

ОСОБЕННОСТИ ДАННЫХ БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ И ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ У ДЕТЕЙ С ДЕТСКИМ ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

С. В. Власенко, Г. В. Лёвин , Э. А. Османов


Научно-исследовательский институт детской курортологии, физиотерапии и медицинской реабилитации, Евпатория, Россия

Оценка функционального состояния мышц у детей с детским церебральным параличом (ДЦП) является важным аспектом для разработки персонализированных реабилитационных программ. Совместное использование биоимпедансометрии (БИМ) и электромиографии (ЭМГ) позволяет оптимизировать методы диагностики и повысить эффективность терапии. Целью работы было провести сравнение группы пациентов с ДЦП ($n = 91$) и здоровых детей ($n = 94$) с помощью БИМ и ЭМГ. Согласно данным БИМ, пациенты были разделены по четырем категориям: А — увеличение доли жировой массы (ДЖМ), уменьшение скелетно-мышечной массы (СММ); В — уменьшение ДЖМ, увеличение СММ; С — увеличение обоих показателей; D — уменьшение обоих показателей. При анализе учитывали половой признак и средний возраст для каждой из групп. Пациенты с ДЦП (М: ДЖМ $p = 0,0001$, СММ $p = 0,0015$; Ж: ДЖМ $p = 0,0003$, СММ $p = 0,0009$) независимо от пола продемонстрировали схожее распределение — большая часть заняла категории С (М — 50%; Ж — 46,9%) и D (М — 32,5%; Ж — 28,1%). Группа здоровых детей (М: ДЖМ $p = 0,0005$, СММ $p = 0,0004$; Ж: $p = 0,0013$, $p = 0,0008$) показала диаметрально противоположную тенденцию — количественное преимущество пациентов мужского пола оказалось у категорий А (34%) и В (34%). В группе женского пола большая часть пациентов оказалась в В (40,4%), на втором месте по количеству пациентов — в С (27,6%), что гораздо ниже, чем в группе детей с ДЦП. Отслеживали также значения фазового угла — достоверная разница ($p < 0,05$) с преимуществом в категориях А и В, независимо от группы и пола. Данные электромиографии также обозначили преимущество категорий А и В при рассмотрении амплитуды турнов. Сделан вывод о наличии функциональных различий скелетной мускулатуры у обозначенных категорий пациентов.

Ключевые слова: дети, ДЦП, мышечная деятельность, биоимпедансометрия, реабилитация, электромиография

Вклад авторов: С. В. Власенко — концепция исследования, разработка методологии, анализ и систематизация экспериментальных данных, интерпретация результатов; Г. В. Лёвин — сбор, систематизация и аккумулирование данных, статистическая обработка, написание и оформление рукописи; Э. А. Османов — сравнительный анализ данных, обобщение результатов, формулировка выводов, редактирование рукописи, работа с графическим материалом.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом ГБУЗ РК «НИИ ДКФ и МР» (протокол № 21 от 14 декабря 2022 г.). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие.

 **Для корреспонденции:** Глеб Валерьевич Лёвин
ул. Маяковского, д. 6, г. Евпатория, 297412, Россия; levingv2002@gmail.com

Статья получена: 19.12.2024 **Статья принята к печати:** 18.02.2025 **Опубликована онлайн:** 27.02.2025

DOI: 10.24075/vrgmu.2025.012

Авторские права: © 2025 принадлежат авторам. **Лицензиат:** РНИМУ им. Н. И. Пирогова. Статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

FEATURE OF BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS AND ELECTROMYOGRAPHY DATA IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY

Vlasenko SV, Lyovin GV , Osmanov EA


Scientific Research Institute of Children's Balneology, Physiotherapy and Medical Rehabilitation, Yevpatoria, Russia

Assessment of muscle functional state in children with cerebral palsy (CP) is an important aspect of developing personalized rehabilitation programs. The combined use of bioelectrical impedance analysis (BIA) and electromyography (EMG) makes it possible to optimize the diagnosis methods and improve therapy efficacy. The study aimed to compare groups of patients with CP ($n = 91$) and healthy children ($n = 94$) using BIA and EM. Based on the BIA data the patient were divided into four categories: A — increased body fat percentage (BFP), reduced skeletal muscle mass (SMM); B — decreased BFP, increased SMM; C — increase in both indicators; D — decrease in both indicators. The analysis considered gender and average age of each group. Patients with CP (M: BFP $p = 0.0001$, SMM $p = 0.0015$; F: BFP $p = 0.0003$, SMM $p = 0.0009$), regardless of gender, showed similar distribution: the majority belonged to categories C (M — 50%; F — 46.9%) and D (M — 32.5%; F — 28.1%). The group of healthy people (M: BFP $p = 0.0005$, SMM $p = 0.0004$; F: $p = 0.0013$, $p = 0.0008$) showed the opposite trend: the majority of patients belonged to categories A (34%) and B (34%). In the group of females, the majority of patients belonged to group B (40.4%), group C ranked second based on the number of patients (27.6%), which was considerably lower, than in the group of children with CP. The phase angle values were also traced: there were significant differences ($p < 0.05$) with superiority of categories A and B, regardless of the group and gender. The EMG data also showed superiority of categories A and B when considering turn amplitudes. A conclusion was drawn about the skeletal muscular function differences in the specified categories of patients.

Keywords: children, ICP, muscle activity, bioimpedance, rehabilitation, electromyography

Author contribution: Vlasenko SV — study concept, developing methods, experimental data analysis and systematization, interpretation of the results; Lyovin GV — data acquisition, systematization, and accumulation, statistical processing, manuscript writing and formatting; Osmanov EA — comparative analysis of data, synthesis of the results, drawing conclusions, manuscript editing, dealing with graphics.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the scientific Research Institute of Children's Balneology, Physiotherapy and Medical Rehabilitation (protocol No. 21 dated 14 December 2022). All the patients submitted the informed consent to participation in the study.

 **Correspondence should be addressed:** Gleb V. Lyovin
Mayakovsky, 6, Yevpatoria, 297412, Russia; levingv2002@gmail.com

Received: 19.12.2024 **Accepted:** 18.02.2025 **Published online:** 27.02.2025

DOI: 10.24075/brsmu.2025.012

Copyright: © 2025 by the authors. **Licensee:** Pirogov University. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Детский церебральный паралич (ДЦП) — одна из ведущих причин инвалидизации в детском возрасте. По данным эпидемиологических исследований, его распространенность составляет от 1,5 до 4 случаев на 1000 новорожденных [1–2]. ДЦП характеризуется стойкими двигательными нарушениями, вызванными непрогрессирующими поражениями центральной нервной системы в перинатальном периоде. Эти нарушения значительно ограничивают повседневную активность и снижают качество жизни пациентов, что подчеркивает необходимость разработки эффективных подходов к диагностике и реабилитации [3–4].

Одна из ключевых проблем у пациентов с ДЦП — метаболические нарушения, связанные с изменением состава тела. У таких детей часто наблюдается снижение мышечной массы на фоне увеличения жировой ткани, что негативно влияет на общий метаболический статус и затрудняет реабилитацию [5–6]. В связи с этим актуальна разработка методов, позволяющих точно оценить состав тела и выявить ранние признаки метаболических нарушений.

В последние годы биоимпедансный анализ (БИА) широко применяют для оценки состава тела. Этот неинвазивный метод позволяет количественно определить долю жировой и мышечной масс, а также уровень гидратации, что особенно важно для пациентов с ДЦП [7–9]. Преимуществом БИА является его высокая точность и возможность многократного применения без риска для пациента, что позволяет проводить динамический мониторинг изменений состава тела в процессе реабилитации [10–11]. Внедрение БИА в клиническую практику способствует раннему выявлению групп риска и разработке индивидуализированных подходов к лечению [12–13].

Однако существующие методы оценки метаболического статуса у детей с ДЦП часто не учитывают специфику их состояния [14–16]. Внедрение БИА представляет собой инновационный подход, который может повысить точность диагностики и способствовать разработке целенаправленных реабилитационных стратегий.

Таким образом, актуальность проблемы ДЦП, значимость БИА для диагностики метаболических нарушений и инновационный подход к их выявлению подчеркивают необходимость дальнейших исследований в данной области.

Цель исследования — оценка возможностей БИА для выявления метаболических нарушений у детей с ДЦП. Гипотеза заключается в том, что использование БИА позволит не только количественно оценить изменения состава тела, но и проследить особенности метаболических процессов, что может способствовать оптимизации лечебных и реабилитационных мероприятий.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены 94 пациента с ДЦП, формы — спастический монопарез, спастическая диплегия, спастический тетрапарез, другие виды ДЦП. Контрольная группа — здоровые дети ($n = 94$).

Критерии включения: возраст 6–16 лет, средний возраст — 10,6 ($\pm 1,19$); отсутствие снижения когнитивных функций. Все участники с диагнозом ДЦП имели I–III уровни по классификации общей двигательной функциональной системы (GMFCS), что указывает на легкие/средние нарушения подвижности и способность стоять и передвигаться без посторонней помощи.

Критерии исключения: отказ пациента участвовать в исследовании; наличие сопутствующих заболеваний

центральной нервной системы; общие противопоказания для проведения реабилитационных процедур; уровень IV по классификации GMFCS, что указывает на серьезные нарушения подвижности и невозможность стоять или ходить без посторонней помощи.

Пациенты были разделены на две группы: 1) дети с ДЦП; 2) здоровые дети. При разделении учитывали гендерный признак.

Всех участников обследовали методом многочастотной биоимпедансометрии (БИМ) с использованием тетраполярных электродов, а также изучали мышцы сгибательной и разгибательной групп предплечья, методом интерференционной электромиографии (иЭМГ), выполненной на аппаратно-программном комплексе Нейро-МВП («Нефрософт», Иваново, Россия). Метод является востребованным инструментом оценки функционального состояния мышц, что позволяет применять его в реабилитационной медицине для более индивидуализированного подхода к назначению процедур и для оценки качества проводимого лечения [17–18]. БИМ представляет собой неинвазивный способ оценки состава тела, который основан на измерении электрического сопротивления тканей [19–20]. Этот метод становится все более актуальным в медицинской реабилитации, особенно для детей с ДЦП, поскольку позволяет получать информацию о распределении жировой и мышечной массы, а также об общем состоянии здоровья [21–22]. Актуальность метода подчеркивается его использованием в качестве вспомогательного инструмента для планирования реабилитационных программ с учетом нутритивного статуса пациента, оценки эффективности назначенных процедур с помощью показателей БИМ, корректировки скрытых проблем с питанием [23–24]. Все это в итоге позволяет максимально персонализировать реабилитационные подходы, улучшая качество жизни и прогнозы пациента. Электромиографию в данном исследовании использовали для объективизации данных БИМ — отмечая изменения в функциональной активности скелетной мускулатуры, можно косвенно судить о правильности интерпретации данных БИМ.

В зависимости от результатов БИМ пациенты были отнесены к следующим подгруппам, с сохранением принадлежности по наличию диагноза.

- Повышение ДЖМ и снижение СММ ($\uparrow\downarrow$)
- Снижение ДЖМ и повышение СММ ($\downarrow\uparrow$)
- Повышение количества ДЖМ и СММ ($\uparrow\uparrow$)
- Снижение ДЖМ и СММ ($\downarrow\downarrow$)

Соответствующие особенности были рассмотрены у здоровых детей, у которых наличествовали следующие группы: 2.A, 2.B, 2.C, 2.D, с приведенными выше особенностями.

Определение снижения и повышения показателей БИА производилось в соответствии с медианными показателями для групп: медиана для группы 1 (М) ДЖМ — 10,36; СММ — 14,27; для группы 1 (Ж) ДЖМ — 7,58; СММ — 15,98; группа 2 (М) ДЖМ — 20,17; СММ — 22,98; группа 2 (Ж) ДЖМ — 26,95; СММ — 16,59. Значения фазового угла в каждой группе служили одним из критериев оценки функциональной состоятельности мышечной ткани [25–27]. Была произведена оценка ИМТ для каждой группы. Полученные перцентильные значения сверяли со стандартными номограммами ВОЗ для соответствующей половой и возрастной категорий [28–30]. Отклонение ИМТ считали значимым при $z\text{-score} > 1,1$ и $z\text{-score} < -1,1$.

Таблица 1. Показатели БИМ для пациентов с ДЦП мужского пола

Показатель	ДЦП				
	М (n = 62)				
	↕ (n = 5) Средний возраст — 9	↘ (n = 6) Средний возраст — 11,6	↙ (n = 31) Средний возраст — 8,4	↗ (n = 20) Средний возраст — 11,8	p-value
ДЖМ	17,51 (±1,58)	9,55 (±0,77)	4,6 (±1,83)	17,79 (±2,85)	0,0001
СММ	11,87 (±0,37)	15,94 (±0,99)	8,37 (±2,31)	22,92 (±4,94)	0,0015
ФУ	7,72 (±0,05)	8,31 (±0,12)	6,16 (±0,09)	6,67 (±0,11)	0,012
ИМТ	22	17,95	15,73	23,8	
Z-score (ИМТ)	0,86	-0,29	-0,93	1,38	

Примечание: ДЦП — детский церебральный паралич; ИМТ — индекс массы тела; ДЖМ — доля жировой массы; СММ — скелетно-мышечная масса; ФУ — фазовый угол.

Статистическую обработку проводили с помощью программы STATISTICA 10.0 (StatSoft Inc., США).

Количественные показатели — среднее арифметическое, стандартное отклонение.

Для оценки распределения — критерий Шапиро–Уилка, тест Левена для оценки гомогенности дисперсий.

Для оценки достоверности — однофакторный дисперсионный анализ, оценка F-распределения, для попарных сравнений использовали поправку Бонферрони.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При анализе данных БИМ пациентов с ДЦП мужского пола (отличия по возрасту в группах сравнения, $p < 0,0001$) (табл. 1), было установлено преобладание групп с одновременным повышением или снижением исследуемых показателей (А — 8,1%; В — 9,40%; С — 50%; D — 32,5%) (рис. 2) при этом значения фазового угла ($\mu = 7,215$) у групп А (+0,51; +7%) и В (+1,095; 15,17%) выше, чем у С (-1,06; -14,62%) и D (-0,55; -7,55%), что может указывать на несостоятельность скелетной мускулатуры и общую нетренированность организма последних групп, несмотря на более высокую СММ ($\mu = 14,76$) в D-группе (+8,145; +55,23%).

Значимое отклонение ИМТ по z-score наблюдается у категории пациентов с единовременным повышением ДЖМ и СММ, остальные группы сохраняют общность распределения, что отражает невысокую аналитическую функцию ИМТ при оценке нутритивного статуса пациентов.

В группе женского пола (отличия по возрасту в группах, $p < 0,001$) (табл. 2) можно проследить и обозначить общую тенденцию пациентов с ДЦП к распределению большинства пациентов в группы С и D (А — 18,75%; В — 6,25%; С — 46,9%; D — 28,1%), с превалированием лучших оценок фазового угла ($\mu = 7,89$) у групп А (+0,5; +6,1%) и

В (+1,14; 14,5%). При оценке ИМТ также соблюдается склонность к значимому отклонению в группе D, тогда как остальные группы остаются в пределах значений, которые соответствуют референсным перцентильным значениям.

Показатели БИМ группы пациентов мужского пола без ДЦП (отличия в группах, $p < 0,001$) (табл. 3) позволяют выявить диаметрально иную закономерность распределения: количество пациентов в группах А и В преобладает (А — 34%; В — 34%; С — 19,2%; D — 12,8%, что косвенно подтверждает связь лучшего качества ткани при разноименном распределении, так как подобная особенность присуща именно здоровым детям. При этом лучшие результаты измерений фазового угла ($\mu = 6,215$) также сохраняются у групп А (+0,47; +7,48%) и В (+0,71; +11,34%). Оценка ИМТ не позволяет говорить о значимых различиях между группами, оставляя все значения в пределах референсных перцентилей.

Оценка параметров БИМ у группы здоровых пациентов женского пола (отличия в группах сравнения, $p < 0,001$) (табл. 4) показывает незначительное преимущество групп В и С (А — 19,2%; В — 40,4%; С — 27,6%; D — 12,8%), с сохранением склонности к лучшим значениям фазового угла ($\mu = 6,57$) у первых двух групп (А = +0,25; +3,8%; В = +0,52; +7,91%) и, согласно перцентильным таблицам, значимому отклонению ИМТ только в группе D.

Метод интерференционной электромиографии (иЭМГ) позволяет заметить, что амплитуда турнов (Атур) симметрично выше у групп А и В обоих полов (табл. 5). Это позволяет непосредственно судить о функциональной характеристике мышц верхних конечностей и косвенно о состоянии других мышечных групп. Несмотря на более высокие показатели мышечной массы в группе D, значения Атур здесь ниже, чем в первых двух группах. Это может свидетельствовать о том, что увеличение мышечной массы не всегда коррелирует с функциональной активностью

Таблица 2. Показатели БИМ для пациентов с ДЦП женского пола

Показатель	ДЦП				
	Ж (n = 32)				
	↕ (n = 6) 1 Средний возраст — 11	↘ (n = 2) 12 Средний возраст — 12	↙ (n = 15) 8 Средний возраст — 8,4	↗ (n = 9) Средний возраст — 11,55	p-value
ДЖМ	11,51 (±1,47)	3,4 (±0,77)	4,52 (±1,47)	13,03 (±2,47)	0,0003
СММ	13,52 (±0,44)	24,8 (±3,05)	8,89 (±2,71)	19,76 (±3,56)	0,0009
ФУ	8,40 (±0,28)	9,03 (±1,01)	7,36 (±0,98)	6,80 (±0,35)	0,023
ИМТ	18,15	15,2	15,06	19,27	
Z-score (ИМТ)	0,63	-0,97	-1,05	1,23	

Примечание: ДЦП — детский церебральный паралич; ИМТ — индекс массы тела; ДЖМ — доля жировой массы; СММ — скелетно-мышечная масса; ФУ — фазовый угол.

Таблица 3. Показатели БИМ для пациентов с ДЦП мужского пола

Показатель	Пациенты без ДЦП				
	М (n = 47)				
	↯ (n = 16) Средний возраст — 11,2	↯ (n = 16) Средний возраст — 11,4	↯ (n = 9) Средний возраст — 10	↯ (n = 6) Средний возраст — 9,4	p-value
ДЖМ	27,04 (±2,44)	15,69 (±1,39)	16,14 (±1,29)	22,13 (±0,90)	0,0005
СММ	17,61 (±1,81)	28,38 (±2,18)	19,25 (±2,07)	26,05 (±0,57)	0,0004
ФУ	6,68 (±0,64)	6,92 (±0,47)	5,45 (±0,83)	5,81 (±0,21)	0,021
ИМТ	18,46	19,54	17,27	18,1	
Z-score (ИМТ)	-0,05	0,75	-0,94	-0,32	

Примечание: ДЦП — детский церебральный паралич; ИМТ — индекс массы тела; ДЖМ — доля жировой массы; СММ — скелетно-мышечная масса; ФУ — фазовый угол.

мышц, подчеркивая важность комплексного подхода к оценке состояния скелетной мускулатуры. Кроме того, так как количество СММ у А и С схоже, активность скелетной мускулатуры выше у группы со смешанными изменениями. Это может указывать на различия в нейромышечной функции и адаптации между этими группами.

Принимая во внимание полученные данные иЭМГ и БИМ, можно сделать вывод о неких структурных и функциональных отличиях скелетной мышечной ткани в группах А и В.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование выявило значимые различия в составе тела и функциональном состоянии скелетной мускулатуры у пациентов с ДЦП по сравнению со здоровыми детьми. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, в которых также отмечены специфические изменения в составе тела у детей с ДЦП, такие как снижение мышечной массы и увеличение

доли жировой ткани [8, 10, 12]. Однако наши результаты дополняют существующие знания, демонстрируя, что эти изменения носят неоднородный характер.

Снижение фазового угла в группах С и D у мальчиков с ДЦП коррелирует с данными иЭМГ, показавшей низкую Атур в этих группах, несмотря на повышенную СММ. Это подтверждает гипотезу о структурно-функциональной диссоциации мышц при ДЦП, описанную в исследованиях [11]. У девочек с ДЦП значения фазового угла были выше, что может быть обусловлено гормональными особенностями и адаптивностью метаболизма.

У здоровых детей распределение по группам (А — 34%, В — 34% у мальчиков; В — 40,4% у девочек) и высокие показатели Атур подтверждают связь разнонаправленных изменений ДЖМ/СММ с лучшим качеством мышц. Это согласуется с концепцией физиологической гетерогенности состава тела в норме [26, 29].

У пациентов женского пола с ДЦП наблюдалась схожая тенденция к распределению в группы С и D, что подтверждает общность метаболических нарушений

Таблица 4. Показатели биоимпедансометрии для пациентов без ДЦП женского пола

Показатель	Пациенты без ДЦП				
	Ж (n = 47)				
	↯ (n = 9) Средний возраст — 10,6	↯ (n = 19) Средний возраст — 10,8	↯ (n = 13) Средний возраст — 11,5	↯ (n = 6) Средний возраст — 10,2	p-value
ДЖМ	37,05 (±4,61)	23,01 (±1,31)	16,76 (±4,56)	32,17 (±3,17)	0,0013
СММ	13,30 (±0,30)	18,39 (±0,59)	13,87 (±1,29)	18,60 (±0,61)	0,0008
ФУ	6,82 (±0,20)	7,09 (±0,69)	6,02 (±1,05)	6,36 (±0,88)	0,019
ИМТ	20,73	18,4	16,1	20,55	
Z-score (ИМТ)	0,83	-0,38	0,73	-1,57	

Примечание: ДЦП — детский церебральный паралич; ИМТ — индекс массы тела; ДЖМ — доля жировой массы; СММ — скелетно-мышечная масса; ФУ — фазовый угол.

Таблица 5. Показатели интерференционной ЭМГ сравниваемых групп

ДЦП (пол)	Группы	Исследуемые мышцы (Атур (мкВ))			
		<i>m. flexor carpi ulnaris</i>		<i>m. extensor digitorum</i>	
		Справа	Слева	Справа	Слева
Мужчины	А	223,05 (±12,20)	242,44 (±6,84)	256,32 (±12,51)	274,04 (±14,65)
	В	270,75 (±22,04)	255,20 (±5,21)	313,74 (±11,27)	301,36 (±13,58)
	С	172,59 (±14,50)	166,07 (±11,98)	212,15 (±10,17)	204,33 (±10,03)
	Д	200,65 (±8,98)	198,84 (±6,39)	221,24 (±6,03)	218,48 (±12,98)
Женщины	А	180,38 (±14,80)	188,96 (±9,20)	201,98 (±9,10)	203,55 (±6,52)
	В	233,26 (±9,45)	240,02 (±8,32)	247,05 (±9,10)	250,24 (±8,07)
	С	139,65 (±5,23)	142,33 (±6,39)	155,03 (±6,71)	159,90 (±11,63)
	Д	128,48 (±7,68)	137,94 (±8,25)	134,35 (±8,99)	148,10 (±10,29)

у детей с ДЦП независимо от пола. Однако у девочек значения фазового угла были выше, чем у мальчиков, что может быть связано с различиями в гормональном фоне и особенностях распределения жировой и мышечной массы.

Обнаруженные различия в составе тела и функциональном состоянии мышц у пациентов с ДЦП могут быть объяснены несколькими механизмами. Во-первых, ограниченная физическая активность и снижение двигательных функций у детей с ДЦП приводят к уменьшению мышечной массы и увеличению доли жировой ткани [14]. Во-вторых, нейромышечные нарушения, характерные для ДЦП, могут вызывать снижение функциональной активности мышц даже при сохранении или увеличении их массы, что подтверждается данными иЭМГ [24]. В-третьих, различия в гормональном фоне и метаболических процессах между мальчиками и девочками могут влиять на распределение жировой и мышечной массы, а также на функциональные характеристики мышц [12].

Ограничения исследования. Одним из ограничений является отсутствие данных о гормональном статусе участников. Для уточнения полученных результатов необходимы дальнейшие исследования с большим количеством участников и учетом дополнительных факторов, таких как уровень физической активности, гормональный статус и особенности питания.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование выявило значимые различия в структурно-функциональных характеристиках мышечной ткани у детей с ДЦП. Это подтверждается данными БИМ, где видно, что гетерогенные по составу мышечной и жировой тканей группы преобладают у здоровых пациентов, а у детей с ДЦП, наоборот, отмечается доминирование гомогенных групп. Особенности фазового угла у представителей изучаемых групп указывают на качественные различия состояния мышц между группами A/B и C/D, что подтверждается отсутствием прямой корреляции между количеством СММ и максимальными значениями фазового угла. Данные иЭМГ для групп А и В демонстрируют более высокую амплитудную активность. Это позволяет подтвердить значимость физиологической гетерогенности организма и опровергает линейную связь «объем – сила». Полученные результаты подчеркивают необходимость включения оценки структурно-метаболического статуса мышц в алгоритмы реабилитации при ДЦП для повышения их эффективности. Перспективным направлением является изучение молекулярных механизмов, лежащих в основе выявленного дисбаланса между биоэлектрическими параметрами (фазовый угол, иЭМГ) и метаболизмом мышечной ткани. Это позволит разработать целевые методы коррекции мышечной дисфункции при ДЦП.

Литература

- McIntyre S, Goldsmith S, Webb A, Ehlinger V, Hollung SJ, McConnell, et al. Global CP Prevalence Group. Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis. *Developmental medicine and child neurology*. 2022; 64 (12): 1494–506. Available from: <https://doi.org/10.1111/dmcn.15346>.
- Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, Hines, et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. *Current neurology and neuroscience reports*. 2020; 20 (2): 3. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>.
- Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Translational pediatrics*. 2020; 9 (Suppl 1): S125–S135. Available from: <https://doi.org/10.21037/tp.2020.01.01>.
- Panda S, Singh A, Kato H, Kokhanov A. Cerebral Palsy: A Current Perspective. *NeoReviews*. 2024; 25 (6): e350–e360. Available from: <https://doi.org/10.1542/neo.25-6-e350>.
- Jesus AO, Stevenson RD. Optimizing Nutrition and Bone Health in Children with Cerebral Palsy. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*. 2020; 31 (1): 25–37. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2019.08.001>.
- Metshein M, Tuulik VR, Tuulik V, Kumm M, Min M, Annus P. Electrical Bioimpedance Analysis for Evaluating the Effect of Pelotherapy on the Human Skin: Methodology and Experiments. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2023; 23 (9): 4251. Available from: <https://doi.org/10.3390/s23094251>.
- Arruda RCBF, Tassitano RM, da Silva Brito AL, de Sousa Martins OS, Cabral PC, de Castro Antunes MM. Physical activity, sedentary time and nutritional status in Brazilian children with cerebral palsy. *Jornal de pediatria*. 2022; 98 (3): 303–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2021.07.005>.
- Costa A, Martin A, Arreola V, Riera SA, Pizarro A, Carol, et al. Assessment of Swallowing Disorders, Nutritional and Hydration Status, and Oral Hygiene in Students with Severe Neurological Disabilities Including Cerebral Palsy. *Nutrients*. 2021; 13 (7): 2413. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu13072413>.
- Savikangas T, Valadão P, Haapala EA, Finni T. Effects of multicomponent exercise intervention on cardiometabolic risk factors in children and young adults with cerebral palsy: a multiple-baseline trial. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*. 2024; 16 (1): 219. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13102-024-01006-0>.
- Więch P, Ćwirlej-Sozańska A, Wiśniowska-Szurlej A, Kilian J, Lenart-Domka E, Bejer A, et al. The Relationship Between Body Composition and Muscle Tone in Children with Cerebral Palsy: A Case-Control Study. *Nutrients*. 2020; 12 (3): 864. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu12030864>.
- Talma H, Chinapaw MJ, Bakker B, HiraSing RA, Terwee CB, Altenburg TM. Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in children and adolescents: a systematic review and evidence appraisal of validity, responsiveness, reliability and measurement error. *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2013; 14 (11): 895–905. Available from: <https://doi.org/10.1111/obr.12061>.
- Snik DAC, de Roos NM. Criterion validity of assessment methods to estimate body composition in children with cerebral palsy: A systematic review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*. 2021; 64 (3): 101271. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.05.003>.
- Jiang F, Tang S, Eom JJ, Song KH, Kim H, Chung S, et al. Accuracy of Estimated Bioimpedance Parameters with Octapolar Segmental Bioimpedance Analysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2022; 22 (7): 2681. Available from: <https://doi.org/10.3390/s22072681>.
- Szkoda L, Szopa A, Kwiecień-Czerwieńiec I, Siwiec A, Domagalska-Szopa M. Body Composition in Outpatient Children with Cerebral Palsy: A Case-Control Study. *International journal of general medicine*. 2023; 16: 281–91. Available from: <https://doi.org/10.2147/IJGM.S393484>.
- Jahan I, Sultana R, Muhit M, Akbar D, Karim T, Al Imam MH, et al. Nutrition Interventions for Children with Cerebral Palsy in Low- and Middle-Income Countries: A Scoping Review. *Nutrients*. 2022; 14 (6): 1211. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu14061211>.
- Sørensen SJ, Brekke G, Kok K, Sørensen JL, Born AP, Mølgaard C, et al. Nutritional screening of children and adolescents with cerebral palsy: a scoping review. *Developmental medicine and child neurology*. 2021; 63 (12): 1374–81. Available from: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14981>.
- Friedman JM, van Essen P, van Karnebeek CDM. Cerebral palsy and related neuromotor disorders: Overview of genetic and genomic

- studies. *Molecular genetics and metabolism*. 2022; 137 (4): 399–419. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2021.11.001>.
18. Alcan V, Zinnuroğlu M. Current developments in surface electromyography. *Turkish journal of medical sciences*. 2023; 53 (5): 1019–31. Available from: <https://doi.org/10.55730/1300-0144.5667>.
 19. Murakami Y, Honaga K, Kono H, Haruyama K, Yamaguchi T, Tani M, et al. New Artificial Intelligence-Integrated Electromyography-Driven Robot Hand for Upper Extremity Rehabilitation of Patients With Stroke: A Randomized, Controlled Trial. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2023; 37 (5): 298–306. Available from: <https://doi.org/10.1177/15459683231166939>.
 20. Yamaguchi S, Inami T, Ishida H, Nagata N, Murayama M, Morito A, et al. Bioimpedance analysis for identifying new indicators of exercise-induced muscle damage. *Scientific reports*. 2024; 14 (1): 15299. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66089-8>.
 21. Ward LC, Brantlov S. Bioimpedance basics and phase angle fundamentals. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*. 2023; 24 (3): 381–91. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09780-3>.
 22. Uemura K, Doi T, Tsutsumimoto K, Nakakubo S, Kim MJ, Kurita S, et al. Predictivity of bioimpedance phase angle for incident disability in older adults. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2020; 11 (1): 46–54. Available from: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12492>.
 23. Mehra A, Starkoff BE, Nickerson BS. The evolution of bioimpedance analysis: From traditional methods to wearable technology. *Nutrition*. 2024; 129: 112601. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2024.112601>.
 24. Sung WJ, Kim WJ, Hwang Y, Kim JS, Lim SH, Hong BY. Body composition of school-aged children with disabilities. *Pediatrics international: official journal of the Japan Pediatric Society*. 2020; 62 (8): 962–9. Available from: <https://doi.org/10.1111/ped.14248>.
 25. Du J, Yu H, Shi P, Fang F. High Precision Portable Bioimpedance Spectrometer for Enhanced Clinical Diagnostics. 2024; 794–9. Available from: <https://doi.org/10.1109/icma61710.2024.10633039>.
 26. Akamatsu Y, Kusakabe T, Arai H, Yamamoto Y, Nakao K, Ikeue K, et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis is a useful indicator of muscle quality. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2022; 13 (1): 180–9. Available from: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12860>.
 27. DiVincenzo O, Marra M, Di Gregorio A, Pasanisi F, Scalfi L. Bioelectrical impedance analysis (BIA) -derived phase angle in sarcopenia: A systematic review. *Clinical nutrition*. 2021; 40 (5): 3052–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.10.048>.
 28. Wu H, Ding P, Wu J, Yang P, Tian Y, Zhao Q. Phase angle derived from bioelectrical impedance analysis as a marker for predicting sarcopenia. *Frontiers in nutrition*. 2022; 9: 1060224. Available from: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1060224>.
 29. Jaleel A, Chilumula M, Chukkala Satya SG, Singnale P, Telikicherla UR, Pandurangi R. The Assessment of Nutritional Status of Adolescents Aged 15-18 Years Using BMI Cutoffs and BMI Z Scores: A Secondary Analysis of National Family Health Survey-5 (2019-21) Data. *Cureus*. 2024; 16 (5): e59800. Available from: <https://doi.org/10.7759/cureus.59800>.
 30. Calcaterra V, Pelizzo G, Cena H. BMI Is a Poor Predictor of Nutritional Status in Disabled Children. What Is the Most Recommended Method for Body Composition Assessment in This Pediatric Population. *Frontiers in pediatrics*. 2019; 7, 226. Available from: <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00226>.

References

1. McIntyre S, Goldsmith S, Webb A, Ehlinger V, Hollung SJ, McConnell, et al. Global CP Prevalence Group. Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis. *Developmental medicine and child neurology*. 2022; 64 (12): 1494–506. Available from: <https://doi.org/10.1111/dmcn.15346>.
2. Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, Hines, et al. State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy. *Current neurology and neuroscience reports*. 2020; 20 (2): 3. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11910-020-1022-z>.
3. Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Translational pediatrics*. 2020; 9 (Suppl 1): S125–S135. Available from: <https://doi.org/10.21037/tp.2020.01.01>.
4. Panda S, Singh A, Kato H, Kokhanov A. Cerebral Palsy: A Current Perspective. *NeoReviews*. 2024; 25 (6): e350–e360. Available from: <https://doi.org/10.1542/neo.25-6-e350>.
5. Jesus AO, Stevenson RD. Optimizing Nutrition and Bone Health in Children with Cerebral Palsy. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*. 2020; 31 (1): 25–37. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2019.08.001>.
6. Metshein M, Tuulik VR, Tuulik V, Kumm M, Min M, Annus P. Electrical Bioimpedance Analysis for Evaluating the Effect of Pelotherapy on the Human Skin: Methodology and Experiments. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2023; 23 (9): 4251. Available from: <https://doi.org/10.3390/s23094251>.
7. Arruda RCBF, Tassitano RM, da Silva Brito AL, de Sousa Martins OS, Cabral PC, de Castro Antunes MM. Physical activity, sedentary time and nutritional status in Brazilian children with cerebral palsy. *Jornal de pediatria*. 2022; 98 (3): 303–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jped.2021.07.005>.
8. Costa A, Martin A, Arreola V, Riera SA, Pizarro A, Carol, et al. Assessment of Swallowing Disorders, Nutritional and Hydration Status, and Oral Hygiene in Students with Severe Neurological Disabilities Including Cerebral Palsy. *Nutrients*. 2021; 13 (7): 2413. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu13072413>.
9. Savikangas T, Valadão P, Haapala EA, Finni T. Effects of multicomponent exercise intervention on cardiometabolic risk factors in children and young adults with cerebral palsy: a multiple-baseline trial. *BMC sports science, medicine & rehabilitation*. 2024; 16 (1): 219. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13102-024-01006-0>.
10. Więch P, Ćwirlej-Sozańska A, Wiśniowska-Szurlej A, Kilian J, Lenart-Domka E, Bejer A, et al. The Relationship Between Body Composition and Muscle Tone in Children with Cerebral Palsy: A Case-Control Study. *Nutrients*. 2020; 12 (3): 864. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu12030864>.
11. Talma H, Chinapaw MJ, Bakker B, HiraSing RA, Terwee CB, Altenburg TM. Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in children and adolescents: a systematic review and evidence appraisal of validity, responsiveness, reliability and measurement error. *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2013; 14 (11): 895–905. Available from: <https://doi.org/10.1111/obr.12061>.
12. Snik DAC, de Roos NM. Criterion validity of assessment methods to estimate body composition in children with cerebral palsy: A systematic review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*. 2021; 64 (3): 101271. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.05.003>.
13. Jiang F, Tang S, Eom JJ, Song KH, Kim H, Chung S, et al. Accuracy of Estimated Bioimpedance Parameters with Octapolar Segmental Bioimpedance Analysis. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2022; 22 (7): 2681. Available from: <https://doi.org/10.3390/s22072681>.
14. Szkoda L, Szopa A, Kwiecień-Czerwieńiec I, Siwiec A, Domagalska-Szopa M. Body Composition in Outpatient Children with Cerebral Palsy: A Case-Control Study. *International journal of general medicine*. 2023; 16: 281–91. Available from: <https://doi.org/10.2147/IJGM.S393484>.
15. Jahan I, Sultana R, Muhit M, Akbar D, Karim T, Al Imam MH, et al. Nutrition Interventions for Children with Cerebral Palsy in Low- and Middle-Income Countries: A Scoping Review. *Nutrients*. 2022; 14 (6): 1211. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu14061211>.
16. Sørensen SJ, Brekke G, Kok K, Sørensen JL, Born AP, Mølgaard C, et al. Nutritional screening of children and adolescents with cerebral palsy: a scoping review. *Developmental medicine and child neurology*. 2021; 63 (12): 1374–81. Available from: <https://doi.org/10.1111/dmcn.14981>.
17. Friedman JM, van Essen P, van Karnebeek CDM. Cerebral palsy and related neuromotor disorders: Overview of genetic and genomic studies. *Molecular genetics and metabolism*. 2022; 137 (4): 399–

419. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.yimgme.2021.11.001>.
18. Alcan V, Zinnuroğlu M. Current developments in surface electromyography. *Turkish journal of medical sciences*. 2023; 53 (5): 1019–31. Available from: <https://doi.org/10.55730/1300-0144.5667>.
 19. Murakami Y, Honaga K, Kono H, Haruyama K, Yamaguchi T, Tani M, et al. New Artificial Intelligence-Integrated Electromyography-Driven Robot Hand for Upper Extremity Rehabilitation of Patients With Stroke: A Randomized, Controlled Trial. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2023; 37 (5): 298–306. Available from: <https://doi.org/10.1177/15459683231166939>.
 20. Yamaguchi S, Inami T, Ishida H, Nagata N, Murayama M, Morito A, et al. Bioimpedance analysis for identifying new indicators of exercise-induced muscle damage. *Scientific reports*. 2024; 14 (1): 15299. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66089-8>.
 21. Ward LC, Brantlov S. Bioimpedance basics and phase angle fundamentals. *Reviews in endocrine & metabolic disorders*. 2023; 24 (3): 381–91. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11154-022-09780-3>.
 22. Uemura K, Doi T, Tsutsumimoto K, Nakakubo S, Kim MJ, Kurita S, et al. Predictivity of bioimpedance phase angle for incident disability in older adults. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2020; 11 (1): 46–54. Available from: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12492>.
 23. Mehra A, Starkoff BE, Nickerson BS. The evolution of bioimpedance analysis: From traditional methods to wearable technology. *Nutrition*. 2024; 129: 112601. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2024.112601>.
 24. Sung WJ, Kim WJ, Hwang Y, Kim JS, Lim SH, Hong BY. Body composition of school-aged children with disabilities. *Pediatrics international: official journal of the Japan Pediatric Society*. 2020; 62 (8): 962–9. Available from: <https://doi.org/10.1111/ped.14248>.
 25. Du J, Yu H, Shi P, Fang F. High Precision Portable Bioimpedance Spectrometer for Enhanced Clinical Diagnostics. 2024; 794–9. Available from: <https://doi.org/10.1109/icma61710.2024.10633039>.
 26. Akamatsu Y, Kusakabe T, Arai H, Yamamoto Y, Nakao K, Ikeue K, et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis is a useful indicator of muscle quality. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*. 2022; 13 (1): 180–9. Available from: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12860>.
 27. Di Vincenzo O, Marra M, Di Gregorio A, Pasanisi F, Scalfi L. Bioelectrical impedance analysis (BIA) -derived phase angle in sarcopenia: A systematic review. *Clinical nutrition*. 2021; 40 (5): 3052–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.10.048>.
 28. Wu H, Ding P, Wu J, Yang P, Tian Y, Zhao Q. Phase angle derived from bioelectrical impedance analysis as a marker for predicting sarcopenia. *Frontiers in nutrition*. 2022; 9: 1060224. Available from: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1060224>.
 29. Jaleel A, Chilumula M, Chukkala Satya SG, Singnale P, Telikicherla UR, Pandurangi R. The Assessment of Nutritional Status of Adolescents Aged 15-18 Years Using BMI Cutoffs and BMI Z Scores: A Secondary Analysis of National Family Health Survey-5 (2019-21) Data. *Cureus*. 2024; 16 (5): e59800. Available from: <https://doi.org/10.7759/cureus.59800>.
 30. Calcaterra V, Pelizzo G, Cena H. BMI Is a Poor Predictor of Nutritional Status in Disabled Children. What Is the Most Recommended Method for Body Composition Assessment in This Pediatric Population. *Frontiers in pediatrics*. 2019; 7, 226. Available from: <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00226>.