



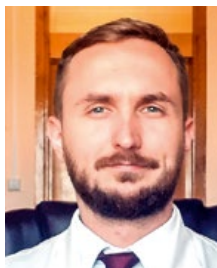
М. Г. Воловик

Тепловизионные признаки спастических форм ДЦП у детей 4–7 лет: протокол и анализ данных

М. Г. Воловик, д.б.н., вед.н.с. университетской клиники^{1,2}

Г. Е. Шейко, к.м.н., ассистент кафедры медицинской реабилитации¹

А. Н. Кузнецов, м.н.с. университетской клиники¹



Г. Е. Шейко

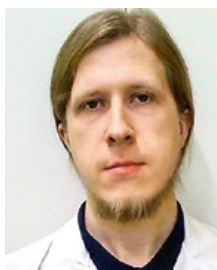
¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород

²ООО «Дигносис», г. Москва

Thermographic signs of spastic type cerebral palsy in 4–7 years old children: protocol and data analysis

M. G. Volovik, G. E. Sheiko, A. N. Kuznetsov

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod; Dignosys Co., Moscow; Russia



А. Н. Кузнецов

Резюме

С помощью ИК-тепловидения обследованы 31 ребенок в возрасте 4–7 лет с двумя спастическими формами ДЦП (G80.1 и G80.2) с 1-й и 2-й степенью нарушения двигательных функций по шкале GMFCS. Впервые детально описаны распределение температур на конечностях и его динамика в ответ на дозированную двигательную нагрузку на спастичные группы мышц. Для группы пациентов с гемипарезом характерны асимметрии температуры на конечностях, связанные со стороной поражения, а для группы с диплегией — инверсия нормального проксимально-дистального градиента, наиболее выраженная в сегментах голень / стопа и плечо / предплечье и менее — предплечье / кисть, и аномально высокий перепад температур на спине между грудным и поясничным отделами. Умеренная физическая нагрузка ведет к контрастированию термоаномалий за счет дополнительного снижения температуры в проекции пораженных мышц и усиления патологических признаков. Знание о терморезакциях кожных покровов в проекции этих мышц в ответ на нагрузочные пробы открывает потенциальную возможность для использования метода в оценке результатов лечения и реабилитации пациентов с ДЦП.

Ключевые слова: детский церебральный паралич, гемипарез, диплегия, тепловидение.

Summary

31 children at the age of 4–7 years with two spastic forms of cerebral palsy (G80.1 and G80.2) with the degree of motor dysfunction of levels 1 and 2 according to GMFCS were examined using IR thermal imaging. For the first time, the temperature distribution on the limbs and its dynamics in response to the dosed motor load on the spastic muscle groups are described in detail. For the group of patients with hemiparesis characterized by asymmetry of temperature on the limbs associated with the side of the lesion, and for the group with diplegia — the inversion of the normal proximal-distal gradient, most pronounced in the segments of the shin / foot and shoulder / forearm and less in the forearm / wrist, and abnormally high temperature difference on the back between the thoracic and lumbar regions. Moderate physical activity leads to the enhancement of thermal anomalies due to the additional reduction of the temperature in the projection of the affected muscles and strengthen the pathological symptoms. Knowledge of the skin thermal reactions in the projection of these muscles in response to motor tests opens up a potential opportunity to use the method in assessing the results of treatment and rehabilitation of patients with cerebral palsy.

Key words: cerebral palsy, hemiparesis, diplegia, thermal imaging.

Введение

Детский церебральный паралич (ДЦП) известен как «группа стабильных нарушений развития моторики и поддержания позы, ведущих к двигательным дефектам, обусловленным непрогрессирующим повреждением и (или) аномалией развивающегося головного мозга у плода или новорожденного ребенка» [1]. Он представлен различными симптомами, которые могут затрагивать несколько функциональных систем: речь, восприятие, моторные и когнитивные функции, эмоционально-волевую сферу, поведенческие особенности. Влияние ДЦП на нервно-мышечную систему

характеризуется спастичностью, контрактурами, болевыми синдромами, мышечной слабостью и потерей избирательности движений, нарушением позного контроля, паттерна и баланса движений. Ограничения физической активности могут дополняться когнитивными и сенсорными нарушениями, эпилепсией, что обуславливает снижение способности ребенка к самообслуживанию, задержку психического развития и социализации [2]. Широкая распространенность ДЦП в мире [3] и в России [1] (2,0–3,6 случая на 1 тысячу детей) обуславливает высокую социальную значимость заболевания.

МРТ и биомеханические измерения как инструменты исследования при ДЦП доминируют в литературе [4, 5], однако и другие методы предоставляют важные результаты. Одним из таких перспективных подходов является измерение кожной температуры, в том числе с помощью инфракрасного (ИК) тепловидения.

Использование тепловидения доказало свою перспективность в исследованиях у неврологических больных с широким спектром тяжелых двигательных нарушений. Направления исследований лежат в плоскостях диагностики, оценки функционального состояния и вегетативной регуляции,

прогноза и оценки эффективности реабилитационного процесса, построения систем контроля функций, коммуникации и решения иных проблем, связанных с данной патологией. Несмотря на то что мы рассматриваем диагностические приложения тепловидения при ДЦП, нельзя не отметить также успешное развитие ИК-технологий для решения коммуникативных проблем больных тяжелыми формами неврологических расстройств [6–8].

Надежность тепловидения в оценке температуры поверхности тела была изучена во многих работах у здоровых людей. Показано, что метод обладает высокой чувствительностью, в том числе при измерениях на кисти, предплечье, плече, бедре, голени и стопе, при этом внутриклассовый коэффициент корреляции (ICC) достигает 0,97 [9]. Воспроизводимость тепловизионных измерений у здоровых людей варьирует от низкой на кончиках пальцев до умеренно высокой на туловище со средним ICC 0,47 [10]. Данные ряда исследований продемонстрировали меньшую вариабельность региональных температур и температурного проксимально-дистального градиента (ПДГ) у детей по сравнению со взрослыми, что может придать повышенную точность тепловизионной диагностике при применении ее в педиатрической популяции [11, 12]. Разработанные к настоящему времени ИК-технологии для исследования пациентов с двигательными нарушениями по сумме данных разных исследований показали чувствительность от 65 до 99 % и специфичность от 35 до 95 % [13–15 и др.], в большинстве работ указаны значения в диапазонах 90–95 и 70–80 % соответственно. Это делает тепловидение привлекательным на фоне полной безопасности, неинвазивности исследований, простоты и быстроты получения первичных данных.

Эффективность тепловидения как метода функциональной диагностики многократно доказана и обоснована во многих областях медицины, подтверждена его высокая информативность и для мониторинга физиологических функций и корректировки терапевтических воздействий [16]. Изучение паттерна и динамики температур на поверхности кожных покровов позволяет получать важные данные о контурах

терморегуляции в организме [17] и может помочь в установлении связи между нарушениями вегетативной регуляции и локализацией и степенью повреждения структур головного мозга, имеющих отношение к двигательным функциям у больных с ДЦП.

Существует высокая корреляция между распределением тепловых полей (термопаттерном) на обеих сторонах тела. Для ряда заболеваний с двигательными нарушениями церебрального генеза отмечен феномен снижения температуры на стороне поражения: при инсульте [18], мультисистемной атрофии [19], болезни Паркинсона [20] и других. Так, у людей с последствиями инсульта вне зависимости от возраста, индекса массы тела и времени после кровоизлияния наблюдается более низкая температура на паретической стороне, особенно на ногах [21]. В. Karaszewski с соавт. [22] показали, что у пациентов как в острой, так и в подострой стадиях после инсульта динамика значений термоасимметрии пригодна для мониторинга эффективности воздействий на обе стороны тела и, следовательно, целью реабилитационных мероприятий может являться улучшение симметричности распределения температур. Эффекта снижения термоасимметрии (ТА) у пациентов в отдаленном периоде после инсульта смогли добиться с помощью технологий виртуальной реальности, включенных в реабилитационный комплекс [23]. Авторы показали, что улучшение симметричности температурного распределения на конечностях положительно коррелирует с улучшением функциональных характеристик тела, в частности функции баланса, и является полезным индикатором эффективности реабилитационных воздействий.

Известно, что при различных формах ДЦП наблюдается широкий спектр аномалий вегетативной регуляции [24], в том числе коррелирующих с паттерном нарушений мышечного тонуса [25]. Приводимые в литературе результаты подтверждают, что существует сложная связь между характеристиками периферического кровообращения в верхних и нижних конечностях и их двигательными функциями [26]. В частности, изучено влияние на периферическое кровообращение измененных моделей мышечной

активации в виде более высокой и зависимой от степени спастичности мышц частоты одновременных сокращений агонистов и антагонистов [27]. Изучение двустороннего влияния двигательных нарушений и вегетативных функций важно в том числе для разработки реабилитационных технологий лечения с применением биологической обратной связи и вспомогательных технологий коммуникации с пациентами [28].

Тепловидение было использовано для оценки степени спастичности отдельно взятой мышцы в процессе ее работы [29]: авторы показали, что повышенный тонус мышцы, находящейся в состоянии спастичности, может препятствовать восстановлению кровотока после сокращения, увеличивая продолжительность мышечного расслабления и нарушая восстановление кровообращения в ней, из-за чего она теряет биомеханическую эффективность. Нарастание асимметричности термопаттерна туловища после двигательной нагрузки за счет снижения температуры на стороне патологии зафиксировано у пациента с гемиплегией [30]. О сниженной температуре конечностей, особенно их дистальных отделов, у детей с тяжелыми формами двигательных нарушений сообщают многие исследователи [31–33]. Высказано предположение, что периферическая гипотермия у этой категории пациентов является следствием дефицита центрального контроля над балансом между симпатической и парасимпатической активностью, что известно как дисавтономия (*dysautonomias*) [34]. Поскольку более 80 % детей с ДЦП имеют спастичность на нескольких функциональных уровнях (например, в мышцах голени, сгибателях коленных и тазобедренных суставов, в верхних конечностях) [35], панорамность тепловидения наряду с безвредностью и высокой информативностью предоставляет исследователям дополнительные возможности как для диагностики, так и для мониторинга лечения этой патологии.

Установлено, что для регуляции температуры конечностей у больных с ДЦП важное значение имеет общий уровень мобильности. В работе [36] тестирование взрослых лиц с ДЦП с холодной пробой температурой 12 °C показало, что у них значительно ниже степень и скорость регулиро-

вания периферической температуры, чем у здоровых испытуемых, а также на пораженной стороне по сравнению с симметричной. Однако корреляций скорости согревания с объемом мышц или их силой обнаружено не было. Заслуживает внимания факт, что из 22 пациентов выборки одна треть (7 человек) показали нормальные исходные характеристики термопаттерна, и проблемы с периферической терморегуляцией были выявлены только холодной пробой.

Методология оценки эффективности реабилитационных мероприятий у пациентов с ДЦП с помощью тепловидения разрабатывалась рядом исследователей. Так, в работе [37] при исследовании терморегуляторных эффектов у пациентов с ДЦП при воздействии низкоинтенсивной лазерной терапии зарегистрировали три варианта температурных реакций на конечностях: понижение температуры ($n = 6$), без изменений ($n = 23$) и повышение температуры ($n = 36$), при этом снижение обнаружено у пациентов с умеренной и тяжелой степенью ДЦП. Как правило, более тяжелой дисфункции верхних конечностей соответствовали более низкие температуры кожи до облучения и более заметное повышение после облучения.

Изучены эффекты реабилитации детей с ДЦП с помощью иппотерапии [38]. При регистрации температуры кожи на нижних конечностях до и после однократного сеанса иппотерапии наблюдали устойчивое по-

тепление задней поверхности бедер в области непосредственного контакта с телом лошади. Показано также, что симуляция этой методики реабилитации с использованием механического седла способна вызывать заметное снижение температуры не только парализованной конечности, но и здоровой ноги (при односторонней спастике). Этот острый вазоконстрикторный эффект физических упражнений происходил на фоне исходно сниженной температуры на больной стороне по сравнению со здоровой на 1°C [39]. Авторы сделали вывод о спорной пользе лечебной верховой езды для детей-инвалидов.

Из вышеизложенных фактов, приводимых в доступных нам работах, очевидна недостаточная детальность описаний температурного распределения на кожных покровах у детей в зависимости от нозологических форм ДЦП, механизмы формирования патологических термопаттернов при разной степени двигательных нарушений вызывают затруднения у исследователей, а данные, полученные на небольших пестрых выборках разновозрастных пациентов, могут быть противоречивы. Все это обуславливает актуальность совершенствования методологических подходов в тепловизионных исследованиях ДЦП у детей для повышения эффективности диагностики и лечения этой патологии [40, 41]. На основании этого проведен поиск объективных тепловизионных маркеров функцио-

нального состояния пораженных групп мышц в зависимости от степени вовлечения в патологический процесс механизмов регуляции периферического кровообращения периферических звеньев терморегуляторной системы для последующего использования этих данных с целью корректировки реабилитационных воздействий. Мы предположили, что при длительно существующих, свойственных ДЦП нарушениях спастического характера в двигательной сфере, ИК-излучение от страдающих групп мышц будет снижено, а реакция их на нагрузку изменена по сравнению с реакцией здоровых мышц.

Цель работы: исследование стационарного распределения тепловых полей на поверхности тела и их динамики после умеренной физической нагрузки у детей со спастическими формами ДЦП.

Методика получения и анализа данных

Выборка

В исследование включены 31 пациент с ДЦП в возрасте 4–7 лет (средний возраст $5,40 \pm 1,05$ года), преимущественно мужского пола ($n = 23$). Диагноз был установлен в соответствии с МКБ-10. Среди пациентов у 17 детей отмечалась спастическая диплегия (G80.1); у 14 пациентов — гемиплегическая форма (G80.2): левосторонний гемипарез — у 6, правосторонний — у 8 человек (табл. 1). Все дети

Таблица 1
Характеристика выборки пациентов с ДЦП

ID пациента	Пол	Возраст	Диагноз	GMFCS	Сторона пареза	ID пациента	Пол	Возраст	Диагноз	GMFCS	Сторона пареза
101	Ж	5	G80.2	2	Правая	104	М	7	G80.1	2	Диплегия
102	М	6	G80.2	2	Правая	107	М	6	G80.1	3	Диплегия
103	Ж	6	G80.2	1	Левая (трипарез)	110	М	4	G80.1	2	Диплегия
105	М	7	G80.2	1	Правая (н/к)	112	Ж	5	G80.1	2	Диплегия
106	М	7	G80.2	1	Левая	115	Ж	5	G80.1	2	Диплегия
108	М	4	G80.2	2	Правая	116	М	6	G80.1	2	Диплегия
109	М	4	G80.2	2	Правая (н/к)	117	М	5	G80.1	3	Диплегия
113	М	5	G80.2	2	Правая	119	М	6	G80.1	2	Диплегия
114	М	5	G80.2	2	Левая	121	М	5	G80.1	2	Диплегия
118	М	5	G80.2	2	Правая	122	Ж	4	G80.1	2	Диплегия
120	М	5	G80.2	2	Левая	125	М	6	G80.1	1	Диплегия
123	Ж	5	G80.2	1	Правая (н/к)	127	М	7	G80.1	1	Диплегия
124	Ж	6	G80.2	1	Левая	128	М	5	G80.1	2	Диплегия
131	М	6	G80.2	2	Левая	129	Ж	7	G80.1	2	Диплегия
						130	М	7	G80.1	2	Диплегия
						111	М	4	G80.1	2	Диплегия
						126	М	7	G80.1	2	Диплегия

проходили первичное обследование, включая тепловидение, в университетской клинике Приволжского исследовательского медицинского университета в 2017 году. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом университета (протокол № 4 от 29.03.2017).

Протокол и методика сбора данных

Тепловизионные измерения проводили с помощью тепловизора Thermo Tracer TH-9100 (NEC, Япония), спектральный диапазон — 8–14 мкм (LWIR), чувствительность — 0,025–0,030 °C, погрешность — $\pm 1\%$, формат ИК-матрицы — 320 × 240 пикселей. Программное обеспечение: Gorates Thermography Studio (GTS 5.1.1.011).

Применена разработанная нами методология динамического ИК-картирования кожных покровов [17]. Пациентам проводили температурную адаптацию с обнаженными кожными покровами туловища и конечностей в положении сидя в течение 10 минут при температуре окружающей среды 22 ± 2 °C.

Методика включала двукратную, до и после двигательной нагрузки, регистрацию термокарт каждой ROI

(regions of interest — области измерений), доступных обследованию в зависимости от состояния и поведения ребенка. В качестве функциональной нагрузки служил комплекс биомеханических измерений, проводившихся во всех группах детей (включая группу нормы) по стандартному протоколу в течение приблизительно 30 минут: ходьба в свободном темпе на системе Walkway (Tec-Scan, США), затем на системе видеоанализа движений Simi Aktisys (Германия), стабиллографическое исследование на стабиллоплатформе ST-150 (Россия), выполнение поочередно каждой рукой теста с кольшками и девятью отверстиями (Nine-Hole Peg Test, 9-HPT). Оценка динамики кожного кровотока в исследуемых ROI на этапах «до» и «после» аналогична подходу, ориентированному на применение стандартизированной двигательной нагрузки на спастичные группы мышц, предложенному в работах [30, 42].

Локализация ROI и пространство анализируемых температурных признаков

Тепловизионные измерения производили в 67 ROI: в 13 ROI на туловище, 15 парах ROI на нижних конечностях

и 8 парах ROI на верхних конечностях, в 4 парах ROI на лице (рис. 1). При необходимости дополнительно прицельно обследовали пальцы конечностей, переднюю поверхность шеи (проекция щитовидной железы).

Туловище: торс (передняя поверхность). Температура в проекции грудины, ТА в проекции больших грудных мышц, передней брюшной стенки, надключичной области слева и справа. Наличие локальных термоаномалий.

Туловище: спина. ТА паравerteбральных областей от шейного до пояснично-крестцового отдела слева и справа, градиент интегральных температур «грудной отдел — поясничный отдел». Наличие локальных термоаномалий.

Верхние конечности: тыльная (наружная) и ладонная (внутренняя) поверхности. ТА плеч спереди и сзади, кистей (интегрально тыльная или ладонная сторона, исключая пальцы), области лучезапястного сустава, средней трети предплечий. ПДГ между плечом и предплечьем, плечом и кистью, предплечьем и кистью, тылом кисти и пальцами. Наличие аномальных термопаттернов на отдельных пальцах кистей.

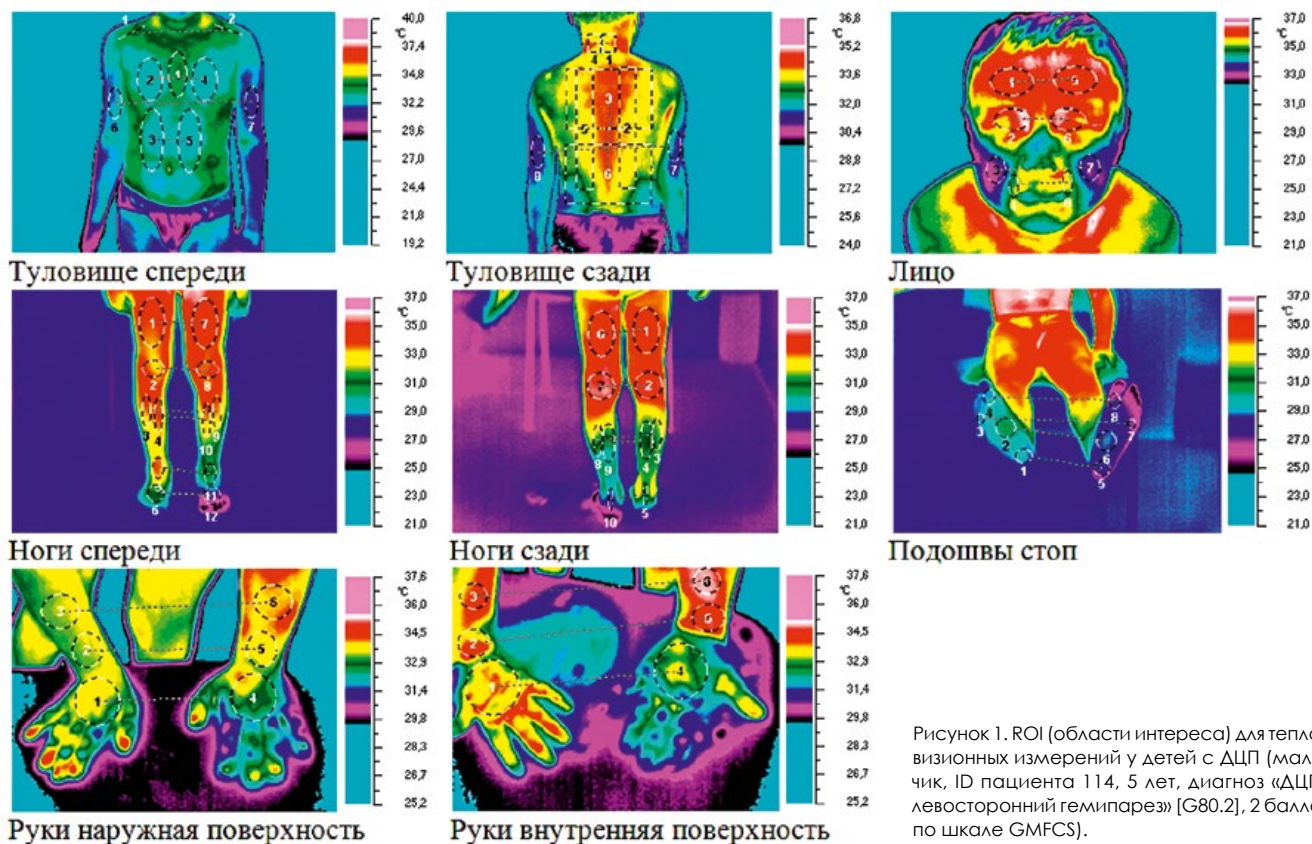


Рисунок 1. ROI (области интереса) для тепловизионных измерений у детей с ДЦП (мальчик, ID пациента 114, 5 лет, диагноз «ДЦП, левосторонний гемипарез» [G80.2], 2 балла по шкале GMFCS).

Оценивали значения средней температуры каждой области в абсолютном выражении, разницу температур в каждой паре симметричных областей (термоасимметрию, ΔT , или ТА) и ПДГ температур на верхних и нижних конечностях посегментно. Для оценки ТА в парах симметричных областей при гемипарезе (G80.2) вычитали значения средней температуры ROI

Для сегментов конечностей значения $TA < 0,5^\circ C$ на любом из этапов (до или после нагрузки) считали несущественными и исключали из обработки.

Распределение и динамика температур на лице, по нашим данным, оказались малоинформативными: аномалии температурных распределений обнаружены только в области носогубного треугольника, и все они оказались связаны с проблемами с зубами.

ПДГ на передней и задней поверхностях ног по сегментам «бедро — стопа» укладывался в 1 °C со снижением в дистальном направлении, «голень — стопа» на задней поверхности

Таблица 3
Абсолютные температуры ROI сегментов конечностей до и после нагрузки

Сегмент	ROI	Норма				Гемипарез				Диплегия			
		Т °С до нагрузки	σ	Т °С после нагрузки	σ	Т °С до нагрузки	σ	Т °С после нагрузки	σ	Т °С до нагрузки	σ	Т °С после нагрузки	σ
Ноги, спереди	Бедро спереди L	32,73	0,96	32,64	0,70	32,80	1,56	32,40	1,34	32,61	1,23	32,40	1,06
	Бедро спереди R	32,68	0,94	32,57	0,73	33,17	1,71	32,82	1,39	32,58	1,38	32,43	0,92
	Коленный сустав L	32,53	1,16	32,47	0,98	32,63	1,64	32,09	1,52	32,04	1,42	32,07	1,06
	Коленный сустав R	32,49	1,21	32,50	1,10	32,94	1,85	32,47	1,38	31,98	1,53	32,18	1,18
	Голень передне-наружная поверхность L	33,24	0,84	33,29	1,04	32,89	1,39	32,65	1,29	32,44	1,21	32,46	0,97
	Голень передне-наружная поверхность R	33,28	0,91	33,28	1,08	33,58	1,60	33,31	1,13	32,51	1,10	32,45	0,70
	Голень передне-внутренняя поверхность L	33,60	0,90	33,37	0,97	33,29	1,34	32,71	1,30	32,77	1,21	32,57	0,86
	Голень передне-внутренняя поверхность R	33,39	0,98	33,26	1,06	33,80	1,47	33,43	1,02	32,67	1,11	32,35	0,89
	Голеностопный сустав L	33,34	1,02	32,98	0,60	34,03	1,31	33,19	0,91	33,09	1,59	32,75	1,05
	Голеностопный сустав R	33,40	1,06	33,02	0,62	34,20	1,54	33,39	0,94	33,21	1,63	32,85	1,00
Ноги, сзади	Стопа тыл L	32,41	1,67	31,04	1,70	33,74	1,42	31,84	1,30	32,17	2,22	30,89	1,73
	Стопа тыл R	32,43	1,93	31,03	1,60	33,81	1,63	31,86	1,11	32,27	2,25	31,06	1,75
	Бедро сзади L	32,89	1,27	33,18	0,98	32,42	1,05	32,28	1,63	32,68	1,02	32,52	1,21
	Бедро сзади R	32,94	1,23	33,08	0,99	32,98	0,79	33,03	1,47	32,56	1,03	32,52	1,29
	Подколенная ямка L	33,88	0,96	34,03	0,69	33,57	0,84	33,39	1,06	33,51	0,98	33,43	0,94
	Подколенная ямка R	33,90	0,91	34,04	0,71	33,95	0,60	33,88	0,86	33,47	0,95	33,14	0,86
	Голень задне-наружная поверхность L	32,18	0,98	32,41	0,79	32,11	1,12	32,05	1,50	31,89	1,49	31,88	1,16
	Голень задне-наружная поверхность R	32,17	0,89	32,41	0,79	32,53	0,78	32,38	1,26	31,89	1,46	31,78	1,03
	Голень задне-внутренняя поверхность L	32,48	0,99	32,64	0,87	32,39	0,93	32,02	1,35	32,26	1,31	32,13	0,93
	Голень задне-внутренняя поверхность R	32,53	0,99	32,70	0,95	33,02	0,71	32,70	1,20	32,19	1,36	31,96	0,93
Руки, наружная поверхность	Ахилл L	31,87	1,13	31,44	0,91	32,48	1,00	31,13	1,54	31,66	2,21	31,33	1,69
	Ахилл R	31,87	1,20	31,37	0,99	32,46	0,98	31,11	1,06	31,66	2,08	30,97	1,54
	Надплечье L	34,92	0,93	34,78	0,78	34,80	0,67	34,85	0,78	34,77	0,62	34,83	0,57
	Надплечье R	34,98	0,91	34,79	0,67	35,15	0,73	35,12	0,83	34,99	0,53	35,03	0,71
	Плечо спереди L	33,42	1,13	33,19	1,02	33,18	0,91	32,97	1,37	33,19	0,74	32,87	0,85
	Плечо спереди R	33,48	1,12	33,23	0,96	33,49	0,92	33,46	1,11	33,34	0,76	33,06	0,80
	Предплечье наружная поверхность L	32,47	0,90	32,56	1,01	32,95	0,88	32,33	1,37	33,12	0,84	32,77	0,84
	Предплечье наружная поверхность R	32,67	0,78	32,66	0,93	33,45	0,74	33,33	0,98	33,13	0,77	32,87	0,76
	Лучезапястный сустав наружная поверхность L	32,62	1,46	32,46	1,25	32,83	0,83	32,06	1,81	32,62	0,99	32,40	0,86
	Лучезапястный сустав наружная поверхность R	32,83	1,48	32,56	1,22	33,27	0,63	32,88	1,32	32,61	0,97	32,36	0,70
Руки, внутренняя поверхность	Кисть тыл L	32,46	1,42	32,29	1,60	32,87	0,92	32,52	2,12	32,49	1,28	32,29	1,20
	Кисть тыл R	32,74	1,34	32,55	1,70	32,99	0,66	32,73	1,70	32,61	1,24	32,48	1,27
	Плечо сзади L	32,63	0,98	32,64	0,79	32,22	0,82	31,98	1,11	32,63	0,79	32,48	0,97
	Плечо сзади R	32,61	0,80	32,49	0,87	32,69	0,81	32,67	0,81	32,46	0,69	32,32	0,96
	Предплечье внутренняя поверхность L	33,21	0,89	33,41	1,04	33,72	0,77	32,88	1,23	33,43	0,90	33,45	0,79
	Предплечье внутренняя поверхность R	33,49	0,82	33,51	1,01	34,18	0,64	33,66	1,28	33,70	0,78	33,55	0,74
	Лучезапястный сустав внутренняя поверхность L	33,59	1,35	33,40	1,15	33,62	0,80	33,19	1,41	33,59	0,79	33,43	0,78
	Лучезапястный сустав внутренняя поверхность R	33,97	1,13	33,73	1,01	33,97	0,63	33,77	1,16	33,68	0,83	33,50	0,66
	Кисть ладонь L	32,50	1,08	32,21	2,01	32,75	0,94	32,90	2,09	32,47	1,28	32,89	1,12
	Кисть ладонь R	32,69	1,03	32,43	1,89	32,83	1,06	33,12	1,53	32,79	1,37	33,09	1,22

Примечание: ROI — область интереса, R — правая сторона, L — левая сторона, σ — стандартное отклонение. В группе с гемипарезом: L — сторона поражения, R — противоположная (условно здоровая) сторона. Светло-желтым цветом выделены значения в тех ROI, где их изменение до или после нагрузки составило от 0,5 до 1,0 °С, темно-желтым — более 1,0 °С.

Таблица 4
Разброс абсолютных значений температуры до и после нагрузки

ROI	Норма				Гемипарез				Диплегия			
	Min до	Max до	Min после	Max после	Min до	Max до	Min после	Max после	Min до	Max до	Min после	Max после
Бедро спереди	31,6	34,5	31,6	33,5	30,8	33,9	30,1	34,9	30	34,5	30,5	34,7
Бедро сзади	30,7	34,8	31,3	34,2	30,7	35	29,9	35,2	31,4	35,1	30,6	34,6
Коленный сустав	30,8	34,3	30,5	33,9	29,6	33,9	30,1	34,9	29,3	35	29,3	33,8
Подколенная ямка	32,5	35,3	32,6	34,9	30,7	34,8	30,6	34,8	31,9	35,2	31,6	34,8
Голень спереди нар.	31,8	34,5	31,5	34,6	30,7	35,2	30,5	34,8	30,1	34,3	30,0	34,1
Голень спереди внутр.	32,0	34,9	31,2	34,4	31	35,3	30,6	35,1	30,2	34,8	30,6	33,9
Голень сзади нар.	31,0	33,6	31,2	33,4	30	33,9	29,9	34,5	30,0	34,4	30,3	33,7
Голень сзади внутр.	31,2	33,9	31,0	33,8	29,9	34,0	29,9	34,5	30,1	34,4	30,7	33,8
Голеностоп	31,7	35	31,8	34,1	31,9	35,7	31,3	34,9	30	35,6	30,6	34,8
Стопа тыл	28,7	35,1	28,1	33,8	30,1	35,1	29,6	33,8	27,4	34,7	28,3	33,7
Ахилл	30,0	33,7	29,6	33,1	30,4	33,9	29,2	34,3	26	34,9	27,8	34,3
Плечо спереди	32,2	35,3	31,4	34,5	31,2	34,6	30,3	34,9	31,8	34,7	31,4	34,9
Плечо сзади	31,5	34,3	31,0	33,3	30,7	34,1	30,2	33,7	31,4	34	30,7	34,5
Предплечье нар.	31,0	33,6	31,2	33,8	31,6	35,0	30,1	34,9	31,6	34,2	31,7	34,6
Предплечье внутр.	31,7	34,7	31,7	35,1	31,6	35,0	30,1	35,5	31,7	34,9	32,2	35,0
Лучезап. сустав нар.	30,0	35,1	30,3	34,0	31,1	34,5	27,3	34,3	30	34,2	31,1	34,1
Лучезап. сустав внутр.	31,5	36,0	31,9	35,0	31,8	35,0	29,5	35,1	31,8	35,0	32,1	35,0
Кисть тыл	30,3	34,7	29,9	35,1	31,1	34,1	26,2	34,6	29	34,6	30,1	34,1
Кисть ладонь	31,1	34,4	28,1	34,9	30,5	34,6	26,8	34,9	29,4	34,8	30,9	35,4
Изменение	≤ 0,5	0,5–1,0	1,1–2,0	≥ 2,0								

голеней также составил 1 °С, на передней мог достигать 1,2 °С. На верхних конечностях ПДГ по сегментам «плечо — кисть» зарегистрирован на наружной поверхности около 1 °С, на внутренней отсутствовал; напротив, по сегментам «предплечье — кисть» не обнаружено значимых различий между значениями по наружной поверхности, а по внутренней градиент составил 0,7–0,8 °С.

Согласно [43], нормальный ПДГ находится в следующих пределах: «бедро — стопа» — 0,5–3,0 °С (при ТА на всех трех сегментах нижних конечностей менее 0,8 °С); «предплечье — кисть» — 0,5–2,5 °С (ТА на всех трех сегментах верхних конечностей ниже 0,5 °С).

После нагрузки наблюдали разнонаправленные температурные изменения, большинство из них (7 из 9) в пределах нормальных значений. Исключение составили дистальные отделы нижних конечностей (табл. 3), где в проекции ахиллова сухожилия снижение температуры справа в среднем по группе составило 0,5 °С, на тыле стопы с обеих сторон достигло 1,4 °С, при этом в двух случаях превысив 4,0 °С. ПДГ также показал изменения как в сторону увеличения (в двух случаях резкого падения температуры, отмеченных выше), так и снижения.

Разброс абсолютных значений температуры на нижних конечностях не изменился — от 28,1 до 34,9 °С, на верхних вырос за счет падения температуры на кистях от 28,1 до 35,1 °С.

Разнонаправленность реакций отмечалась исследователями и ранее [37], однако аномальные изменения температуры в дистальных отделах конечностей после умеренной двигательной нагрузки в каждом конкретном случае требуют пристального внимания ко всем возможным причинам такой высокой лабильности периферического кровообращения. На нашей небольшой выборке из девяти детей типичного развития, несмотря на наличие этих двух резких скачков, нам удалось показать отсутствие значимых отклонений термопаттерна от коридора нормальных значений.

В группе с диплегией исходно на передней поверхности нижних конечностей зафиксировано отличие от группы нормы в виде более низких температур от уровня коленных суставов до нижней трети голеней, но на стопах температура вновь была повышена (максимально в проекции голеностопных суставов), формируя картину извращенного ПДГ по сегментам «голень — стопа» (повышение температуры в дистальном направлении). Аналогично был нарушен ПДГ

верхних конечностей по сегментам «плечо — предплечье» на внутренней поверхности. Разброс абсолютных значений температуры на нижних конечностях составлял от 26,0 до 35,6 °С, на верхних — от 29,0 до 34,9 °С.

После нагрузки динамика абсолютных значений температур не имела достоверных различий с динамикой в группе нормы, исходные соотношения сохранились, максимальное снижение температуры зарегистрировано на стопах, особенно с тыльной стороны, где оно превысило 1 °С. За счет этого произошло уменьшение аномальной извращенности ПДГ. Этот параметр не обладал устойчивостью, и у разных пациентов с диплегией могло происходить разнонаправленное изменение соотношений температуры в сегментах конечностей. Уменьшился также разброс температур: на нижних конечностях он составил от 27,8 до 34,8 °С, на верхних — от 30,1 до 35,4 °С.

В группе с гемипарезом исходно разброс абсолютных значений температуры на нижних конечностях составил от 29,6 до 35,7 °С, на верхних — от 30,5 до 35,0 °С, что не показало значимых различий с группой нормы.

После нагрузки в большинстве ROI произошло значительно большее снижение температуры, чем в груп-

пах нормы и диплегии, особенно на нижних конечностях. Значимых отклонений ПДГ при гемипарезе ни на одном этапе не обнаружено. Разброс абсолютных значений температуры на нижних конечностях недостоверно уменьшился и составил от 29,6 до 35,2 °С, на верхних, напротив, резко вырос — от 26,2 до 35,5 °С.

Таким образом, после нагрузки в большинстве ROI на конечностях произошло снижение температуры, а в некоторых ROI — повышение. Закономерностей в локализации повышения температуры по сегментам для групп с диплегией и нормы не выявлено; в группе с гемипарезом оно отмечено только на ладонной поверхности кистей. Все случаи повышения температуры были в пределах 0,1–0,2 °С. В то же время снижение оказалось преобладающей реакцией, отражая паттерн наиболее спастичных мышц.

По абсолютным температурам исходно (до нагрузки) по критерию Манна-Уитни достоверны различия в следующих ROI: между гемипарезом и нормой — на тыле кистей; между диплегией и нормой — нет; между гемипарезом и диплегией — на тыле кистей и в проекции голеностопных суставов. После нагрузки достоверны различия в следующих ROI: между гемипарезом и нормой — нет; между диплегией и нормой — на задне-внутренней поверхности

голени; между гемипарезом и диплегией — в проекции голеностопных суставов и на задне-внутренней поверхности голени.

В целом информативность значений абсолютных температур в ROI на конечностях при поиске различий между группами пациентов оказалась невысокой.

2. Термоасимметрия (ТА)

Исходно ТА в группе нормы ни в одном сегменте и ни в одной паре симметричных ROI не превышала 0,4 °С, при этом на нижних конечностях в большинстве пар ROI находилась в пределах 0,2 °С. После нагрузки симметричность температур также значимо не изменилась, показав независимость от изменения абсолютных значений температур, особенно в дистальных сегментах конечностей (табл. 5).

В табл. 5 приведены статистические показатели значений ТА в тех ROI, для которых хотя бы на одном этапе (до и [или] после нагрузки) обнаружены статистически значимые различия между группами гемипареза и нормы (данные для этапа «после» — см. табл. 6). Как известно, физиологически допустимые отклонения от симметричности термопаттерна на конечностях лежат в границах $\pm 0,5$ °С [11, 43]. Значения, превышающие эту величину (отмечены звездочками), отсутствуют в группе детей стандартного развития и относятся исключительно

к пациентам с гемипарезом, все они обусловлены снижением температуры на стороне пареза. Наиболее наглядно эта разница отражена в динамике максимальных температур (красные треугольники), достигая 1,5–1,8 °С.

Графическое выражение динамики показателя ТА в ответ на нагрузку (рис. 2) также приведено в качестве примера для сравнения групп с гемипарезом и нормой для этого же этапа (до нагрузки). Отметим, что после нагрузки зарегистрировано нарастание ТА только в группе с гемипарезом, при этом в ряде ROI, где исходно ее значения не выходили за рамки характерных для нормы, на этапе «после» произошел срыв компенсации. Обратного изменения (снижение ТА) не наблюдали. Паттерн этих изменений перспективно соотносить с проблемными мышцами [29, 35]. Эти характеристики приводят к нарушению терморегуляции у пациентов с ДЦП, особенно в наиболее «требовательных» условиях деятельности и окружающей среды [44].

Сравнение динамики значений ТА в ROI изученных групп от этапа «до» к этапу «после» представлено на рис. 3 (для сегмента «ноги спереди»). Несмотря на сходство по модулю температурных изменений, учет знака вскрыл различия между группами нормы и диплегии (в ней значения ТА до нагрузки по всем парам ROI были в пределах нормальных показате-

Таблица 5
Характеристики ТА в группах нормы и гемипареза до нагрузки

Группа	Параметр	Бедро спереди	Голень спереди нар.	Голень спереди внутр.	Бедро сзади	Коленный сустав	Голень сзади нар.	Голень сзади внутр.	Голеностоп
Гемипарез (n = 13)	M	0,35	0,68 ★	0,48	0,56 ★	0,39	0,45	0,59 ★	–0,02
	SE	0,11	0,13	0,10	0,20	0,12	0,12	0,12	0,09
	CO	0,41	0,46	0,35	0,71	0,42	0,42	0,42	0,31
	95% ДИ	0,10–0,59	0,41–0,96	0,27–0,69	0,14–0,99	0,14–0,65	0,20–0,71	0,34–0,85	–0,38
	Мин.	–0,40 ▼	0,00 ▼	0,00 ▼	–1,00 ▼	–0,50 ▼	–0,10 ▼	–0,20 ▼	–0,70
	Макс.	1,20 ▼	1,50 ▼	1,20 ▼	1,80 ▼	0,90 ▼	1,10 ▼	1,50 ▼	0,50
	Me	0,30	0,60	0,40	0,50	0,50	0,40	0,60	0,00
	Q1–Q3	0,10–0,50	0,30–1,00	0,20–0,70	0,20–0,80	0,20–0,60	0,10–0,80	0,40–0,70	–0,20
Норма (n = 9)	M	–0,03	0,03	–0,23	0,08	0,02	–0,01	0,06	–0,01
	SE	0,06	0,08	0,06	0,09	0,07	0,06	0,05	0,07
	CO	0,17	0,25	0,17	0,28	0,22	0,18	0,16	0,20
	95% ДИ	–0,27	–0,39	–0,27	–0,43	–0,33	–0,27	–0,25	–0,31
	Мин.	–0,30	–0,30	–0,50	–0,40	–0,30	–0,30	–0,20	–0,2
	Макс.	0,30	0,30	0,00	0,50	0,30	0,20	0,20	0,30
	Me	0,00	0,10	–0,30	0,10	0,00	0,00	0,10	–0,10
	Q1–Q3	–0,10	–0,50	–0,20	0,00–0,20	–0,30	–0,20	0,00–0,20	–0,30
P (между группами)		0,017 (t)*	0,002 (w)*	< 0,001 (t)*	0,066 (t)	0,026 (t)*	0,002 (t) *	0,002 (w)*	0,921 (t)

Таблица 5. (продолжение)

Группа	Параметр	Ахилл	Лучезапястный сустав	Предплечье наружная	Предплечье внутренняя	Надплечье	Плечо спереди	Плечо сзади
Гемипарез (n = 13)	М	-0,02	0,41	0,50	0,44	0,35	0,32	0,52 ★
	SE	0,09	0,11	0,12	0,13	0,09	0,10	0,09
	CO	0,31	0,40	0,44	0,45	0,34	0,38	0,33
	95% ДИ	-0,38	0,17-0,65	0,23-0,77	0,17-0,71	0,15-0,56	0,09-0,54	0,32-0,73
	Мин.	-0,70 ▼	-0,30 ▼	0,00 ▼	-0,40 ▼	0,00 ▼	-0,40 ▼	0,20 ▼
	Макс.	0,50	1,20 ▼	1,50 ▼	1,30 ▼	1,20 ▼	0,90 ▼	1,30 ▼
	Ме	0,00	0,40	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50
	Q1-Q3	-0,20	0,20-0,60	0,10-0,80	0,20-0,60	0,20-0,40	0,10-0,40	0,27-0,70
Норма (n = 9)	М	-0,01	0,21	0,17	0,24	0,06	0,06	0,00
	SE	0,07	0,07	0,11	0,08	0,05	0,06	0,08
	CO	0,20	0,22	0,29	0,21	0,14	0,19	0,25
	95% ДИ	-0,31	0,04-0,38	-0,53	0,04-0,44	-0,22	-0,29	-0,40
	Мин.	-0,20	-0,20	-0,20	-0,10	-0,10	-0,30	-0,50
	Макс.	0,30	0,50	0,60	0,40	0,30	0,30	0,30
	Ме	-0,10	0,20	0,20	0,40	0,10	0,10	-0,10
	Q1-Q3	-0,30	0,10-0,30	-0,40	0,10-0,40	-0,20	-0,30	-0,30
P (между группами)		0,921 (t)	0,198 (t)	0,095 (t)	0,265 (w)	0,008 (w)*	0,074 (t)	< 0,001 (t)*

Примечание: n — размер выборки; М — среднее; SE — стандартная ошибка; CO — стандартное отклонение; 95% ДИ — доверительный интервал; мин., макс. — минимальное и максимальное значения ТА; Ме — медиана; Q1-Q3 — квартильный интервал; p — достоверность различий, t — критерий Стьюдента, w — критерий Манна-Уитни. * — $p \leq 0,05$ хотя бы на одном этапе (отражен только этап до нагрузки).

телей и после нагрузки не проявили отклонений от нормальной динамики). Группа гемипареза показала резкое отличие в ROI соответствующей проекции внутренней головки икроножной мышцы, что отражает ее наибольшее страдание у этих пациентов.

Статистическое описание исходных значений ТА и ее динамики

по обоим этапам исследования (до и после нагрузки) в группах нормы и гемипареза приведено в табл. 6.

Таким образом, количество ROI на конечностях с достоверной разницей значений ТА между группами хотя бы на одном этапе измерений (с учетом абсолютных температурных значений, модуля этих значений

и весов признаков) составило в паре «норма — гемипарез» 16 ROI. Аналогичный анализ данных по двум другим парам групп показал количество ROI с достоверной разницей значений ТА между группами для пары «норма — диплегия» 2 ROI, а для «пары диплегия — гемипарез» — 22 ROI.

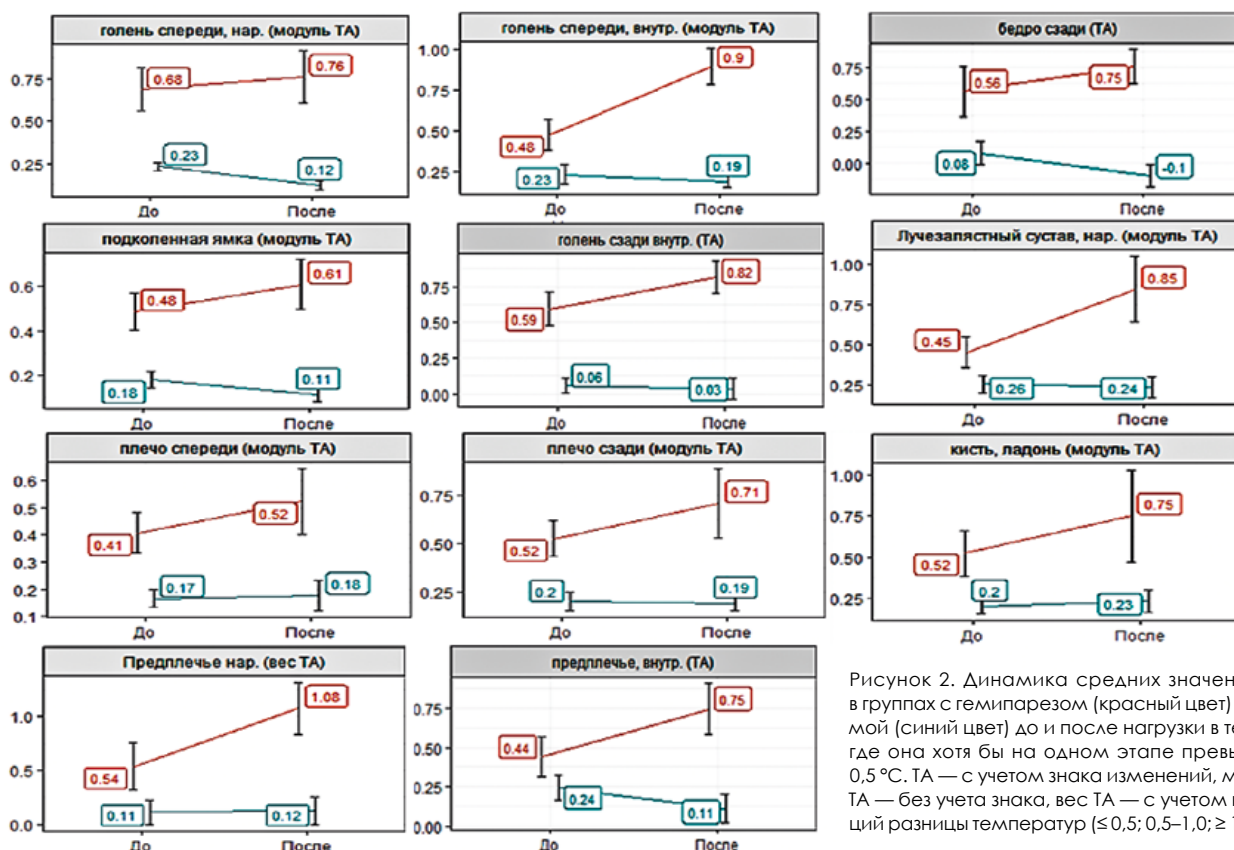


Рисунок 2. Динамика средних значений ТА в группах с гемипарезом (красный цвет) и нормой (синий цвет) до и после нагрузки в тех ROI, где она хотя бы на одном этапе превысила $0,5^{\circ}\text{C}$. ТА — с учетом знака изменений, модуль ТА — без учета знака, вес ТА — с учетом градиентной разницы температур ($\leq 0,5$; $0,5-1,0$; $\geq 1,0^{\circ}\text{C}$).

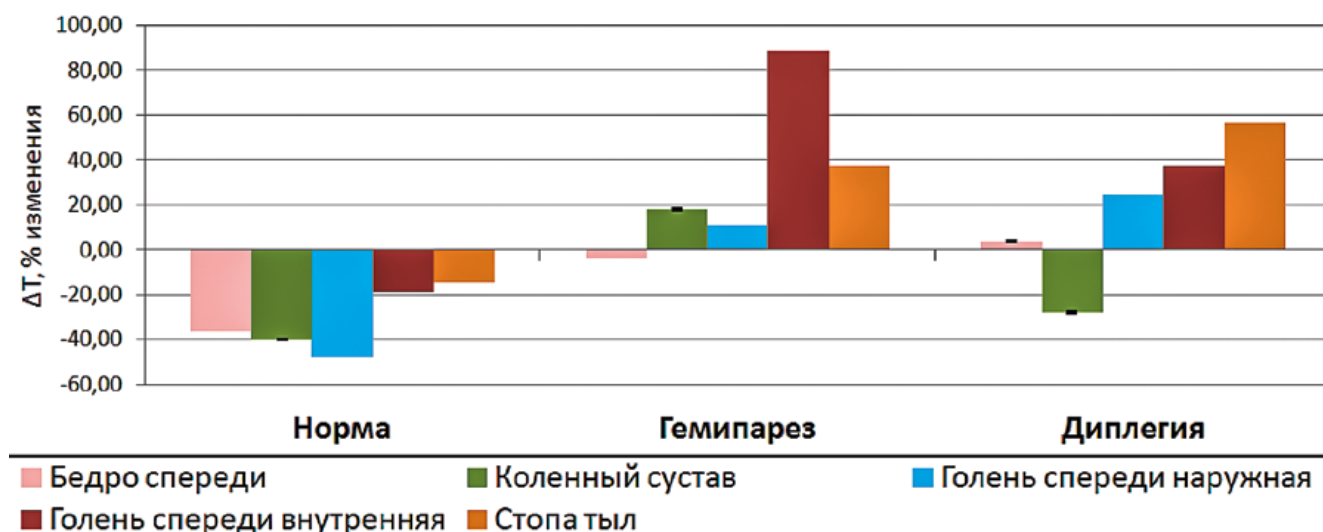


Рисунок 3. Динамика средних значений ТА в ответ на нагрузку по трем группам в сегментах нижних конечностей в проекции «спереди».

Таблица 6
ROI с достоверной разницей исходных значений и динамики ТА до и после нагрузки по группам нормы и гемипареза

ROI	1. Бедро спереди (ТА)	2. Голень спереди нар. (ТА)	3. Голень спереди внутр. (ТА)	4. Голеностоп (модуль ТА)	5. Бедро сзади (ТА)	6. Подколенная ямка (ТА)	7. Голень сзади нар. (ТА)	8. Голень сзади внутр. (ТА)
	0,017 (t)*	0,002 (w)*	< 0,001 (t)*	0,023 (w) *	0,066 (t)	0,026 (t)*	0,002 (t)*	0,002 (w)*
	0,921 (t)	0,008 (w)*	0,074 (t)	< 0,001 (t)*	0,095 (t)	0,265 (w)	0,198 (t)	0,042 (t)*
ROI после нагрузки	1. Бедро спереди (ТА)	2. Голень спереди нар. (ТА)	3. Голень спереди внутр. (ТА)	4. Голеностоп (модуль ТА)	5. Бедро сзади (ТА)	6. Подколенная ямка (ТА)	7. Голень сзади нар. (ТА)	8. Голень сзади внутр. (ТА)
	0,006 (t)*	< 0,001 (t)*	< 0,001 (t)*	0,891 (w)	< 0,001 (t)*	0,006 (w)*	0,152 (t)	< 0,001 (t)*
	0,018 (t)*	0,072 (t)	0,028 (t)*	< 0,001 (w)*	0,005 (t)*	0,005 (t)*	0,025 (t)*	0,265 (w)

Примечание: * — уровень значимости $p \leq 0,05$; ТА — с учетом знака изменения, модуль ТА (для ROI «голеностоп» и «кисть, ладонь») — без учета знака.

Заключение

Тепловидение является объективным методом оценки функционального состояния терморегуляторной системы, отражающим степень моторных нарушений в виде отклонений от присущего норме термопаттерна кожных покровов над пораженными группами мышц и ИК-реакций на умеренные дозированные двигательные нагрузки.

Подтверждена связь периферического кровообращения в конечностях и двигательных функций. При этом вне зависимости от тяжести периферических нарушений не обнаружено выраженных отклонений в температурном распределении на туловище и лице (за исключением повышения температуры в грудном отделе по сравнению с поясничным у пациентов с диплегией).

Для пациентов группы ДЦП с гемипарезом (G80.2) характерно наличие термоасимметрий, связанных со стороной поражения, а для группы с диплегией (G80.1) — нарушений в виде инверсии нормального проксимально-дистального градиента, наиболее выраженных в сегментах «голень — стопа» и «плечо — предплечье», меньше также в «предплечье — кисть»). Выраженность термоасимметрий имеет индивидуальный характер, общим является снижение температуры на стороне и на уровне поражения в проекции наиболее страдающих мышечных групп. Умеренная физическая нагрузка в группе нормы вызывает незначительные по амплитуде разнонаправленные изменения кожной температуры конечностей, а в группах детей с ДЦП ведет к контрастирова-

нию термоаномалий за счет нарастания термоасимметрий и дополнительного снижения температуры в проекции страдающих мышц, свидетельствуя о недостаточных адаптационно-компенсаторных резервах их кровоснабжения и терморегуляции. В то же время связь между тяжестью поражения и величиной температурных отклонений нуждается в дальнейшем изучении.

Тепловидение способно оценить паттерн и степень ишемических нарушений в мышцах, находящихся в состоянии спастичности. Знание о термореакциях кожных покровов в проекции этих мышц в ответ на нагрузочные пробы открывает потенциальную возможность для использования метода в решении таких задач, как, например, выбор целевых

(ключевых) мышц при ботулинотерапии [45], и в целом в оценке хода лечения и реабилитации пациентов с ДЦП. Согласно литературным и нашим данным, целью реабилитационных мероприятий у этой группы больных может являться улучшение симметричности и проксимально-дистального градиента в распределении температур, прежде всего на конечностях. Достижение этих изменений в периферической терморегуляции должно, по нашему мнению, отражать положительную динамику в формировании и закреплении правильных двигательных стереотипов.

Степени отклонений от характерных для нормы температурных распределений на конечностях (термоасимметрии и проксимально-дистальный градиент) в покое и термореакций на дозированные двигательные нагрузки могут служить предикторами успешности или неуспешности планируемых программ нейрореабилитации, а также являться исходными показателями для выработки критериев классификации (дифференциальной диагностики) тяжести поражения у данной категории пациентов.

Список литературы

1. Детский церебральный паралич у детей. Клинические рекомендации. М.: Союз педиатров России. Год утверждения 2016.
2. Rosenbaum P., Paneth N., Leviton A. et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006 // *Dev Med Child Neurol Suppl.* 2007; 49 (6): 480. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2007.tb12610.x
3. Oskoui M., Coutinho F., Dykeman J. et al. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis // *Dev Med Child Neurol.* 2013 Jun; 55 (6): 509–519. DOI: 10.1111/dmcn.12080.
4. Белова А.Н., Шейко Г.Е., Клюев Е.А., Дунаев М.Г. Возможности магнитно-резонансной томографии головного мозга при детском церебральном параличе // *Вопросы современной педиатрии.* 2018; 17 (4): 272–278. doi.org/10.15690/vsp.v17i4.1918.
5. Борзиков В.В., Рукина Н.Н., Кузнецов А.Н., Белова А.Н. Объективизация двигательных нарушений у детей с церебральным параличом: состояние вопроса // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2018; 6 (1): 67–77. DOI: 10.17816/PTORS6167-77.
6. Garg P., Sabnani H., Maheshwari M. et al. CePal — an infrared based remote control for cerebral palsy patients // *Proceedings of the International Symposium on Electronic System Design (ISED) 2010*, 20–22 Dec. 2010, IEEE Computer Society Conference Publication Services. P. 153–157. DOI: 10.1109/ISED.2010.37.
7. Memarian N., Venetsanopoulos A.N., Chau T. Client-centered development of an infrared thermal access switch for a young adult with severe spastic quadriplegic cerebral palsy // *Disabil Rehabil Assist Technol.* March 2011b; 6 (2): 179–187. DOI: 10.3109/17483107.2010.498075.
8. Lee B.-H. Clinical usefulness of augmented reality using infrared camera based real-time feedback on gait function in cerebral palsy: a case study // *J. Phys. Ther. Sci.* 2016; 28: 1387–1391. DOI: 10.1589/jpts.28.1387.
9. Burnham R.S., McKinley R.S., Vincent D.D. Three types of skin-surface thermometers: a comparison of reliability, validity, and responsiveness // *Am J Phys Med Rehabil.* 2006; 85: 553–558. DOI: 10.1097/01.phm.0000223232.32653.7f.
10. Zaproudina N., Varmavuo V., Airaksinen O., Narihi M. Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals // *Physiological Measurement.* 2008; 29: 515–524. DOI: 10.1088/0967-3334/29/4/007.
11. Kolosovas-Machuca S., González F.J. Distribution of skin temperature in Mexican children // *Skin Res. Technol.* 2011; 17 (3): 326–331.
12. Symonds M.E., Henderson K., Elvidge L. et al. Thermal imaging to assess age-related changes of skin temperature within the supraclavicular region co-locating with brown adipose tissue in healthy children // *J. Pediatr.* 2012; 161 (5): 892–898. DOI: 10.1016/j.jpeds.2012.04.056.
13. Coben R., Myers T.E. Sensitivity and specificity of long wave infrared imaging for attention-deficit/hyperactivity disorder // *J. Atten Disord.* 2009; 13: 56–65. DOI: 10.1177/1087054708329778.
14. Rossignoli I., Benito P.J., Herrero A.J. Reliability of infrared thermography in skin temperature evaluation of wheelchair users // *Spinal Cord.* 2015; 53 (3): 243–248. DOI: 10.1038/sc.2014.212.
15. Neves E.B., Vilaca-Alves J., Rosa C., Machado Reis V. Thermography in neurologic practice // *The Open Neurology Journal.* 2015; 9: 24–27. DOI: 10.2174/1874205X01509010024.
16. Воловик М.Г., Долгов И.М. Современные возможности и перспективы развития медицинского тепловидения // *Медицинский алфавит. Современная функциональная диагностика.* 2018. 25 (3): 45–51.
17. Воловик М.Г. Динамическое инфракрасное картирование терморегуляторных процессов в биологических тканях. Автореф. дис. ...доктора биологических наук. Пушкино. 2016. 45 с.
18. Wanklyn P., Ilsey D.W., Greenstein D. et al. The cold hemiplegic arm // *Stroke.* 1994; 25 (9): 1765–1770. PMID: 8073457.
19. Pietzarka K., Reimann M., Schmidt C. et al. The cold hand sign in multiple system atrophy: skin perfusion revisited // *J. Neural Transm.* 2010; 117: 475–479. DOI: 10.1007/s00702-010-0375-x.
20. Antonio-Rubio I., Madrid-Navarro C.I., Salazar-Lopez E. et al. Abnormal thermography in Parkinson's disease // *Parkinsonism & Related Disorders.* 2015; 21 (8): 852–857. DOI: 10.7868/S0131164617060030.
21. Alfieri F.M., Massaro A.R., Filippo T.R. et al. Evaluation of body temperature in individuals with stroke // *NeuroRehabilitation.* 2017; 40 (1): 119–128. DOI: 10.3233/NRE-161397.
22. Karaszewski B., Carpenter T.K., Thomas R.G.R. et al. Relationships between brain and body temperature, clinical and imaging outcomes after ischemic stroke // *J. Cerebral Blood Flow Metabol.* 2013; 33: 1083–1089.
23. Zanona A., de Freitas, de Souza R.F., Aidar F.J. Use of virtual rehabilitation to improve the symmetry of body temperature, balance, and functionality of patients with stroke sequelae // *Annals of Neurosciences.* April 2018; 8 pp. DOI: 10.1159/000488581.
24. Panju S., Preethi B.L., Jaisri G. Assessment of autonomic functions in individuals with cerebral palsy // *Int. J. Basic Appl. Physiol.* 2016; 5 (1): 15–20.
25. Ibrahim A.I., Muaidi Q.I., Alghamde A.A. Abnormalities of vital signs in children with cerebral palsy: relationship to physical disabilities // *J. Dev Phys Disabil.* Springer Science + Business Media, LLC 2017, 13 pp. doi.org/10.1007/s10882-017-9577-6.
26. Zornoza-Moreno M., Fuentes-Hernandez S., Sanchez-Solis M. et al. Assessment of circadian rhythms of both skin temperature and motor activity in infants during the first 6 months of life // *Chronobiol Int.* 2011; 28 (4): 330–337. DOI: 10.3109/07420528.2011.565895.
27. Alves-Pinto A., Blumenstein T., Turava V., Lampe R. Altered lower leg muscle activation patterns in patients with cerebral palsy during cycling on an ergometer // *Neuropsychiatric Disease and Treatment.* 2016; 12: 1445–1456. DOI: 10.2147/NDT.S98260.
28. Blain S., Chau T., Mihailidis A. Peripheral autonomic signals as access pathways for individuals with severe disabilities: a literature appraisal // *Open Rehabil J.* 2008; 1: 27–37. DOI: 10.2174/1874943700801010027.
29. Radomski D., Kruszevski K. Usability of dynamic thermography for assessment of skeletal muscle activity in physiological and pathological conditions — preliminary results // *Information Technology in Biomedicine. Proceedings 6th International Conference, ITIB'2018, AISC 762.* Kamień Śląski, Poland, June 18–20, 2019. P. 580–588. doi.org/10.1007/978-3-319-91211-0_51.
30. Merino E., Mannrich G., Guimarães B. et al. Implementation of integrated instrumentation in assistive technology // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* July 2018; 12 pp. DOI: 10.1007/978-3-319-60582-1_55.
31. Amalu W.C. Cortical blindness, cerebral palsy, epilepsy, and recurring otitis media: a case study in chiropractic management // *Today's Chiropractic.* May/June 1998. P. 16–25.
32. Svedberg L.E., Englund E., Walker H., Stener-Victorin E. Parental perception of cold extremities and other accompanying symptoms in children with cerebral palsy // *Eur. J. Paediatr. Neuro.* 2008; 12: 89–96. DOI: 10.1016/j.ejpn.2007.06.004.
33. Lampe R., Kawelke S., Mitternacht J. et al. Thermographic study of upper extremities in patients with cerebral palsy // *Opto-Electron. Rev.* 2015; 23 (1): 60–65. doi.org/10.1515/oere-2015-0005.
34. Svedberg L.E. Cold feet in children with neurological disorders. *Intellecta Infolog AB, Gothenburg, Sweden*, 2009. 69 p.
35. Ключкова О.А., Куренков А.А., Намазова-Баранова Л.С. и др. Концепция «ключевых мышц» и раннее начало ботулинотерапии при спастических формах детского церебрального паралича // *Вопросы современной педиатрии.* 2017; 16 (1): 39–48. doi: 10.15690/vsp.v16i1.1693.
36. Lampe R., Kawelke S., Mitternacht J., Grading-R. Thermographie: Temperaturregulation bei Patienten mit infantiler Zerebralparese // *J. für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie.* 2011; 12 (2): 191–198. doi.org/10.1515/oere-2015-0005 [in German].
37. Asagai Y., Imakire A., Ohshiro T. Thermographic effects of laser therapy in patients with cerebral palsy // *Laser Therapy.* 2000; 12: 12–15. DOI: 10.5978/ism.12.12.
38. Dziuba A., Dudek K., Kobel-Buys K. et al. Thermovision techniques for evaluation of the effect of hippotherapy on changes in lower limb temperature in children with cerebral palsy (CP) — a pilot study // *Fizjoterapia.* 2013; 21 (1): 21–25. doi.org/10.2478/physio-2013-0019.
39. Zurek G., Dudek K., Pirogowicz I. et al. Influence of mechanical hippotherapy on skin temperature responses in lower limbs in children with cerebral palsy // *Journal of Physiology and Pharmacology.* 2008; 59 (6): 819–824.
40. Suzuki Y., Kobayashi M., Kuwabara K. et al. Skin temperature responses to cold stress in patients with severe motor and intellectual disabilities // *Brain Develop.* 2013; 35: 265–269. DOI: 10.1016/j.braindev.2012.04.003.
41. Карякин Н.Н., Шейко Г.Е., Воловик М.Г., Белова А.Н. Технологии виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с детским церебральным параличом // *Бюллетень сибирской медицины.* 2019 [в печати].
42. Briosci M.L., Cherem A.J., Ruiz R.C. et al. O uso da termografia infravermelha na avaliação do retorno ao trabalho em programa de reabilitação ampliado (PRA) // *Acta Fisiatr.* 2009; 16 (2): 87–92 [in Portuguese].
43. Драгун В.А., Филатов С.А. Вычислительная термодиагностика. Применение в медицине. Минск: Наука и техника. 1992. 232 с.
44. Bongers C.C.W.G., Eijssvogels T.M.H., van Nes I.J.W. et al. Effects of cooling during exercise on thermoregulatory responses of men with paraplegia // *Phys Ther.* 2015; 95: 650–658. DOI: 10.2522/ptj.20150266.
45. Placzek R., Solem K.H., Meiss L.A. et al. The key-muscle concept: a long-term low-dose injection strategy for botulinum toxin A treatment in cerebral palsy // *Acta Orthop Belg.* 2012; 78 (1): 111–116.

Для цитирования. Воловик М.Г., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н. Тепловизионные признаки спастических форм ДЦП у детей 4–7 лет: протокол и анализ данных // *Медицинский алфавит. Серия «Неврология и психиатрия».* — 2019. — Т. 3. — 24 (399). — С. 28–38.

