mental action. Individual values are represented by dots. (a) — total length of center of pressure path; (б) — length of the CoP’s path along the frontal axis; (в) — average speed of center of pressure displacement; (г) — area of the statokinesiogram. \* —  $p < 0.05$  (Wilcoxon nonparametric paired test)

В табл. 1 приводятся числовые абсолютные значения всех рассчитанных стабилметрических характеристик для «моторной» группы.

**Таблица 1.** Медианные значения и верхний/нижний квартиль абсолютных значений стабилметрических характеристик для «моторной» группы

**Table 1.** Median values and upper/lower quartiles of absolute stabilometric characteristics for the “motor” group

Показатель	Моторное мысленно совершаемое действие	Метафорическое мысленно совершаемое действие	$Z; p <$
$L$ , мм	33,2 [26,95; 42,9]	32,1 [26,13; 39,4]	2,2; 0,05
$L_x$ , мм	14,65 [10,23; 14,65]	14,35 [10,96; 16,9]	2,2; 0,05
$L_y$ , мм	24,5 [21,7; 32,9]	24,9 [21,7; 31,4]	n.s.
$V$ , мм/с	6,64 [5,39; 8,58]	6,42 [5,23; 7,88]	2,3; 0,05
$V_x$ , мм/с	2,9 [2; 3,8]	1,9 [2,16; 3,4]	n.s.
$V_y$ , мм/с	4,9 [4,3; 6,6]	5,05 [4,35; 6,45]	n.s.
$S$ , мм <sup>2</sup>	26,65 [18,2; 37,8]	25 [16,9; 37,15]	2,2; 0,05

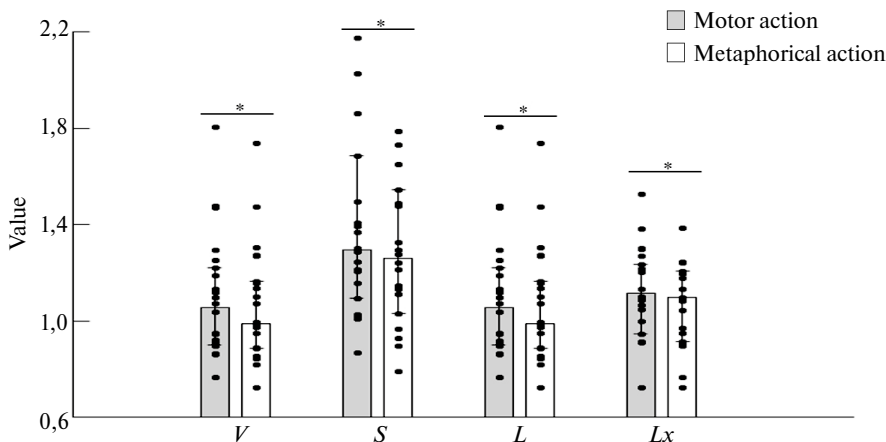
*Примечание:* представлены значения медиан (25-й квартиль – 75-й квартиль) абсолютных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $L_x$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $L_y$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $V_x$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $V_y$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* values are presented as median (25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile) for the following parameters:  $L$  – total center of pressure (CoP) path length;  $L_x$  – CoP path length along the frontal axis;  $L_y$  – CoP path length along the sagittal axis;  $V$  – overall average linear velocity;  $V_x$  – average linear velocity along the frontal axis;  $V_y$  – average linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

*Анализ относительных значений.* В «моторной» группе ( $n = 23$ ) стабилметрические характеристики имели большие относительные значения при мысленном совершении моторных действий в сравнении с метафорическими (рис. 4).

В табл. 2 приводятся числовые относительные значения всех рассчитанных стабилметрических характеристик для «моторной» группы. При мысленном совершении моторных действий в этой группе медианы относительных значений всех показателей были больше единицы, тогда как при совершении метафорических действий у двух показателей (общей длины и линейной общей средней скорости) медианы относительных значений были меньше единицы.

*Сравнение с фоновыми записями.* В «моторной» группе ( $n = 23$ ) при сравнении с фоновой стойкой при мысленном совершении моторных действий достоверно большие значения были получены у длины траектории ЦД по фронтальной оси и площади статокинезиограммы; при мысленном совершении метафорических действий только у площади статокинезиограммы (табл. 3).



**Рис. 4.** Медианные значения (столбец) и верхний и нижний квартиль (линии) относительных значений стабилметрических характеристик для «моторной» группы. Точками представлены индивидуальные значения. По оси ординат: величина показателей при мысленном совершении моторных (серый) и метафорических (белый) действий по отношению к показателям в фоновой записи, принятым за 1. Подписи под столбцами обозначают показатели:  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $S$  – площадь статокинезиограммы;  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $Lx$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси. \* –  $p < 0,05$  (непараметрический парный тест Вилкоксона)

**Fig. 4.** Median values (column) and upper and lower quartiles (lines) of relative stabilometric characteristics for the “motor” group. Individual values are represented by dots. On the ordinate axis: the magnitude of indicators during imagined motor (gray) and metaphorical (white) actions relative to the indicators in the baseline recording, taken as 1. Labels under the columns denote the indicators:  $V$  – overall linear average velocity;  $S$  – area of the stabilokinesiogram;  $L$  – total length of the center of pressure’s path;  $Lx$  – length of the center of pressure’s path along the frontal axis. \* –  $p < 0.05$  (Wilcoxon nonparametric paired test)

#### «Метафорическая» группа

*Анализ абсолютных значений.* У «метафорической» группы ( $n = 11$ ) стабилметрические характеристики имели большие абсолютные значения при мысленном совершении метафорических действий (рис. 5). Для сопоставимости с «моторной» группой на рисунке представлены графики для тех же показателей, что и в «моторной» группе.

Все достоверно различающиеся абсолютные значения стабилметрических характеристик в «метафорической» группе при мысленном совершении моторных и метафорических действий приведены в табл. 4.

*Анализ относительных значений.* У «метафорической» группы ( $n = 10$ ) стабилметрические характеристики имели большие относительные значения при мысленном совершении метафорических действий по сравнению с моторными (рис. 6). Для сопоставимости с «моторной» группой на рисунке представлены графики для тех же показателей, что и в «моторной» группе.

Все достоверно различающиеся относительные значения стабилметрических характеристик в «метафорической» группе при мысленном совершении моторных и метафорических действий приведены в табл. 5.

**Таблица 2.** Медианные значения и верхний/нижний квартиль относительных значений стабилметрических характеристик для «моторной» группы

**Table 2.** Median values and upper/lower quartiles of relative stabilometric characteristics for the “motor” group

Показатель	Моторное мысленно совершаемое действие	Метафорическое мысленно совершаемое действие	Z; p <
L, мм	1,07 [0,9; 1,25]	0,99 [0,88; 1,27]	2,1; 0,05
Lx, мм	1,13 [0,95; 1,26]	1,1 [0,91; 1,21]	2,1; 0,05
Ly, мм	1,07 [0,89; 1,32]	1,04 [0,88; 1,31]	n.s.
V, мм/с	1,07 [0,9; 1,25]	0,99 [0,88; 1,26]	2,1; 0,05
Vx, мм/с	1,08 [0,96; 1,25]	1,12 [0,92; 1,21]	n.s.
Vy, мм/с	1,05 [0,87; 1,32]	1,05 [0,87; 1,3]	n.s.
S, мм <sup>2</sup>	1,3 [1,09; 1,86]	1,28 [1,03; 1,65]	2,3; 0,05

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей: L – общая длина траектории ЦД; Lx – длина траектории ЦД по фронтальной оси; Ly – длина траектории ЦД по сагиттальной оси; V – общая линейная средняя скорость; Vx – линейная средняя скорость по фронтальной оси; Vy – линейная средняя скорость по сагиттальной оси; S – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* values are presented as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following parameters: L – total CoP path length; Lx – CoP path length along the frontal axis; Ly – CoP path length along the sagittal axis; V – overall average linear velocity; Vx – average linear velocity along the frontal axis; Vy – average linear velocity along the sagittal axis; S – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

*Сравнение с фоновыми записями.* В «метафорической» группе (n = 10) при сравнении с фоновой стойкой при мысленном совершении как моторных, так и метафорических действий достоверно большие значения были получены у всех измеряемых параметров (табл. 6).

Анализ абсолютных и относительных значений показал, что «моторная» группа характеризовалась меньшим количеством различий значений стабилметрических показателей между разными типами мысленных действий (моторных и метафорических), тогда как в «метафорической» группе выявлены различия всех исследуемых стабилметрических показателей.

#### *Изменения стабилметрических характеристик во времени*

Для анализа изменений значений стабилметрических характеристик во времени сравнивались медианные значения для каждой характеристики в первых и последних 20 пробах задания на мысленное совершение действий в общей группе, независимо от типа действия. Было установлено, что медианные значения в последних 20 пробах больше, чем в первых 20 (табл. 7).

Полученные эффекты (большие значения стабилметрических показателей в последних 20 пробах выполнения задания vs первые пробы) на общей группе были получены и внутри каждой из групп («моторной» и «метафорической»).

**Таблица 3.** Медианные значения и верхний/нижний квартиль абсолютных значений стабилметрических характеристик для «моторной» группы**Table 3.** Median values and upper/lower quartiles of absolute stabilometric characteristics for the “motor” group

Показатель	«Фоновая» запись	Моторное мысленно совершаемое действие	$Z; p <$	Метафорическое мысленно совершаемое действие	$Z; p <$
$L$ , мм	29,48 [27,1; 38,8]	33,2 [26,73; 45,05]	n.s.	30,1 [25,73; 46,65]	n.s.
$Lx$ , мм	12,7 [9,4; 15,3]	14,65 [10; 18,6]	2,0; 0,05	13,3 [9,7; 17,95]	n.s.
$Ly$ , мм	23,45 [21,5; 30,3]	24,25 [21,45; 32,9]	n.s.	23 [21,7; 32,75]	n.s.
$V$ , мм/с	5,89 [5,41; 7,76]	6,65 [5,31; 9]	n.s.	6,02 [5,15; 9,31]	n.s.
$Vx$ , мм/с	2,6 [1,9; 3,1]	2,9 [2; 3,8]	n.s.	2,7 [2; 3,65]	n.s.
$Vy$ , мм/с	4,75 [4,3; 6,1]	4,9 [4,25; 6,6]	n.s.	4,6 [4,3; 6,6]	n.s.
$S$ , мм <sup>2</sup>	17,7 [11,7; 31,0]	25,15 [17,7; 39,75]	3,5; 0,001	24,55 [13,7; 38,1]	3,0; 0,005

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $Lx$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $Ly$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $Vx$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $Vy$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Values are expressed as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following parameters:  $L$  – total CoP path length;  $Lx$  – CoP path length along the frontal axis;  $Ly$  – CoP path length along the sagittal axis;  $V$  – overall average linear velocity;  $Vx$  – average linear velocity along the frontal axis;  $Vy$  – average linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

### Межгрупповые сравнения

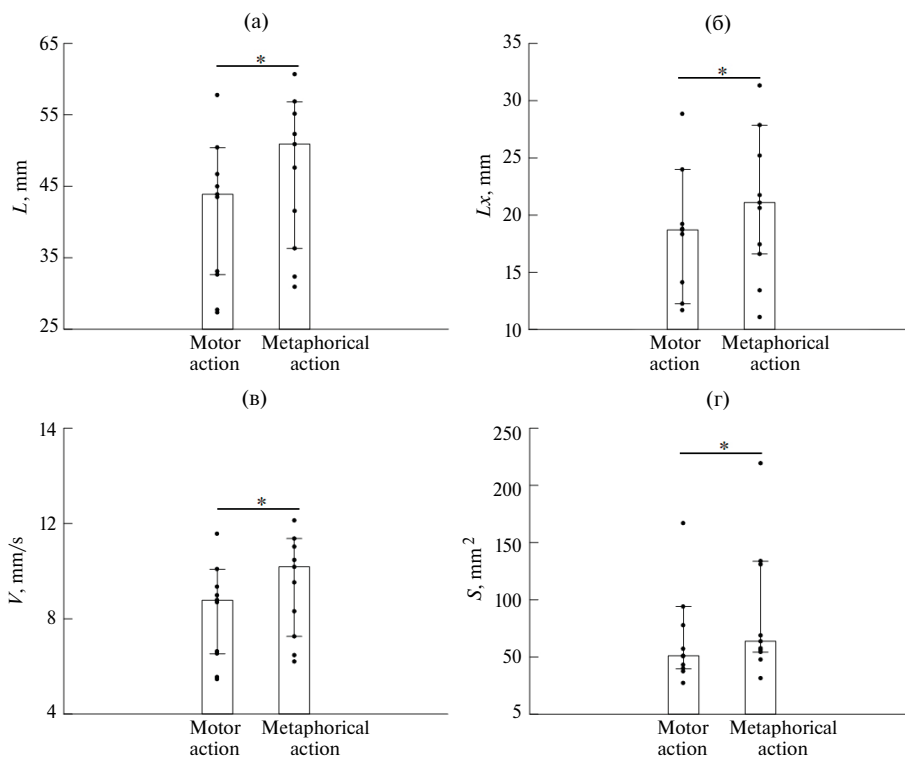
#### Сравнение стабилметрических показателей при мысленном совершении моторных и метафорических действий

*Сравнение абсолютных значений.* Не было выявлено статистически значимых различий при сравнении абсолютных значений показателей стабилметрических характеристик между группами как в фоновом состоянии, так и при совершении обоих типов мысленных действий (моторных и метафорических).

*Сравнение относительных значений.* При сравнении относительных значений стабилметрических показателей при мысленном совершении моторных действий в «моторной» группе были достоверно меньше: длина (общая и по сагиттальной оси), скорость (общая и по сагиттальной оси), площадь по сравнению с «метафорической» группой (табл. 8).

При сравнении относительных значений показателей при мысленном совершении метафорических действий в «моторной» группе были достоверно меньше: длина (общая, по фронтальной и сагиттальным осям), скорость (общая, по фронтальной и сагиттальным осям), площадь, по сравнению с «метафорической» группой (табл. 9).

По итогам сравнения относительных показателей «метафорическая» группа показывает больший эффект дестабилизации позы, чем «моторная».



**Рис. 5.** Медианные значения (столбец) и верхний и нижний квартили (линии) стабилометрических характеристик для «метафорической» группы. Точками представлены индивидуальные значения. Подписи под столбцами обозначают тип мысленного действия. (а) – длина траектории ЦД по фронтальной оси; (б) – длина траектории ЦД по сагиттальной оси; (в) – скорость перемещения ЦД; (г) – площадь стадокинезиограммы. \* –  $p < 0,005$  (непараметрический парный тест Вилкоксона)

**Fig. 5.** Median values (column) and upper and lower quartiles (lines) of stabilometric characteristics for the “metaphorical” group. Individual values are represented by dots. Labels under the columns indicate the type of mental action. (a) – length of the stabilokinesigram along the frontal axis; (б) – length of the stabilokinesigram along the sagittal axis; (в) – center of pressure displacement velocity; (г) – area of the stabilokinesigram. \* –  $p < 0.005$  (Wilcoxon nonparametric paired test)

### *Сравнение изменений стабилометрических характеристик во времени*

Для межгруппового сравнения изменений стабилометрических характеристик для каждого из показателей внутри группы были рассчитаны отношения значений медиан этого показателя в первых 20 пробах к последним.

Моторная группа имела меньшее соотношение значений характеристик в первых 20 пробах к последним, чем метафорическая (табл. 10).

**Таблица 4.** Медианы, верхний и нижний квартили абсолютных значений стабилOMETрических характеристик в «метафорической» группы

**Table 4.** Medians, upper and lower quartiles of absolute stabilometric characteristics in the “metaphorical” group

Показатель	Моторное мысленно совершаемое действие	Метафорическое мысленно совершаемое действие	$Z; p <$
$L$ , мм	43,88 [32,65; 50,4]	50,9 [36,3; 56,83]	2,9; 0,005
$L_x$ , мм	18,7 [12,25; 24]	21,1 [16,6; 27,85]	2,9; 0,005
$L_y$ , мм	35,2 [24,8; 43,4]	36,9 [26,9; 45,85]	2,9; 0,005
$V$ , мм/с	8,78 [6,53; 10,08]	10,18 [7,26; 11,37]	2,9; 0,005
$V_x$ , мм/с	3,75 [2,45; 4,85]	4,25 [3,35; 5,65]	2,9; 0,005
$V_y$ , мм/с	7,1 [5; 8,7]	7,4 [5,3; 9,2]	2,8; 0,005
$S$ , мм <sup>2</sup>	51 [39,6; 94,15]	63,8 [54,2; 133,65]	2,8; 0,005

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $L_x$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $L_y$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $V_x$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $V_y$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы.

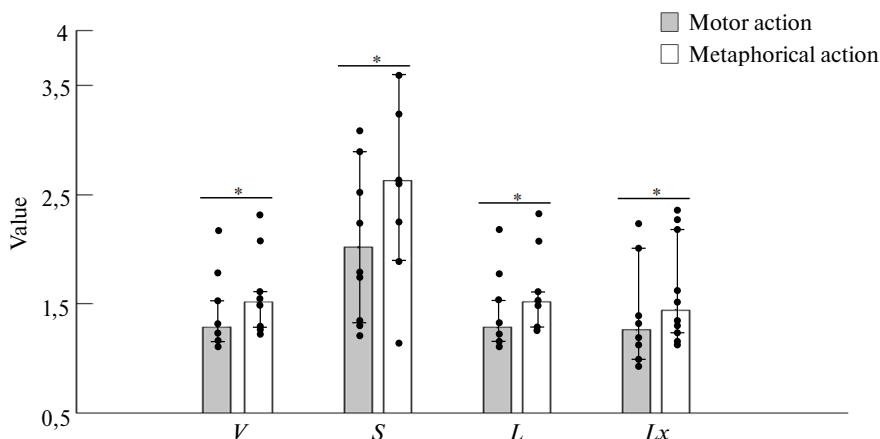
*Note:* Data are presented as median [25th–75th quartile] for the following stabilometric parameters:  $L$  – total length of the center of pressure (CoP) trajectory;  $L_x$  – CoP trajectory length along the frontal axis;  $L_y$  – CoP trajectory length along the sagittal axis;  $V$  – overall mean linear velocity of CoP displacement;  $V_x$  – mean linear velocity along the frontal axis;  $V_y$  – mean linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – statokinesigram area; n.s. – not statistically significant (Wilcoxon signed-rank test).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Сравнение мысленного совершения моторных и метафорических действий*

*Общая группа.* При сравнении как абсолютных, так и относительных значений стабилOMETрических характеристик при мысленном совершении моторных и метафорических действий в общей группе не было выявлено статистически значимых различий. Вместе с тем значения длины траектории ЦД по сагиттальной оси были больше ( $Z = 5,2, p < 0,001$ ; непараметрический парный тест Вилкоксона), чем по фронтальной оси (вне зависимости от типа совершаемого действия). Таким образом, можно предположить, что при выполнении заданий на мысленное совершение действий (и моторных, и метафорических) и в состоянии фона в регуляции и поддержании позы мог преобладать голеностопный контроль [23], так как задания, выполнявшиеся испытуемыми, не предполагали сознательного изменения положения тела и резких изменений баланса. Согласно литературным данным, голеностопный контроль преобладает в ситуации отсутствия сильных изменений баланса [24, 25] и характеризуется высокими значениями длины траектории ЦД по сагиттальной оси.

При кластеризации методом Ward как по абсолютным, так и по относительным значениям выделяются две группы: с большим значением показателей при мысленном совершении моторных действий («моторная» группа) и с большим значением показателей при мысленном совершении метафорических действий



**Рис. 6.** Медианные значения (столбец) и верхний и нижний квартили (линии) относительных значений стабилметрических характеристик для «метафорической» группы. Точками представлены индивидуальные значения. По оси ординат: величина показателей при мысленном совершении моторных (серый столбец) и метафорических (белый столбец) действий по отношению к показателям в фоновой записи, принятым за 1. Подписи под столбцами обозначают показатели: *V* – общая линейная средняя скорость; *S* – площадь статокинезиограммы; *L* – общая длина траектории ЦД; *Lx* – длина траектории ЦД по фронтальной оси. \* –  $p < 0,05$  (непараметрический парный тест Вилкоксона)

**Fig. 6.** Median values (column) and upper and lower quartiles (lines) of relative stabilometric characteristics for the “metaphorical” group. Individual values are represented by dots. On the ordinate axis: the magnitude of indicators during imagined motor (gray) and metaphorical (white) actions relative to the indicators in the baseline recording, taken as 1. Labels under the columns denote the indicators: *V* – overall linear average velocity; *S* – area of the stabilokinesiogram; *L* – total length of the center of pressure’s path; *Lx* – length of the center of pressure’s path along the frontal axis. \* –  $p < 0.05$  (Wilcoxon nonparametric paired test)

(«метафорическая» группа). Далее будут рассмотрены «моторная» и «метафорическая» группы.

«Моторная» группа. В ситуации мысленного совершения моторных действий в сравнении с метафорическими в «моторной» группе достоверно большими как абсолютными, так и относительными значениями обладали: длина траектории ЦД ( $Z = 2,2, p < 0,05$  для абсолютных значений;  $Z = 2,1, p < 0,05$  для относительных значений), длина траектории ЦД по фронтале ( $Z = 2,2, p < 0,05$  для абсолютных значений;  $Z = 2,1, p < 0,05$  для относительных значений), скорость перемещения ЦД ( $Z = 2,3, p < 0,05$  для абсолютных значений;  $Z = 2,1, p < 0,05$  для относительных значений) и площадь статокинезиограммы ( $Z = 2,2, p < 0,05$  для абсолютных значений;  $Z = 2,3, p < 0,05$  для относительных значений). Данный результат соответствовал нашей гипотезе о большем поструральном отклике при мысленном совершении моторных действий, основанной на том, что испытуемые при мысленном совершении моторных действий концентрировались на воображении кинестетических ощущений, что, в свою очередь, вызывало поструральный отклик [3]. При мысленном совершении метафорических действий испытуемые из данной группы также могли воображать кинестетические ощущения, однако менее выражено или с большей ориентацией на визуализацию.

**Таблица 5.** Медианные значения, верхний и нижний квартили относительных значений стабилOMETрических характеристик для «метафорической» группы

**Table 5.** Median values, upper and lower quartiles of relative stabilometric characteristics for the “metaphorical” group

Показатель	Моторное мысленно совершаемое действие	Метафорическое мысленно совершаемое действие	$Z; p <$
$L$ , мм	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,005
$Lx$ , мм	1,27 [1; 2,02]	1,44 [1,26; 2,2]	2,8; 0,005
$Ly$ , мм	1,37 [1,25; 1,43]	1,53 [1,32; 1,61]	2,8; 0,005
$V$ , мм/с	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,005
$Vx$ , мм/с	1,26 [1,02; 1,97]	1,44 [1,24; 2,21]	2,8; 0,005
$Vy$ , мм/с	1,37 [1,25; 1,42]	1,5 [1,33; 1,57]	2,7; 0,01
$S$ , мм <sup>2</sup>	2,02 [1,34; 2,9]	2,63 [1,91; 3,6]	2,7; 0,005

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $Lx$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $Ly$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $Vx$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $Vy$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Data are shown as median [interquartile range, 25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following stabilometric parameters:  $L$  – total length of the trajectory of the center of pressure (CoP);  $Lx$  – length of the CoP trajectory along the frontal axis;  $Ly$  – length of the CoP trajectory along the sagittal axis;  $V$  – overall mean linear velocity of CoP displacement;  $Vx$  – mean linear velocity along the frontal axis;  $Vy$  – mean linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – area of the statokinesigram; n.s. – not statistically significant (Wilcoxon signed-rank test).

При сравнении абсолютных значений стабилOMETрических характеристик в фоновой стойке и при мысленном совершении действий было установлено, что при мысленном совершении моторных действий достоверно больше была скорость перемещения ЦД ( $Z = 2,0; p < 0,05$ ) и площадь статокинезиограммы ( $Z = 3,5; p < 0,001$ ), а при мысленном совершении метафорических действий – площадь статокинезиограммы ( $Z = 3,0; p < 0,005$ ). Таким образом, в «моторной» группе наблюдаются дестабилизирующие эффекты в ходе мысленного совершения как моторных, так и метафорических действий.

Можно предположить, что моторная группа при мысленном совершении моторных действий ориентировалась на кинестетическое воображение, это согласуется с инструкцией (ориентация на представление мышечных воображений) и данными самоотчетов (испытуемым удавалось представить мышечные ощущения). В ситуации мысленного совершения метафорических действий данная группа могла ориентироваться в первую очередь на визуальное воображение, что согласуется с данными самоотчетов (испытуемые представляли ситуацию, в которой могло быть совершено предъявленное метафорическое действие).

«Метафорическая» группа. В ситуации мысленного совершения метафорических действий по сравнению с моторными в «метафорической» группе выявлено большее количество отличий – как абсолютных, так и относительных стабилOMETрических показателей. Совершение метафорических действий в этой группе

**Таблица 6.** Медианные значения и верхний/нижний квартили относительных значений стабилметрических характеристик для «метафорической» группы**Table 6.** Median values and upper/lower quartiles of relative stabilometric characteristics for the “metaphorical” group

Показатель	«Фоновая» запись	Моторное мысленно совершаемое действие	$Z, p <$	Метафорическое мысленно совершаемое действие	$Z, p <$
$L$ , мм	34,89 [25,1; 37,6]	44,42 [32,65; 50,4]	2,8; 0,005	51,61 [36,3; 56,83]	2,8; 0,005
$Lx$ , мм	15,33 [9,2; 19,15]	18,75 [14,1; 24]	2,3; 0,05	21,43 [16,6; 27,85]	2,8; 0,005
$Ly$ , мм	24,38 [21,35; 31,6]	35,98 [24,8; 43,4]	2,8; 0,005	39 [26,9; 45,85]	2,8; 0,005
$V$ , мм/с	6,98 [5,03; 7,52]	8,89 [6,52; 10,04]	2,8; 0,005	10,33 [7,28; 11,4]	2,8; 0,005
$Vx$ , мм/с	3,08 [1,9; 3,9]	3,78 [2,9; 4,85]	2,4; 0,05	4,3 [3,35; 5,65]	2,8; 0,005
$Vy$ , мм/с	4,93 [4,25; 6,4]	7,25 [5; 8,7]	2,8; 0,005	7,78 [5,3; 9,2]	2,8; 0,005
$S$ , мм <sup>2</sup>	33,73 [25,1; 37,6]	53,98 [39,6; 94,15]	2,8; 0,005	63,13 [54,2; 133,65]	2,8; 0,005

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $Lx$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $Ly$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $Vx$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $Vy$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Data are presented as median [interquartile range, 25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following stabilometric parameters:  $L$  – total length of the center of pressure (CoP) trajectory;  $Lx$  – CoP trajectory length along the frontal axis;  $Ly$  – CoP trajectory length along the sagittal axis;  $V$  – overall mean linear velocity of CoP displacement;  $Vx$  – mean linear velocity along the frontal axis;  $Vy$  – mean linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – statokinesiogram area; n.s. – not statistically significant (Wilcoxon signed-rank test).

по сравнению с моторными характеризовалось бóльшими абсолютными и относительными значениями: площади ( $Z = 2,8, p < 0,005$  для абсолютных значений;  $Z = 2,7, p < 0,005$  для относительных значений), длины траектории ЦД (общей, по фронтальной и сагиттальной осям ( $Z = 2,9, p < 0,005$  для абсолютных значений;  $Z = 2,8, p < 0,005$  для относительных значений)), скорости перемещения ЦД (общей, по фронтальной и сагиттальной осям ( $Z = 2,9, p < 0,005$  для абсолютных значений;  $Z = 2,8, p < 0,005$  для относительных значений)). То есть в «метафорической» группе выполнение метафорических действий вызывало больший поструральный отклик. В работе [11] было показано, что поструральный отклик испытуемых (изменение длины, скорости, площади статокинезиограммы) был наибольшим при выполнении когнитивной задачи (mental counting), средним – при выполнении задачи на воображение движений, наименьшим – при выполнении задачи на визуализацию движений. В «метафорической» группе в нашем исследовании мы также получили более выраженный поструральный отклик на метафорическое задание, чем на моторное. По всей видимости, предложенная задача мысленно совершить метафорическое действие была более требовательна к когнитивным ресурсам (сложнее понять метафору или придумать, как именно мысленно совершить данное действие). При этом для обоих типов мысленно совершаемых движений значения стабилметрических показателей в метафорической группе

**Таблица 7.** Медианы, верхний и нижний квартили абсолютных значений стабилOMETрических характеристик для общей группы испытуемых в зависимости от времени

**Table 7.** Medians, upper and lower quartiles of absolute stabilometric characteristics for the overall subject group depending on time

Показатель	Первые 20 проб	Последние 20 проб	$Z, p <$
$L$ , мм	33,1 [26,72; 41,55]	37,7 [28,39; 55,76]	3,2; 0,001
$Lx$ , мм	15,13 [11,7; 19,4]	16,3 [11,68; 21,35]	n.s.
$Ly$ , мм	25,9 [20,78; 32,33]	30,05 [23,12; 43,6]	3,7; 0,001
$V$ , мм/с	6,62 [5,28; 8,31]	7,54 [5,68; 11,15]	3,3; 0,001
$Vx$ , мм/с	3,03 [2,35; 3,88]	3,28 [2,35; 4,35]	n.s.
$Vy$ , мм/с	5,23 [4,2; 6,6]	6,08 [4,65; 8,75]	3,7; 0,001
$S$ , мм <sup>2</sup>	32,23 [22,05; 52,25]	34,35 [23,05; 66,48]	2,2; 0,05

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей:  $L$  – общая длина траектории ЦД;  $Lx$  – длина траектории ЦД по фронтальной оси;  $Ly$  – длина траектории ЦД по сагиттальной оси;  $V$  – общая линейная средняя скорость;  $Vx$  – линейная средняя скорость по фронтальной оси;  $Vy$  – линейная средняя скорость по сагиттальной оси;  $S$  – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Values are presented as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following parameters:  $L$  – total CoP path length;  $Lx$  – CoP path length along the frontal axis;  $Ly$  – CoP path length along the sagittal axis;  $V$  – overall average linear velocity;  $Vx$  – average linear velocity along the frontal axis;  $Vy$  – average linear velocity along the sagittal axis;  $S$  – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

были статистически достоверно больше, чем в фоне. В работе [11] было показано, что визуализация движений может приводить к уменьшению значений стабилOMETрических характеристик (длина траектории ЦД, перемещение по фронтальной и сагиттальным осям) по сравнению с состоянием спокойного бодрствования, это, применительно к нашим результатам, позволяет предположить, что испытуемые из «метафорической» группы в меньшей степени опирались на визуализацию метафорического действия (и, вероятно, большее его когнитивное представление) по сравнению с «моторной» группой.

### *Межгрупповые сравнения*

Межгрупповые различия были выявлены только на основании относительных значений стабилOMETрических показателей. Отсутствие различий между абсолютными значениями стабилOMETрических характеристик «моторной» и «метафорической» групп может указывать как на вариативность данных между отдельными испытуемыми, так и на то, что индивидуальные характеристики «умения удерживать баланс» не влияют на выбор ментальных стратегий мысленного совершения действий и, как следствие, на попадание в одну из групп.

При сравнении относительных значений показателей при мысленном совершении метафорических и моторных действий найдено, что «моторная» группа по сравнению с «метафорической» при мысленном совершении моторных действий имела достоверно меньшие значения: длины (общая и по сагиттальной оси)

**Таблица 8.** Медианы, верхний и нижний квартили относительных значений стабилметрических характеристик моторной и метафорической группы при мысленном совершении моторных действий

**Table 8.** Medians, upper and lower quartiles of relative stabilometric characteristics for the motor and metaphorical groups during mental performance of motor actions

Показатель	Моторная группа	Метафорическая группа	Z; p<
L, мм	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,01
Lx, мм	1,27 [1; 2,02]	1,44 [1,26; 2,2]	n.s.
Ly, мм	1,37 [1,25; 1,43]	1,53 [1,32; 1,61]	2,8; 0,01
V, мм/с	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,01
Vx, мм/с	1,26 [1,02; 1,97]	1,44 [1,24; 2,21]	n.s.
Vy, мм/с	1,37 [1,25; 1,42]	1,5 [1,33; 1,57]	2,7; 0,01
S, мм <sup>2</sup>	2,02 [1,34; 2,9]	2,63 [1,91; 3,6]	2,7; 0,05

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей: L – общая длина траектории ЦД; Lx – длина траектории ЦД по фронтальной оси; Ly – длина траектории ЦД по сагиттальной оси; V – общая линейная средняя скорость; Vx – линейная средняя скорость по фронтальной оси; Vy – линейная средняя скорость по сагиттальной оси; S – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Values are presented as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following parameters: L – total CoP path length; Lx – CoP path length along the frontal axis; Ly – CoP path length along the sagittal axis; V – overall average linear velocity; Vx – average linear velocity along the frontal axis; Vy – average linear velocity along the sagittal axis; S – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

( $Z = 2,8$ ,  $p < 0,001$ ), скорости (общая и по сагиттальной оси) ( $Z = 2,8$ ,  $p < 0,001$ ) и площади ( $Z = 2,8$ ,  $p < 0,001$ ); при мысленном совершении метафорических действий: длины (общая, по фронтальной и сагиттальным осям), скорости (общая, по фронтальной и сагиттальным осям), площади. Обобщая, можно сказать, что «метафорическая» группа отличалась большим эффектом «дестабилизации позы» при мысленном совершении обоих типов действий. В «моторной» группе данный эффект также наблюдался при мысленном совершении обоих типов действий, однако при мысленном совершении метафорических действий эффект дестабилизации позы отмечался при сравнении с фоновым состоянием только для площади статокинезиограммы. Поскольку отдельные испытуемые внутри групп могли показывать как стабилизирующие, так и дестабилизирующие эффекты при мысленном совершении моторных действий и не все испытуемые из «моторной» группы показали однозначный дестабилизирующий или стабилизирующий эффект при мысленном совершении метафорических действий, нельзя однозначно утверждать, что проявление стабилизирующего/дестабилизирующего эффекта говорит о принадлежности испытуемого к какой-либо группе. Тем не менее, по текущим результатам, все испытуемые, показывавшие стабилизирующий эффект при мысленном совершении метафорических действий, попали в моторную группу. По полученным данным, мы можем предположить, что при дальнейшем проведении исследования и расширении выборки с высокой долей вероятности общую группу можно будет делить по двум разным критериям: «моторный»/«метафорический»

**Таблица 9.** Медианы, верхний и нижний квартили относительных значений стабилметрических характеристик моторной и метафорической группы при мысленном совершении моторных действий

**Table 9.** Medians, upper and lower quartiles of relative values of stabilometric characteristics in the motor and metaphorical groups during mental performance of motor actions

Показатель	Моторная группа	Метафорическая группа	Z; p <
L, мм	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,01
Lx, мм	1,27 [1; 2,02]	1,44 [1,26; 2,2]	n.s.
Ly, мм	1,37 [1,25; 1,43]	1,53 [1,32; 1,61]	2,8; 0,01
V, мм/с	1,29 [1,16; 1,54]	1,52 [1,29; 1,62]	2,8; 0,01
Vx, мм/с	1,26 [1,02; 1,97]	1,44 [1,24; 2,21]	n.s.
Vy, мм/с	1,37 [1,25; 1,42]	1,5 [1,33; 1,57]	2,7; 0,01
S, мм <sup>2</sup>	2,02 [1,34; 2,9]	2,63 [1,91; 3,6]	2,7; 0,05

*Примечание:* представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] относительных значений для следующих показателей: L – общая длина траектории ЦД; Lx – длина траектории ЦД по фронтальной оси; Ly – длина траектории ЦД по сагиттальной оси; V – общая линейная средняя скорость; Vx – линейная средняя скорость по фронтальной оси; Vy – линейная средняя скорость по сагиттальной оси; S – площадь статокинезиограммы; n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический парный тест Вилкоксона).

*Note:* Values are presented as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] for the following parameters: L – total CoP path length; Lx – CoP path length along the frontal axis; Ly – CoP path length along the sagittal axis; V – overall average linear velocity; Vx – average linear velocity along the frontal axis; Vy – average linear velocity along the sagittal axis; S – statokinesigram area; n.s. – no statistically significant differences (Wilcoxon nonparametric paired test).

и «стабилизирующийся»/«дестабилизирующийся». Мы не предполагаем прямую взаимосвязь этих критериев друг с другом, однако такая возможность не может быть пока однозначно опровергнута.

#### *Оценка изменений стабิโลграфических показателей во времени*

Как в общей, так и в каждой группе по отдельности значения стабилметрических показателей увеличивались к концу выполнения задания. Это ожидаемый эффект, связанный как с усталостью и длительностью нахождения в одной позе, так и с физиологическими факторами [26]. Пренебрегать этим эффектом нельзя, однако, учитывая псевдорандомизацию предъявления проб, то есть отсутствие четкой очередности и преобладания какого-либо типа действий (моторных или метафорических) в начале/конце задания, он не должен оказывать какого-либо влияния на сравнение между двумя типами мысленно совершаемых действий. При изучении изменения стабилметрических характеристик внутри «моторной» группы результаты полностью соответствуют эффектам, полученным для общей группы. Для «метафорической» группы был обнаружен дополнительный достоверный эффект увеличения значений длины и скорости по фронтальной оси. При анализе межгрупповых различий «метафорическая» группа показала достоверно большее отношение начало/конец по сравнению с «моторной» только для длины и скорости по фронтальной оси. Данный эффект, с одной стороны, может объясняться

**Таблица 10.** Медианы, верхний и нижний квартили соотношения значений характеристик в первых 20 пробах к последним 20 пробам в «моторной» и «метафорической» группах

**Table 10.** Medians, upper and lower quartiles of the ratio of characteristic values in the first 20 trials to the last 20 trials in the “motor” and “metaphorical” groups

Показатель	Моторная группа	Метафорическая группа	Z; p <
L, мм	0,88 [0,83; 1,07]	0,69 [0,56; 0,96]	n.s.
Lx, мм	1 [0,88; 1,17]	0,63 [0,52; 1,05]	2,37; 0,05
Ly, мм	0,89 [0,75; 1]	0,76 [0,56; 0,91]	n.s.
V, мм/с	0,88 [0,77; 1,07]	0,67 [0,56; 0,96]	n.s.
Vx, мм/с	1 [0,87; 1,18]	0,66 [0,52; 1,04]	2,42; 0,05
Vy, мм/с	0,87 [0,75; 0,99]	0,76 [0,55; 0,91]	n.s.
S, мм <sup>2</sup>	0,98 [0,88; 1,28]	0,54 [0,41; 0,89]	2,68; 0,001

*Примечание:* Представлены значения медиан [25-й квартиль – 75-й квартиль] отношений показателей первых 20 проб к последним для следующих показателей: L – общая длина траектории ЦД; Lx – длина траектории ЦД по фронтальной оси; Ly – длина траектории ЦД по сагиттальной оси; V – общая линейная средняя скорость; Vx – линейная средняя скорость по фронтальной оси; Vy – линейная средняя скорость по сагиттальной оси; S – площадь траектории ЦД. n.s. – отсутствие статистически достоверных различий (непараметрический U-тест Манна–Уитни).

*Note:* Values are presented as median [25<sup>th</sup>–75<sup>th</sup> quartile] of the ratios of the parameters in the first 20 trials to those in the last 20 trials for the following parameters: L – total CoP path length; Lx – CoP path length along the frontal axis; Ly – CoP path length along the sagittal axis; V – overall average linear velocity; Vx – average linear velocity along the frontal axis; Vy – average linear velocity along the sagittal axis; S – CoP path area. n.s. – no statistically significant differences (Mann–Whitney U test).

различием размера групп (11 в «метафорической», 25 в «моторной»), с другой стороны, «метафорическая» группа могла показывать большие эффекты усталости, ведущие к увеличению влияния тазобедренного контроля [26] и, как следствие, к большим изменениям по фронтальной оси [23].

### *Перспективы исследований*

Мысленное совершение движений может вызывать смещение ЦД даже при отсутствии реального движения, что связано с активацией моторных программ и проприоцептивных систем [27], что позволяет его использовать для реабилитации пациентов с моторными нарушениями [28], тренировки спортсменов или развития навыков [29].

Использование более сложных типов движения, включая метафорические действия, может добавить когнитивный компонент, за счет чего будет возможно расширить набор тренируемых параметров и/или улучшить имеющиеся протоколы, в частности за счет улучшенной персонализации [30]. Как пример – широко известно, что существуют реабилитационные программы, основанные на воображении движений конечностей для пациентов после инсульта [31], страдающих синдромом Паркинсона [32] и ДЦП [33]. Однако существуют и иные программы, не связанные с движениями именно конечностей, в частности, был показан эффект «воображаемого целования» для реабилитации пациентов с лицевым параличом [34]. Таким образом, может быть создана программа реабилитации, предлагающая

комплексную реабилитацию, совмещающую мысленное совершение движений конечностей, лицевых и/или иных мышц и метафорических действий, что, возможно, позволит оказать положительное влияние не только на двигательные, но и на когнитивные возможности пациентов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью исследования было сравнить стабилметрические характеристики при мысленном совершении моторных и метафорических действий. В общей группе не было выявлено статистически значимых различий, что могло быть связано с неоднородностью группы. При исследовании методом кластерного анализа стабилметрических данных были выявлены две группы людей, различающиеся позными реакциями при мысленном совершении моторных против метафорических действий. «Моторная» группа характеризовалась большим значением абсолютных и относительных характеристик при мысленном совершении моторных действий и наличием эффекта стабилизации при мысленном совершении метафорических действий, что может указывать на преобладание кинестетического воображения при мысленном совершении моторных действий и визуальное воображение при мысленном совершении метафорических действий. «Метафорическая» группа характеризовалась большим значением абсолютных и относительных характеристик при мысленном совершении метафорических действий и наличием эффекта дестабилизации при мысленном совершении этих действий, что может указывать на преобладание когнитивного компонента воображения при мысленном совершении метафорических действий. При этом в обеих группах при мысленном совершении моторных действий преобладают дестабилизирующие колебания, что согласуется с литературными данными. «Метафорическая» группа по сравнению с «моторной» имела большие относительные значения характеристик траектории ЦД при мысленном совершении обоих типов действий.

В обеих группах наблюдалось увеличение значений стабилметрических характеристик к концу исследования, что может быть вызвано эффектом усталости. Однако при межгрупповом сравнении «метафорическая» группа показала большие изменения значений скорости и длины траектории ЦД по фронтальной оси, что, с одной стороны, может говорить о большем вкладе тазобедренного контроля в силу большей усталости, а с другой, являться результатом индивидуальных особенностей. Полученные различия являются предметом дальнейшего анализа, в том числе при помощи методов ЭЭГ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pollock A., Durward B., Rowe P. et al. What is balance? *Clin. Rehabil.* 2000. Vol. 4. Pp. 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr3420a>
2. Бернштейн Н.А. *Физиология движений и активность*. М.: Наука, 1990.
3. Guillot A., Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res. Rev.* 2005. Vol. 2. Pp. 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.09.004>
4. Lotze M., Halsband U. Motor imagery. *J. Physiol. Paris.* 2006. Vol. 99. Pp. 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>

5. Nachev P., Kennard C., Husain M. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nat. Rev. Neurosci.* 2008. Vol. 9. Pp. 856–869. <https://doi.org/10.1038/nrn2478>
6. Wriessnegger S., Bauernfeind G., Kurz E. et al. Imagine squeezing a cactus: Cortical activation during affective motor imagery measured by functional near-infrared spectroscopy. *Brain Cogn.* 2018. Vol. 126. Pp. 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.07.006>
7. Johnson S., Rotte M., Grafton S. et al. Selective activation of a parietofrontal circuit during implicitly imagined prehension. *Neuroimage.* 2002. Vol. 17. Pp. 1693–1704. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1265>
8. Héту S., Grégoire M., Saimpont A. et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2013. Vol. 5. Pp. 930–949. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.017>
9. Grillner S., Hellgren J., Menard A. et al. Mechanisms for selection of basic motor programs – roles for the striatum and pallidum. *Trends Neurosci.* 2005. Vol. 28. Pp. 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.05.004>
10. Slotnick S., Thompson W., Kosslyn S. Visual mental imagery induces retinotopically organized activation of early visual areas. *Cereb. Cortex.* 2005. Vol. 15. Pp. 1570–1583. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi035>
11. Grangeon M., Guillot A., Collet C. Postural control during visual and kinesthetic motor imagery. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* 2011. Vol. 1. Pp. 47–56. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9145-2>
12. Abidi M., Pradat P., Termoz N. et al. Motor imagery in amyotrophic lateral sclerosis: an fMRI study of postural control. *Neuroimage Clin.* 2022. Vol. 35. 103051. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103051>
13. Sarasso E., Agosta F., Piramide N. et al. Action Observation and Motor Imagery Improve Dual Task in Parkinson’s Disease: A Clinical/fMRI Study. *Mov. Disord.* 2021. Vol. 36. Pp. 2569–2582. <https://doi.org/10.1002/mds.28717>
14. Di Rienzo F., Joassy P., Ferreira Dias Kanthack T. et al. Stabilometric Correlates of Motor and Motor Imagery Expertise. *Front. Hum. Neurosci.* 2022. Vol. 15. 741709. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.741709>
15. Hehenberger L., Batistic L., Sburlea A.I. et al. Directional Decoding From EEG in a Center-Out Motor Imagery Task With Visual and Vibrotactile Guidance. *Front. Hum. Neurosci.* 2021. Vol. 15. 687252. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.687252>
16. Bardolph M., Coulson S. How vertical hand movements impact brain activity elicited by literally and metaphorically related words: an ERP study of embodied metaphor. *Front. Hum. Neurosci.* 2014. Vol. 8. 1031. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01031>
17. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971. Vol. 9. Pp. 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
18. Тимофеева О.П., Андреева И.Г. Особенности поддержания вертикальной позы полезависимых и полenezависимых испытуемых в условиях отсутствия зрительной и звуковой информации. *Физиология человека.* 2021. Т. 47. № 4. С. 17–25.

19. Тимофеева О.П., Андреева И.Г. Реакция вертикальной позы человека на одиночные звуковые сигналы разного эмоционального содержания. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2022. Т. 108. № 8. С. 1042–1057.
20. Ward J. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *J. Am. Stat. Assoc.* 1963. Vol. 301. Pp. 236–244. <https://doi.org/10.2307/2282967>
21. Soroko S., Shemyakina N., Nagornova Z. et al. Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North. *Int. J. Dev. Neurosci.* 2014. Vol. 38. Pp. 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2014.08.012>
22. Kozhushko N., Nagornova Z., Evdokimov S. et al. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children. *Int. J. Psychophysiol.* 2018. Vol. 128. Pp. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.03.013>
23. Peterka R. Sensorimotor integration in human postural control. *J. Neurophysiol.* 2002. Vol. 3. Pp. 1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
24. Runge C., Shupert C., Horak F. et al. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. *Gait Posture*. 1999. Vol. 2. Pp. 161–170. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(99\)00032-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(99)00032-6)
25. Shushtari M., Takagi A., Lee J. et al. Balance strategy in hoverboard control. *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. 4509. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08291-0>
26. Gribble P., Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2004. Vol. 85. Pp. 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.031>
27. Chholak P., Niso G., Maksimenko V. et al. Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects. *Sci. Rep.* 2019. Vol. 1. 9838. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46310-9>
28. De Sanctis P., Malcolm B., Mabie P. et al. Mobile Brain/Body Imaging of cognitive-motor impairment in multiple sclerosis: Deriving EEG-based neuro-markers during a dual-task walking study. *Clin. Neurophysiol.* 2022. Vol. 5. Pp. 1119–1128. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.01.024>
29. Доронина М.Н. Исследование влияния методов развития воображения на спортивный результат. *Фундаментальные исследования*. 2015. Т. 18. № 2. С. 4017–4022.
30. Kayes N., Papadimitriou C. Reflecting on challenges and opportunities for the practice of person-centred rehabilitation. *Clin. Rehabil.* 2023. Vol. 8. Pp. 1026–1040. <https://doi.org/10.1177/02692155231152970>
31. Silva S., Borges L., Santiago L. et al. Motor imagery for gait rehabilitation after stroke. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2020. Vol. 9. CD013019. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013019.pub2>
32. Kashif M., Ahmad A., Bandpei M. et al. Combined effects of virtual reality techniques and motor imagery on balance, motor function and activities of daily living in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 2022. Vol. 1. 381. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03035-1>
33. Xie J., Jiang L., Li Y. et al. Rehabilitation of motor function in children with cerebral palsy based on motor imagery. *Cogn. Neurodyn.* 2021. Vol. 6. Pp. 939–948. <https://doi.org/10.1007/s11571-021-09672-3>

34. Paolucci T., Cardarola A., Colonnelli P. et al. Give me a kiss! An integrative rehabilitative training program with motor imagery and mirror therapy for recovery of facial palsy. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2020. Vol. 1. Pp. 58–67. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05757-5>

## REFERENCES

1. Pollock A., Durward B., Rowe P. et al. What is balance? *Clin. Rehabil.* 2000;**4**:402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
2. Bernshteyn N.A. *Fiziologiya dvizheniy i aktivnost'* [*Physiology of movement and activity*]. Moscow: Nauka; 1990. (In Russ.)
3. Guillot A., Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res. Rev.* 2005;**2**:387–397. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.09.004>
4. Lotze M., Halsband U. Motor imagery. *J. Physiol. Paris.* 2006;**99**:386–395. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>
5. Nachev P., Kennard C., Husain M. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nat. Rev. Neurosci.* 2008;**9**:856–869. <https://doi.org/10.1038/nrn2478>
6. Wriessnegger S., Bauernfeind G., Kurz E. et al. Imagine squeezing a cactus: Cortical activation during affective motor imagery measured by functional near-infrared spectroscopy. *Brain Cogn.* 2018;**126**:13–22. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2018.07.006>
7. Johnson S., Rotte M., Grafton S. et al. Selective activation of a parietofrontal circuit during implicitly imagined prehension. *Neuroimage.* 2002;**17**:1693–1704. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1265>
8. Héту S., Grégoire M., Saimpont A. et al. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2013;**5**:930–949. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.017>
9. Grillner S., Hellgren J., Menard A. et al. Mechanisms for selection of basic motor programs – roles for the striatum and pallidum. *Trends Neurosci.* 2005;**28**:364–370. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.05.004>
10. Slotnick S., Thompson W., Kosslyn S. Visual mental imagery induces retinotopically organized activation of early visual areas. *Cereb. Cortex.* 2005;**15**:1570–1583. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi035>
11. Grangeon M., Guillot A., Collet C. Postural control during visual and kinesthetic motor imagery. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback.* 2011;**1**:47–56. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9145-2>
12. Abidi M., Pradat P., Termoz N. et al. Motor imagery in amyotrophic lateral sclerosis: an fMRI study of postural control. *Neuroimage Clin.* 2022;**35**:103051. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103051>
13. Sarasso E., Agosta F., Piramide N. et al. Action Observation and Motor Imagery Improve Dual Task in Parkinson's Disease: A Clinical/fMRI Study. *Mov. Disord.* 2021;**36**:2569–2582. <https://doi.org/10.1002/mds.28717>

14. Di Rienzo F., Joassy P., Ferreira Dias Kanthack T. et al. Stabilometric Correlates of Motor and Motor Imagery Expertise. *Front. Hum. Neurosci.* 2022;**15**:741709. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.741709>
15. Hehenberger L., Batistic L., Sburlea A.I. et al. Directional Decoding From EEG in a Center-Out Motor Imagery Task With Visual and Vibrotactile Guidance. *Front. Hum. Neurosci.* 2021;**15**:687252. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.687252>
16. Bardolph M., Coulson S. How vertical hand movements impact brain activity elicited by literally and metaphorically related words: an ERP study of embodied metaphor. *Front. Hum. Neurosci.* 2014;**8**:1031. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01031>
17. Oldfield R. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia.* 1971;**9**:97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
18. Timofeeva O.P., Andreeva I.G. Osobennosti podderzhaniya vertikal'noy pozy polezavisimykh i polenezavisimykh ispytuyemykh v usloviyakh otsutstviya zritel'noy i zvukovoy informatsii [Postural control features of field-dependent and field-independent subjects in the absence of visual and audio information]. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology.* 2021;**47**(4):17–25. (In Russ.)
19. Timofeyeva O.P., Andreyeva I.G. Reaktsiya vertikal'noy pozy cheloveka na odinokhnyye zvukovyye signaly raznogo emotsional'nogo sodержaniya [Human postural responses to single sound signals with different emotional content]. *Rossiyskiy fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova = Russian Journal of Physiology.* 2022;**108**(8):1042–1057. (In Russ.)
20. Ward J. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *J. Am. Stat. Assoc.* 1963;**301**:236–244. <https://doi.org/10.2307/2282967>
21. Soroko S., Shemyakina N., Nagornova Z. et al. Longitudinal study of EEG frequency maturation and power changes in children on the Russian North. *Int. J. Dev. Neurosci.* 2014;**38**:127–137. <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2014.08.012>
22. Kozhushko N., Nagornova Z., Evdokimov S. et al. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children. *Int. J. Psychophysiol.* 2018;**128**:22–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.03.013>
23. Peterka R. Sensorimotor integration in human postural control. *J. Neurophysiol.* 2002;**88**(3):1097–1118. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.3.1097>
24. Runge C., Shupert C., Horak F. et al. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. *Gait Posture.* 1999;**9**(2):161–170. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(99\)00032-6](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(99)00032-6)
25. Shushtari M., Takagi A., Lee J. et al. Balance strategy in hoverboard control. *Sci. Rep.* 2022;**12**:4509. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08291-0>
26. Gribble P., Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 2004;**85**:89–92. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.06.031>
27. Chholak P., Niso G., Maksimenko V. et al. Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects. *Sci. Rep.* 2019;**9**(1):9838. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46310-9>

28. De Sanctis P., Malcolm B., Mabie P. et al. Mobile Brain/Body Imaging of cognitive-motor impairment in multiple sclerosis: Deriving EEG-based neuro-markers during a dual-task walking study. *Clin. Neurophysiol.* 2022;**133**(5):1119–1128. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2020.01.024>
29. Doronina M.N. Issledovaniye vliyaniya metodov razvitiya voobrazheniya na sportivnyy rezul'tat [Study of the influence the methods of development the imagination at results the sports activity] *Fundamental'nyye issledovaniya.* **2015**;18(2):4017–4022. (In Russ.)
30. Kayes N., Papadimitriou C. Reflecting on challenges and opportunities for the practice of person-centred rehabilitation. *Clin. Rehabil.* 2023;**37**(8):1026–1040. <https://doi.org/10.1177/02692155231152970>
31. Silva S., Borges L., Santiago L. et al. Motor imagery for gait rehabilitation after stroke. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2020;**9**:CD013019. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013019.pub2>
32. Kashif M., Ahmad A., Bandpei M. et al. Combined effects of virtual reality techniques and motor imagery on balance, motor function and activities of daily living in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *BMC Geriatr.* 2022;**22**(1):381. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03035-1>
33. Xie J., Jiang L., Li Y. et al. Rehabilitation of motor function in children with cerebral palsy based on motor imagery. *Cogn. Neurodyn.* 2021;**15**(6):939–948. <https://doi.org/10.1007/s11571-021-09672-3>
34. Paolucci T., Cardarola A., Colonnelli P. et al. Give me a kiss! An integrative rehabilitative training program with motor imagery and mirror therapy for recovery of facial palsy. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* 2020;**56**(1):58–67. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05757-5>

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Галкин Владислав Алексеевич – мл. науч. сотр., Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: 30galkin98@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-6385-7876>

Лебедев Михаил Альбертович – д-р. биол. наук; зав. лабораторией нейроинтерфейсов, Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И.М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: mikhail.a.lebedev@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-0355-8723>

Поступила в редакцию 16.09.2025  
После доработки 12.02.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

ABOUT THE AUTHORS

Galkin, Vladislav A. — Research Assistant, I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation  
E-mail: 30galkin98@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-6385-7876>

Lebedev, Mikhail A. — Ph.D. (Biology); Head of the Laboratory of Neurointerfaces, I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation  
E-mail: [mikhail.a.lebedev@gmail.com](mailto:mikhail.a.lebedev@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0355-8723>

Received September 16, 2025  
Revised February 12, 2026  
Accepted March 30, 2026

*Приложение 1*

Примеры использованных в качестве стимулов словосочетаний: неопределенные формы глаголов действия с IPM > 10 и существительные, задающие контекст

Глагол	Моторное действие	Косинусная близость с глаголом	Метафорическое действие	Косинусная близость с глаголом
бежать	по стадиону	0,033	от мысли	-0,142
ворваться	в дверь	0,168	в жизнь	-0,118
выдвинуть	стол	-0,018	предложение	0,095
прижать	рукой	0,249	аргументом	-0,063
взять	яблоко	0,025	контроль	-0,019
снять	пальто	0,1	показания	0,052
открыть	замок	0,123	тайну	0,104
упасть	в яму	0,135	в глазах	0,07
поднять	руку	0,053	вопрос	-0,156
проглотить	еду	0,203	обиду	0,099
рубить	дрова	0,453	правду	-0,017
кинуть	мяч	0,018	запрос	-0,162
привязать	к дереву	0,187	к теме	-0,17
отходить	от машины	-0,067	от дела	-0,198
выдать	паёк	0,146	секрет	0,074
танцевать	на танцполе	0,389	на углях	0,058
поставить	стул	-0,032	условие	-0,06
поднять	монету	-0,045	уважение	0,05
рвать	бумагу	0,029	душу	-0,059
положить	книгу	0,024	глаз	-0,127
сбить	шапку	0,115	температуру	-0,067
заварить	чай	0,331	историю	-0,023
сжать	ручку	0,091	речь	-0,027
подтянуть	штанину	0,352	химию	-0,092
подкинуть	мяч	0,068	идею	-0,124

*Примечание:* IPM – items per million, единиц на миллион слов, рассчитывается как количество употреблений слова за год, разделенное на объем корпуса за этот год и умноженное на 1 миллион.

*Источники:* частота – Национальный корпус русского языка (ruscorpora.ru), включает электронные тексты письменного русского языка XVIII – начала XXI века (основной корпус); записи устной речи, газетный, поэтический и диалектный корпуса, синтаксически размеченный корпус, акцентологический, мультимедийный и обучающий корпуса, корпус древнерусского языка, косинусная близость – rusvectors.org.

Как правило, метафорические действия отличаются отрицательной косинусной близостью задающего контекст существительного к глаголу.