

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 796.41

DOI: 10.26456/vtbio418

ДИНАМИКА СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОБ НА УСТОЙЧИВОСТЬ У ВЗРОСЛЫХ ЗДОРОВЫХ ЛИЦ 18–20 ЛЕТ

А.А. Бакланова¹, В.А. Семилетова¹, Е.В. Дорохов¹, О.В. Кубряк²

¹Воронежский государственный медицинский университет
им. Н.Н. Бурденко, Воронеж

²Московский энергетический институт, Москва

Работа посвящена исследованию динамики стабилOMETрических параметров в ходе выполнения различных тестов при выполнении проб на устойчивость среди молодых взрослых здоровых лиц. В исследовании приняли участие 30 студентов-добровольцев 1–2 курсов ФГБОУ ВО ВГМУ (возраст 18–20 лет). Исследование проведено на стабилОПлатформе, испытуемый находился в положении «европейской стойки» при выполнении испытуемым проб Ромберга. Статистический анализ проводился с использованием программ IBM SPSS Statistics v.26 и StatPlus. Результаты показали, что поддержание устойчивости требует увеличение энергетических затрат организма. Визуальная информация играет ключевую роль в оптимизации вертикального положения тела, способствуя стабилизации позы. Усложненная проба Ромберга приводит к незначительным отклонениям тела, а увеличение показателей при удержании мишени отражает нестабильность позы и требует более тщательного контроля за состоянием своего тела. Анализ корреляционных связей, полученных по Спирмену, показал, что между параметрами статОКинезиОграммы существуют тесные корреляционные связи.

Ключевые слова: *стабилОПлатформа, площадь статОКинезиОграммы, средняя скорость перемещения центра давления, длина перемещения точки давления, индекс энергозатрат, вертикальная устойчивость.*

Введение. Способность поддерживать баланс тела является важным аспектом функционирования человеческого организма, обеспечивающим возможность активного взаимодействия с окружающим миром. Вестибулярная устойчивость человека определяет способность точно и стабильно выполнять двигательные действия в условиях вестибулярных раздражений (Бабанов и др., 2019). В сохранении устойчивого положения тела при линейных и угловых ускорениях, возникающих при движении в пространстве, ведущую роль играет вестибулярный анализатор. Раздражение его структур

вызывает комплекс реакций организма, включающий в себя соматические, сенсорные и вегетативные процессы. Кроме вестибулярного анализатора, в поддержании равновесия тела участвуют зрительная и проприоцептивная сенсорные системы, которые играют не менее важную роль (Кубяк, Гроховский, 2012). Следует полагать, что проведение стабилметрических проб может позволить выявить, какое из чувств — зрение или ощущение положения тела в пространстве — играет более значимую роль в организации движений и поддержании позы (Гаже, 2008; Мезенчук, Кубяк, 2022).

Стабилметрический анализ представляет собой комплекс специализированных тестов, направленных на активацию зрительных рецепторов в условиях виртуальной реальности с последующим анализом постуральных нарушений у пациента. Проблема заключается в том, что данные инструментальных методов, особенно в их комплексном применении, при анализе влияния различных уровней регуляции положения тела, остаются недостаточно исследованными.

Цель работы – исследование динамики стабилметрических показателей при выполнении проб на устойчивость у взрослых здоровых лиц 18–20 лет.

Методика. В исследовании приняли участие 30 студентов-добровольцев 1–2 курсов ФГБОУ ВО ВГМУ (возраст 18–20 лет). Исследование проводилось в соответствии с этическими стандартами, установленными Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации, а также с поправками к «Этическим принципам проведения научных медицинских исследований с участием человека» от 2000 года и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 июня 2003 года № 266. Каждый участник был проинформирован о целях исследования и дал согласие на участие в эксперименте.

Исследование проводилось с использованием стабиллоплатформы ST-150, позволяющей измерить силу и координаты общего центра давления испытуемого на опору (Бабанов и др., 2019).

Исследование проведено на стабиллоплатформе в положении «европейской стойки» при выполнении испытуемым пробы Ромберга. «Европейская» стойка: пятки вместе, носки врозь. Проба Ромберга: положение с разведенными под углом 45 градусов вытянутыми вперед и немного вверх руками. Каждый этап пробы Ромберга продолжался в течение тридцати секунд. На первом этапе испытуемый пребывал в состоянии покоя, его глаза были открыты, а взгляд направлен вперёд (далее – состояние покоя). На втором этапе испытуемый находился в том же положении с закрытыми глазами. Третий этап включал в себя

концентрацию взгляда на метке, расположенной в центре круга (простая проба Ромберга). Четвёртый этап предполагал выполнение задачи по удержанию метки в центре круга, опираясь на своё равновесие (комбинированная, или усложненная, проба Ромберга). При этом движение метки отражало изменение центра давления испытуемого на опору. Соблюдались единство условий для всех испытуемых.

Оценивались следующие показатели: площадь статокинезиограммы (S), средняя скорость перемещения центра давления (V), длина перемещения точки давления (L), индекс энергозатрат – суммарные энергозатраты (A).

Материалы исследования были подвергнуты статистической обработке с использованием методов параметрического и непараметрического анализа. Накопление, корректировка, систематизация исходной информации и визуализация полученных результатов осуществлялись в электронных таблицах Microsoft Office Excel 2016. Статистический анализ проводился с использованием программ IBM SPSS Statistics v.26 и StatPlus.

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению, для этого использовался критерий Шапиро-Уилка. Данные описаны при помощи значений медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3). В работе для наглядности приведены также средние значения полученных данных (M).

Для проверки различий между двумя сравниваемыми парными выборками применен W-критерий Уилкоксона. С целью изучения связи между признаками использовался непараметрический метод – расчет коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Результаты исследования и обсуждение. В состоянии покоя показатель длины статокинезиограммы (L) в среднем составил 151,07 мм, медиана 158 мм (Q1=135,68, Q3=177,30). При закрытых глазах среднее значение длины статокинезиограммы увеличилось до 296,09 мм, медиана до 256,70 мм (Q1=197,30, Q3=362,80; $z=-4,78$, $p<0,001$), что соответствовало значениям нормы.

При фокусировке взгляда на метке в центре круга средний показатель длины статокинезиограммы увеличился примерно в 5 раз относительно состояния покоя и составил 833,52 мм, медиана увеличилась примерно в 4 раза (Q1=332,26, Q3=914,94; $z=-4,782$, $p<0,001$). При выполнении комбинированной пробы Ромберга показатель L увеличился примерно в 10 раз относительно состояния покоя и составил 1566,91, медиана увеличилась в 6 раз ($z=-4,782$, $p<0,001$) (рис. 1).

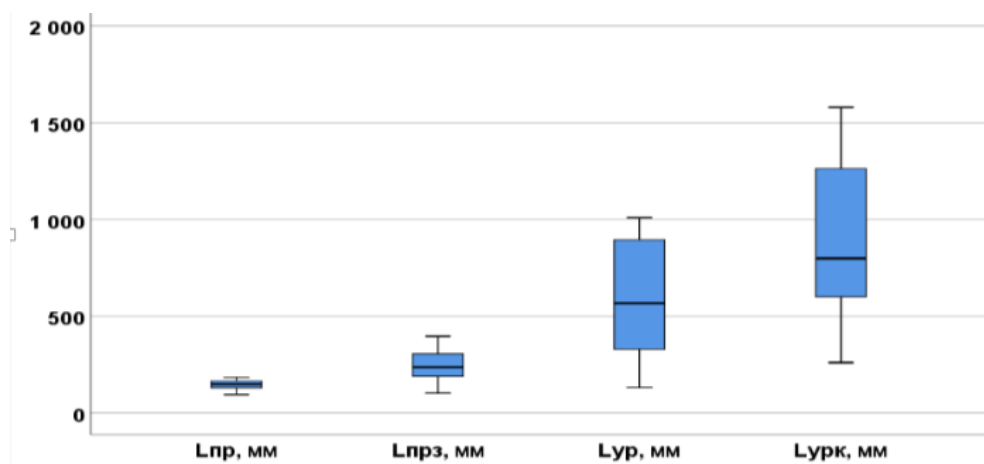


Рис. 1. Показатели длины статокинезиограммы в состоянии покоя с открытыми глазами (Lпр), в состоянии покоя с закрытыми глазами (Lпрз), при выполнении простой (Lур) и усложненной (Lурк) пробы Ромберга, мм

В состоянии покоя среднее значение площади статокинезиограммы (S) составило $49,46 \text{ мм}^2$, при этом медиана равнялась $47,40$ ($Q1=37,20$, $Q3=64,60$). При закрытых глазах среднее значение площади статокинезиограммы увеличилось до $159,88 \text{ мм}^2$, а медиана — до $126,50$ ($Q1=62,70$, $Q3=221,20$, $z=-4,78$, $p<0,001$). При фокусировке взгляда на метке в центре круга среднее значение площади статокинезиограммы увеличилось примерно в 7 раз по сравнению с состоянием покоя, а медиана увеличилась примерно в 5 раз ($z=-4,783$, $p<0,001$). При выполнении комбинированной пробы среднее значение площади статокинезиограммы уменьшилось относительно состояния покоя с закрытыми глазами и относительно состояния при выполнении простой пробы Ромберга, но при этом увеличилось относительно состояния покоя с открытыми глазами примерно в 4 раза, а медиана - в 2 раза ($z=-4,782$, $p<0,001$) (рис. 2).

Значение площади статокинезиограммы, прежде всего, позволяет оценить характеристики вестибулярных функций, которые снизились при выполнении усложненной пробы Ромберга относительно простой. Как мы полагаем, при выполнении усложненной пробы Ромберга устойчивость испытуемых выше, чем при выполнении простых проб. Это можно объяснить увеличением концентрации внимания и вовлечением ассоциативных областей мозга в решение поставленной задачи.

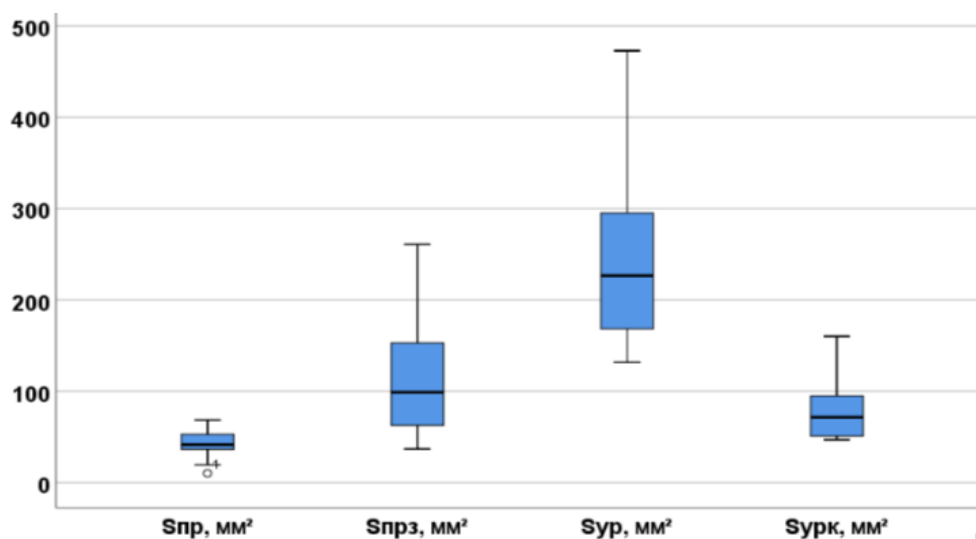


Рис. 2. Показатели площади статокинезиограммы в состоянии покоя с открытыми глазами (Snp), в состоянии покоя с закрытыми глазами (Snpз), при выполнении простой (Syp) и усложненной (Sypк) пробы Ромберга, мм²

В состоянии покоя среднее значение средней скорости статокинезиограммы (V) составило 5,81 мм/с, при этом медиана равна 6,00 ($Q1 = 4,70$, $Q3 = 7,30$). При закрытых глазах среднее значение увеличилось до 9,54 мм/с, а медиана — до 8,60 ($z = -4,794$ $p < 0,001$). При фокусировке взгляда на метке, расположенной в центре круга, средний показатель увеличился до 5,97 мм/с, а медиана — снизилась ($z = -1,080$ $p < 0,001$). При выполнении комбинированной пробы средний показатель скорости и медиана увеличились ($z = -4,794$ $p < 0,001$) относительно состояния покоя (рис. 3).

В состоянии покоя показатель индекса энергозатрат (A) в среднем равен 1,67 Дж, при этом медиана составляет 1,20 ($Q1 = 0,90$, $Q3 = 2,13$). При закрытых глазах среднее значение увеличивается до 4,72, а медиана — до 3,69 ($Q1 = 2,77$, $Q3 = 5,58$, $z = 4,783$ $p < 0,001$). При фокусировке взгляда на метке в центре круга средний показатель индекса энергозатрат увеличивается примерно в 7 раз и составляет 12,56, а медиана увеличивается всего до 2,98 ($Q1 = 1,12$, $Q3 = 5,54$; $z = -4,495$ $p < 0,001$). При выполнении комбинированной пробы показатель индекса энергозатрат увеличивается примерно в 19 раз и составляет 32,57, а медиана увеличивается примерно в 16 раз и равна 19,12 ($Q1 = 16,19$, $Q3 = 25,02$; $z = -4,782$ $p < 0,001$).

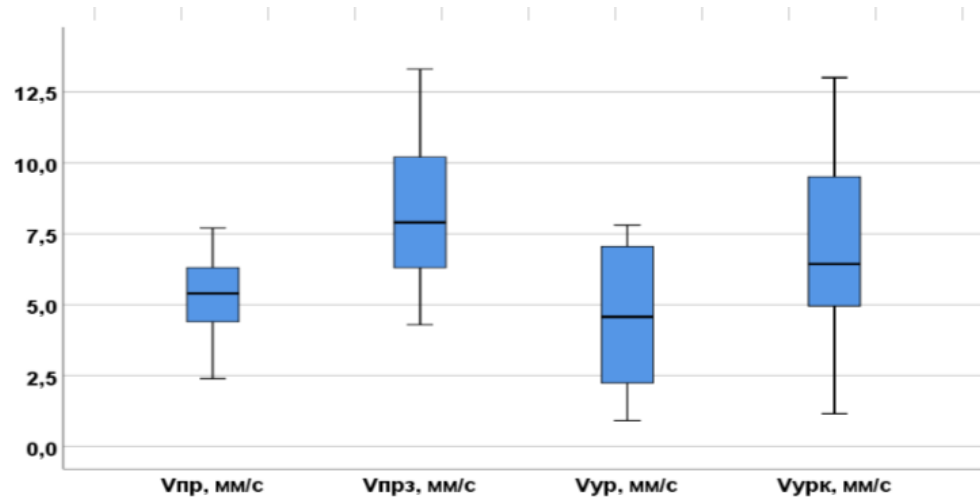


Рис. 3. Показатели средней скорости статокинезиограммы в состоянии покоя с открытыми глазами (Vпр), в состоянии покоя с закрытыми глазами (Vпрз), при выполнении простой (Vур) и усложненной (Vурк) пробы Ромберга, мм/с

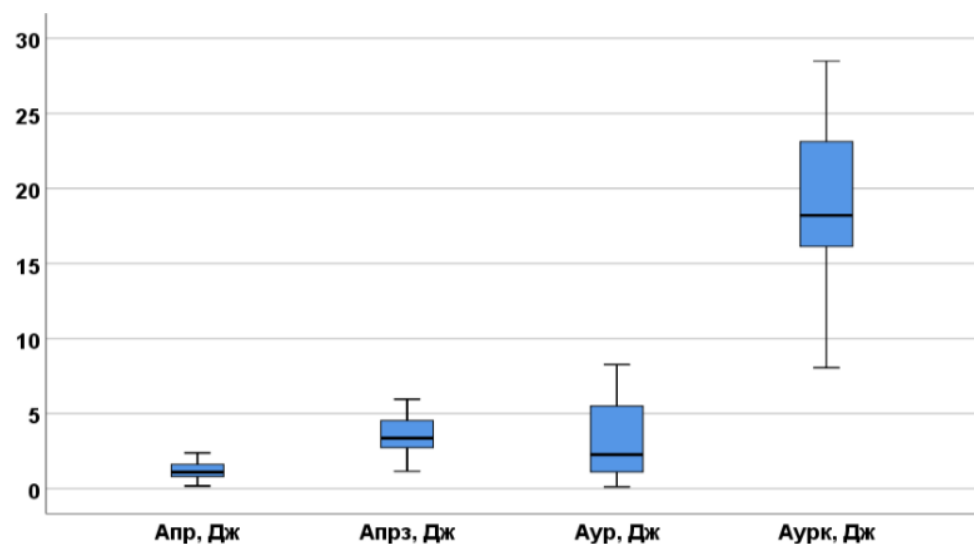


Рис. 4. Показатели индекса энергозатрат по данным статокинезиограммы в состоянии покоя с открытыми глазами (Apr), в состоянии покоя с закрытыми глазами (Aprз), при выполнении простой (Aur) и усложненной (Aurk) пробы Ромберга, Дж

Следовательно, поддержание устойчивости при выполнении усложненной пробы Ромберга требует увеличения энергозатрат.

Таким образом, при выполнении пробы Ромберга с закрытыми глазами отмечается увеличение средней скорости перемещения центра

давления, что связано с уменьшением сенсорной информации. Увеличение площади статокинезиограммы свидетельствует о том, что зрительная информация используется для улучшения устойчивости в вертикальном положении.

При выполнении усложнённой пробы Ромберга были зафиксированы незначительные отклонения тела. Эти отклонения быстро компенсировались, не вызывая изменения положения ног или падения. Компенсация происходила за счёт взаимодействия двигательных рецепторов и вестибулярного анализатора.

Удержание мишени с помощью центра равновесия приводила к ещё большему увеличению показателей, что отражало нестабильность позы человека и увеличение энергозатрат на её поддержание, а также более тщательного контроля за состоянием своего тела.

Анализ корреляционных связей, полученных по Спирмену, показал, что между параметрами статокинезиограммы существуют тесные корреляционные связи. Однако при усложнении задания теснота корреляционных связей между длиной статокинезиограммы и индексом энергозатрат, и между индексом энергозатрат и площадью статокинезиограммы увеличивалась. Корреляционная связь между скоростью и площадью статокинезиограммы при этом несколько снижалась (рис. 5).

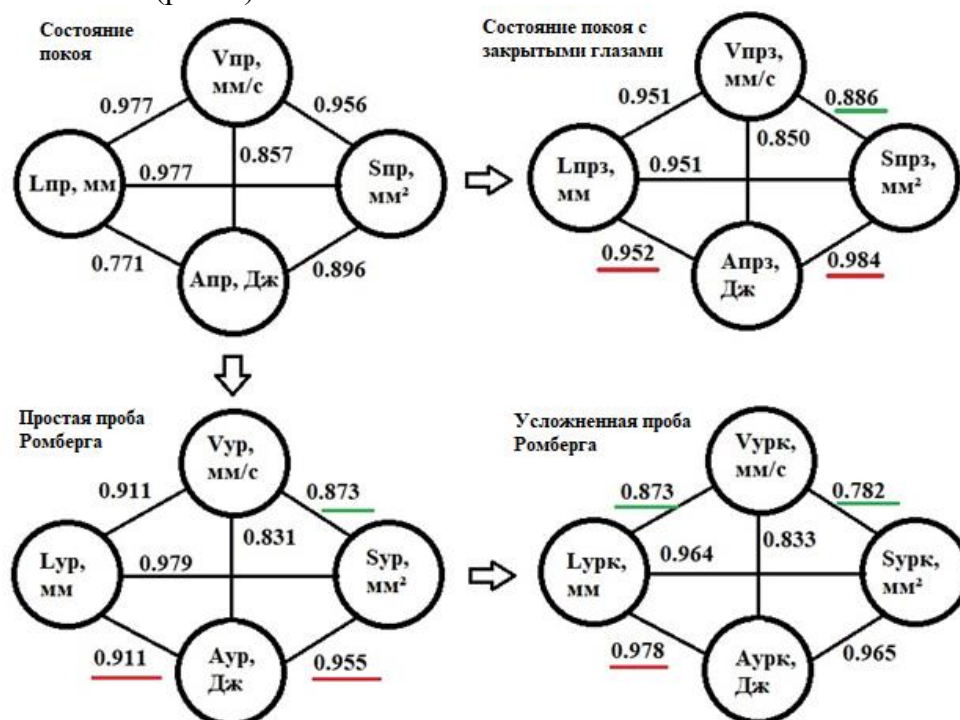


Рис. 5. Корреляционные связи между показателями статокинезиограммы (по Спирмену)

В ряде работ показано, что теснота корреляционных связей отражает уровень напряжения в системе (Шерстяных, 2002; Кулагин и др., 2023). Как мы полагаем, индекс энергозатрат является показателем, отражающим уровень напряжения в организме при усложнении вестибулярного задания, а скорость статокинезиограммы – включение компенсационных механизмов.

Выводы: 1. Поддержание устойчивости при выполнении усложненной пробы Ромберга, по данным статокинезиограммы, сопровождается увеличением энергозатрат организма по отношению к простой пробе Ромберга.

2. При выполнении пробы Ромберга с закрытыми глазами отмечается увеличение средней скорости перемещения центра давления, что, возможно, связано с уменьшением сенсорной информации о положении человека в пространстве.

3. При выполнении усложненной пробы Ромберга были зафиксированы незначительные отклонения положения тела. Эти отклонения быстро компенсировались, не вызывая изменения положения ног или падения. Компенсация происходила за счёт взаимодействия двигательного и вестибулярного аппарата.

4. Удержание мишени с помощью центра равновесия приводило к ещё большему увеличению всех показателей, таких как площадь, длина, скорость статокинезиограммы и индекс энергозатрат, что отражало нестабильность позы человека и увеличение энергозатрат на ее поддержание, а также потребность в более тщательном контроле за состоянием своего тела.

5. Анализ корреляционных связей показал, что индекс энергозатрат является показателем уровня напряжения в системе при усложнении вестибулярного задания, а показатель скорости статокинезиограммы отражает включение компенсационных механизмов у здоровых молодых людей.

Список литературы

- Бабанов Н.Д., Каленова А.А., Серченко Я.А., Гроховский С.С., Кубряк О.В. 2019. Стандартизация, взаимозаменяемость и анализ предложений стабилотранспортировочных платформ в России // Проблемы стандартизации в здравоохранении. № 9-10. С. 10-17. DOI: 10.26347/1607-2502201909-10010-017.
- Гаже П.М. Постурология. 2008. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. СПб.: СПбМАПО. 320 с.
- Кубряк О.В., Гроховский С.С. 2012. Практическая стабилотриметрия. Статические двигательные-когнитивные тесты с биологической обратной

- связью по опорной реакции. М.: Маска. 88 с.
- Кубряк О.В., Кривошей И.В. 2016. Анализ научной области на примере обзора диссертационных работ // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. № 6. С. 52-68. DOI: 10.14515/monitoring.
- Кубряк О.В., Гроховский С.С., Доброродный А.В. 2018. Исследование опорных реакций человека (постурография, стабилометрия) и биологическая обратная связь в программе STPL. Москва: Мера-ТСП. 121 с.
- Кулагин П.А., Лапкин М.М., Трутнева Е.А. 2023. Особенности гемодинамики головного мозга и вариабельности сердечного ритма у молодых мужчин при выполнении моделируемой когнитивной деятельности с неодинаковой результативностью // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. Т. 31. № 1. С. 79-88. DOI: 10.17816/PAVLOVJ109281.
- Мезенчук А.И., Кубряк О.В. 2022. Проба Ромберга: от ходьбы в темноте до тестов на стабиллоплатформе // Альманах клинической медицины. № 50(5). С. 335-347. DOI: 10.18786/2072-0505- 2022-50-040.
- Николаева А.Г. 2018. СтатокINETическая устойчивость пациентов в процессе курса реабилитации // Материалы 73-й науч. сессии сотр. университета «Достижения фундаментальной медицины и фармации». Витебск. С. 286-289.
- Шерстяных В.А. 2002. Эколого-психофизиологические закономерности адаптации студентов-биологов к обучению в вузе: дис. ... канд. биол. наук. Воронеж. 216 с.

DYNAMICS OF STABILOMETRIC PARAMETERS DURING POSTURAL STABILITY TESTS IN HEALTHY ADULTS AGED 18-20 YEARS

A.A. Baklanova¹, V.A. Semiletova¹, E.V. Dorokhov¹, O.V. Kubryak²

¹Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh

²Moscow Power Engineering Institute, Moscow

This study investigates the dynamics of stabilometric parameters during various postural stability tests among healthy young adults. The study involved 30 volunteer students from the 1st and 2nd years at Voronezh State Medical University (age 18–20 years). Measurements were conducted using a stabilometric platform with subjects positioned in the “European stance” during Romberg tests. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics v.26 and StatPlus software. Results indicated that maintaining postural stability requires increased energy expenditure. Visual input plays a key role in optimizing the vertical body position, contributing to posture

stabilization. A more challenging Romberg test resulted in minor body sway, while increased parameters when maintaining a target indicate postural instability and necessitate more precise body control. Spearman correlation analysis revealed strong correlations among the parameters of the statokinesiogram.

Keywords: *stabilometric platform, statokinesiogram area, mean center of pressure velocity, center of pressure displacement length, energy expenditure index, vertical stability.*

Об авторах:

БАКЛАНОВА Анна Александровна – ассистент кафедры нормальной физиологии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, 394018, Воронеж, ул. Чайковского, 3А, e-mail: bklnv08@yandex.ru.

СЕМИЛЕТОВА Вера Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры нормальной физиологии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, г394018, Воронеж, ул. Чайковского, 3А, e-mail: vera2307@mail.ru.

ДОРОХОВ Евгений Владимирович – кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедры нормальной физиологии, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, 394018, Воронеж, ул. Чайковского, 3А, e-mail: dorofov@mail.ru.

КУБРЯК Олег Витальевич – доктор биологических наук, профессор кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин, НИУ «МЭИ», 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, e-mail: o.kubryak@nphys.ru.

Бакланова А.А. Динамика стабилметрических показателей при выполнении проб на устойчивость у взрослых здоровых лиц 18–20 лет / А.А. Бакланова, В.А. Семилетова, Е.В. Дорохов, О.В. Кубряк // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2025. № 3(79). С. 7–16.

Дата поступления рукописи в редакцию: 06.05.25

Дата подписания рукописи в печать: 01.09.25