

Тепловизионный паспорт здоровья ребенка, занимающегося спортом, как основа динамического контроля его успешности в выбранном виде спорта

М.Г. Воловик^{1, 2}, И.М. Долгов²

¹ ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России, Нижний Новгород

² ООО «Дигносис», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Нарративный обзор посвящен обоснованию целесообразности применения инфракрасного тепловидения в детском спорте. Рассмотрены возможности тепловидения в спортивной физиологии и медицине, концепция «теповизионного паспорта здоровья спортсмена», варианты использования метода в тренировочном и соревновательном периодах, его эффективность в профилактике спортивного травматизма. Показана практическая ценность тепловидения в комплексном подходе для мониторинга здоровья, оценки производительности и выявления потенциальных проблем на протяжении всей спортивной карьеры ребенка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инфракрасное тепловидение, спорт, дети, здоровье.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Thermal Imaging Health Passport for a Child Engaged in Sports as the Basis for Dynamic Monitoring of Their Success in a Chosen Sport

M.G. Volovik^{1, 2}, I.M. Dolgov²

¹ Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

² LLC «Dignosys», Moscow, Russia

SUMMARY

The narrative review is dedicated to justifying the feasibility of using infrared thermal imaging in children's sports. It examines the possibilities of thermal imaging in sports physiology and medicine, the concept of a 'Athlete's Thermal Passport,' and various applications of the method during training and competitive periods, as well as its effectiveness in preventing sports injuries. The practical value of thermal imaging is demonstrated within a comprehensive approach for monitoring health, assessing performance, and identifying potential issues throughout a child's sporting career.

KEYWORDS: thermal imaging, sports, children, health.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Введение

Персональное здоровье ребенка – это интегральный результат взаимодействия генотипа и среды, и огромную роль для физического и психического развития детей играют занятия спортом [1]. Значимые факторы для физической подготовки – рост, развитие и скорость созревания систем – определяются, в основном, наследственностью [2]. Динамика роста и развития опорно-двигательного аппарата в онтогенезе выражается, прежде всего, в изменениях структуры, сократительных свойств и энергетики мышечных волокон [3].

Возрастная физиология мышечной системы у детей изучалась многими исследователями [4]. С позиций спортивной физиологии главная цель всего тренировочного процесса – сформировать адаптацию к возрастающим нагрузкам, поэтому оптимальный прогресс в соответствующих видах спорта доступен для ребенка в разные периоды развития его организма. В современной отечественной классификации возрастных периодов у спортсменов [5] за критерии взяты этапы дифференцировки мышечной

ткани, чувствительные периоды развития физических качеств и связанных с ними двигательных способностей, степень биологической зрелости и индивидуально-типологические механизмы формирования адаптации к текущим физическим нагрузкам.

Как для краткосрочного планирования тренировочного процесса, так и для выстраивания долгосрочной стратегии воспитания спортсмена полезно знание об эффектах таких факторов, как воздействие специфических физических нагрузок, введение различных гормонов, изменение характера питания [6], гендерные аспекты развития [7]. На дифференцировку мышечных волокон влияет также их адаптация к специфическим нагрузкам при разной специализации в процессе занятий спортом [8].

При резком возрастании энергетических затрат во время спортивных упражнений значительная часть энергии преобразуется в тепловую, что может привести к перегреву и повреждению тканей [9]. Тепловой стресс активирует терморегуляцию в форме комплексной психофизиологической реакции, включающей изменения температуры

кожи, ЧСС, скорости метаболизма и т. д., а также поведенческие механизмы [10]. Настройка терморегуляторной системы зависит от индивидуальных особенностей, таких как пол, возраст, индекс массы тела, циркадные ритмы и адаптационные ресурсы разных систем, в значительной мере определяемые их тренированностью [11]. Средовые факторы влияют на температуру кожи больше, чем нагрузка при упражнениях, и длительные занятия спортом в искусственной среде (зал, манеж, спорткомплекс) могут ослабить устойчивость к изменениям окружающей среды, что противоречит намерению поддерживать здоровье с помощью физических упражнений [12].

Спортивная медицина в последние годы обогатилась благодаря технологическому прогрессу (передовые методы визуализации, носимые устройства, геномика) и все более эффективна в изучении общего укрепления здоровья и профилактики травматизма [13]. Многообразие факторов, определяющих функциональное состояние спортсмена, способствовало разработке широкого спектра методических подходов в комплексной оценке его здоровья на этапах тренировочного процесса, в соревновательный и восстановительный периоды: биохимические измерения [14], вариабельность сердечного ритма [15], ИК спектроскопия мочи [16] и др. Методом, объективизирующим вегетативную регуляцию адаптационных ресурсов организма при занятиях спортом и адекватно измеряющим терморегуляторные реакции, является инфракрасное тепловидение (ИКТ).

Сокращения:

- ИКТ – инфракрасное тепловидение
- ТПВ – тепловизионный
- ТА – термоасимметрия
- ROI – область интереса (Region of Interest)

Тепловидение в спортивной физиологии и медицине

В состоянии покоя кожная температура мало зависит от мышечной массы и имеет обратную зависимость от толщины подкожного жира оцениваемой области. Напротив, работающие мышцы значительно меняют термотопографию тела [17], и именно это обуславливает целесообразность применения ИКТ в спорте.

Доказанные преимущества перед многими методами в текущем или динамическом контроле функционального состояния мышечно-суставного аппарата обуславливают эффективность тепловидения в спортивной медицине [18]. Безвредность, бесконтактность, панорамность захвата изображения и высокая скорость точных измерений делают ИКТ незаменимым для мониторинга здоровья спортсмена практически в любых условиях: в спортзале, на стадионе, в физиокабинете. Исследования в этой области служат основанием для включения тех или иных разработок в практические рекомендации, помогая оптимизировать тренировочную стратегию для каждого конкретного спортсмена и получить рекомендации для достижения им более высоких результатов [19 и 20].

Примерами практической ценности ИКТ являются работы, демонстрирующие, что тренированные люди лучше контролируют кожную температуру, чем не трениро-

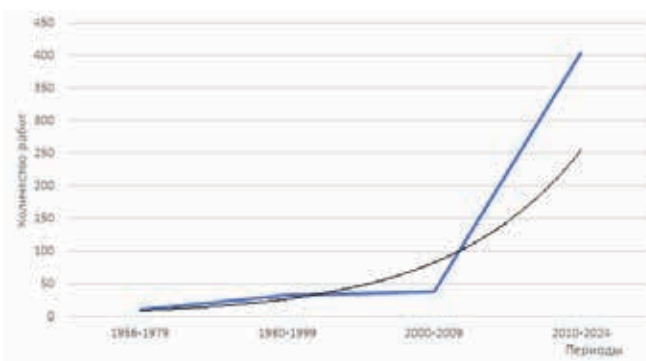


Рисунок 1. Динамика публикационной активности по теме спортивного тепловидения (плавная кривая – экспоненциальная линия тренда) (по данным ООО «Дигносис», URL: <https://dignosis.com/info/>)

ванные [21], а спортсмены более высокой квалификации быстрее адаптируются к росту нагрузок по сравнению с начинающими [22]. Степень готовности спортсмена к соревновательному периоду также доступна оценке с помощью ИКТ [23]. Метод позволяет учитывать влияние таких факторов как температура и влажность среды [24], одежда, обувь, спортивное оборудование и инвентарь [25].

Буквально экспоненциальный рост количества публикаций по спортивному тепловидению свидетельствует о его высокой оценке специалистами (рис. 1).

Тепловизионный паспорт здоровья

Тепловизионный (ТПВ) паспорт здоровья – это высокотехнологичный ресурс для спортсменов разного возраста и уровня подготовки [26]. Для создания паспорта проводят термокартирование всего тела спортсмена [27] с учетом вида спорта, значимо влияющего на формирование специфических термопаттернов и термореакций различных областей. Так, установлены факты формирования термоасимметрии (ТА) за счет гипертермии в проекции большеберцовой мышцы доминирующей ноги у профессиональных футболистов [28], рабочей руки у лучников [29], ведущей (захватывающей) руки у дзюдоистов [30] и т. п. В протокол, в зависимости от вида спорта, должны входить наиболее уязвимые в отношении риска травм области [31]: например, у футболистов это коленный и голеностопный суставы и ахиллово сухожилие, у фехтовальщиков и теннисистов – лучезапястный и локтевой суставы.

Для термокартирования тела исследователи разрабатывают авторские схемы областей интереса (ROI) с разной степенью детализации (рис. 2).

Базовые характеристики термотопографии кожных покровов здорового человека лежат в основе диагностики любых отклонений.

На основе данных о распределении кожных температур в состоянии покоя и их динамике при нагрузках можно персонализировать программы тренировок и восстановительного периода для каждого спортсмена, оценивать текущее и прогнозировать вероятное будущее функциональное состояние с учетом вида спорта и индивидуальных особенностей [35]. Спортивным врачам ИКТ помогает оценивать переносимость тренировочных или соревновательных на-

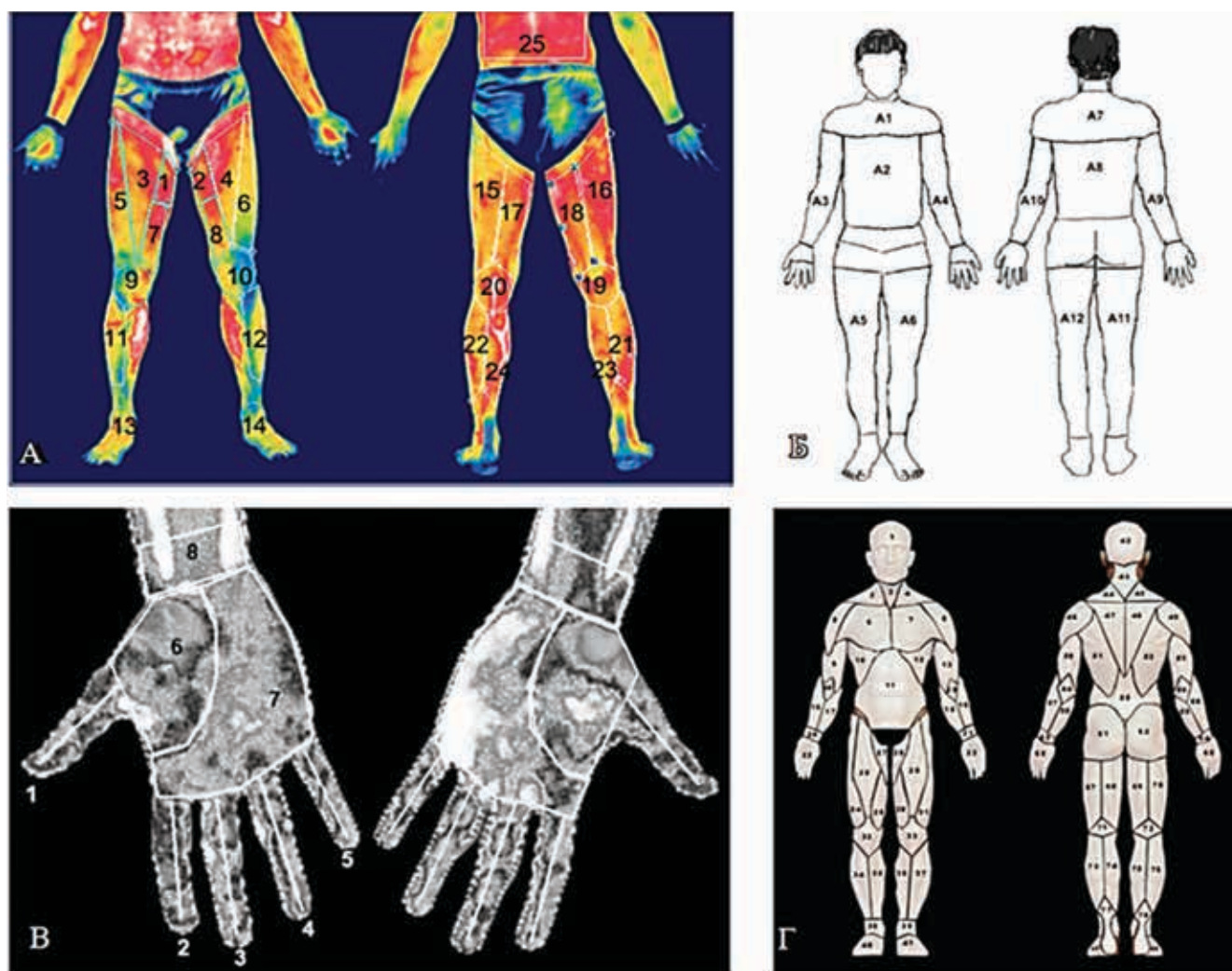


Рисунок 2. А – анализируемые ROI на ногах у футболиста [28]; Б – схема ROI для комплексного анализа терморегуляции у детей после общефизической тренировки [32]; В – ROI для термовизирования у игроков в валенсийский гандбол [33]; Г – 78 ROI из программного обеспечения TernoTracker® для спортивных исследований [34]

грузок, степень восстановления, заранее выявлять эффект переутомления структур [36]. Все это делает ТПВ паспорт спортсмена высокоэффективным инструментом не только для него, но и для всей команды профессионалов, которая с ним работает и может получать быструю и объективную информацию о функциональном состоянии, наличных проблемах и потенциальных угрозах здоровью [28].

Применение тепловидения в тренировочный и соревновательный периоды

ИКТ может быть использовано в качестве сравнительного инструмента для установления эффективности различных средств и методов в оценке тренировочного процесса. Показано, что температура поверхности тела имеет высокую корреляцию с уровнем лактата, гемоглобина, с активностью креатинкиназы, лактатдегидрогеназы, с ЧСС и другими показателями [36]. При этом отмечается, что точность ИКТ в ряде клинических контекстов позволяет ТПВ данными успешно заменить распространенные в спортивной медицине физиологические и биохимические измерения, давая в то же время преимущество в безвредности, простоте, скорости оценки проблемы [37].

С помощью ИКТ, ориентируясь на соответствие/несоответствие индивидуальных термохарактеристик эталонным для данного вида спорта признакам, можно корректировать длительность и интенсивность тренировки [38]. Так, для принятия решения могут быть полезны ТПВ данные о симметричности ROI там, где они должны быть симметричны (например, в велоспорте [39]), и о границах ТА в тех видах спорта, где распределение нагрузки асимметрично (например, в теннисе [40]). Этот признак может предупреждать о нарушении баланса нагрузки на мышечно-суставные структуры [41], способствуя своевременному принятию профилактических мер. Следует обращать особое внимание на ROI, на которые выпадает специфическая нагрузка, как ахиллово сухожилие, икроножная мышца и коленный сустав в прыжковых видах спорта [42], а мышцы спины – в тяжелой атлетике, пауэрлифтинге [43] и т. п.

После тренировки (матча, соревнований) в ходе восстановления параметров физиологического гомеостаза динамика регистрируемых ТПВ показателей, соответствующая нормальности либо отклонению от нее, свидетельствует о переносимости нагрузок данным спортсменом [44].

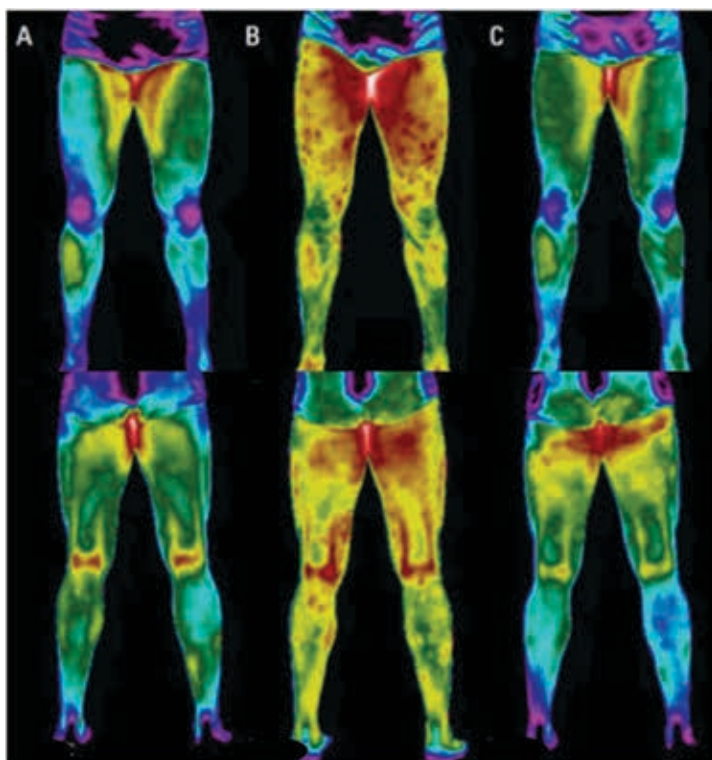


Рисунок 3. Термограммы передней (вверху) и задней (внизу) проекции ног футболиста: А – за 24 часа до матча; В – через 24 часа после начала матча; С – через 48 часов после начала матча [47, с изменениями]

Температура кожи отражает связь терморегуляторных процессов с нагрузкой: при низкоинтенсивных аэробных тренировках она имеет тенденцию к снижению, но затем быстро повышается до нормальных значений, а во время анаэробных упражнений, наоборот, она растет, снижаясь после тренировки и снова увеличиваясь в последующие дни [45]. Тренированные мышцы и суставы проявляют более высокую метаболическую активность и более быстрое энергетическое и пластическое восстановление [46]. Поэтому у спортсменов более высокого уровня после тренировки наблюдается большее увеличение кожной температуры по сравнению с менее тренированными. Эти ТПВ результаты полезны для количественной оценки физической работоспособности и усвоения тренировочной нагрузки каждым конкретным спортсменом.

На термограммы, сделанные после тренировки, влияет время их съемки (рис. 3).

Эффективность тепловидения наглядно показывает его применение для оценки силовой тренировки [48]. Полезность силовых упражнений под контролем тепловидения, а именно снижение спортивного травматизма, показана как у детей, так и у взрослых, у элитных спортсменов и у непрофессионалов [49].

Тепловидение для профилактики спортивного травматизма

В спорте высоких достижений затраченные на предотвращение травм ресурсы (временные, экономические, психологические) всегда намного меньше потерь, связанных с лечением травм, которые можно было бы предотвратить [50].

Ранние биомаркеры (предикторы) мышечных травм могут быть получены посредством измерений температуры кожи. ТПВ мониторинг тренировок на основе количественной оценки эффектов рабочей нагрузки – инструмент для выявления рисков и предотвращения травм [51]. На ранних стадиях заболевания ИКТ картирует нарушения распределения температуры в мышечных областях, отражающие воспалительные явления в мышечно-суставной системе как в покое, так и при выполнении конкретных упражнений на этапах тренировки.

При высоких нагрузках травмы у спортсменов случаются часто. Так, в испанской профессиональной футбольной команде зарегистрировали 8,94 травмы на 1000 часов тренировок за сезон (2184 травмы на 244 835 часов), преимущественно разрывы мышц и травмы связок. В сумме это составило 909 дней потерь на команду [52]. Отсюда очевидна ценность ранней диагностики, и ИКТ позволяет предотвратить немалый процент подобных травм [34].

Распределение температур и эволюция термопризнаков может визуализировать преморбидные или патологические состояния элементов опорно-двигательного аппарата спортсмена. Исследователи установили величину ТА в ROI на конечностях в покое, соответствующую различным состояниям и требующую соответствующего уровня внимания: $\leq 0,4^{\circ}\text{C}$ – норма (в процессе реабилитации после травмы соответствует стойкой ремиссии), $0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$ – динамическое наблюдение, $0,8\text{--}1,0^{\circ}\text{C}$ – необходимость профилактики, $1,1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ – опасность травмы, $\geq 1,6^{\circ}\text{C}$ – острая травма [53].

Для дифференцировки изменений температуры, характерных для травмы, от изменений вследствие нагрузки (перегрузки, переутомления, недовосстановления...) необходима разработка протоколов обследования, включающих применение специализированных функциональных проб [54], позволяющих не только определить локализацию вовлеченных структур и степень тяжести травмы, но и выявить пострадавшие механизмы.

ИКТ выгодно отличается высокой повторяемостью данных и применимостью практически в любых условиях измерений [55]. Метаанализ [56] показал, что при обнаружении травм опорно-двигательного аппарата метод продемонстрировал чувствительность 0,70 и специфичность 0,75. Особенно ценна возможность выявлять нарушения на ранней стадии, что дает мощный диагностический и прогностический инструмент в руки тренеров, спортивных врачей и реабилитологов.

В период лечения ИКТ помогает оценить эффективность реабилитационных мероприятий [34].

Тепловидение и дети в спорте

Разработанная на взрослых спортсменах методология, с учетом данных возрастной физиологии, может использоваться в качестве надежного инструмента для оценки

и корректировки тренировочного процесса у детей-спортсменов, предупреждения у них спортивных травм, отслеживания их восстановления [57, 55 и др.].

Одновременную оценку взаимосвязи характеристик термопортрета с показателями физического развития и двигательной подготовленности испытуемых осуществили, сопоставив характеристики термопортрета младших и старших школьников между собой, а также с аналогичными измерениями у молодых мужчин [58]. Наряду с тенденцией к снижению температуры кожи с возрастом обнаружено большое индивидуальное разнообразие термопортретов. У детей младшего школьного возраста беговые тесты не выявили связи ТПВ показателей с эргометрическими результатами. Однако у школьников 15–18 лет такие корреляции обнаружили, что можно объяснить периферической дифференцировкой мышечных волокон в пубертатном периоде под воздействием половых гормонов [59], еще больше сила связи этих характеристик у взрослых мужчин.

Большую клиническую ценность для персонализированной спортивной подготовки на раннем этапе жизни имеет возможность с помощью ИКТ объективно оценить индивидуальную терморегуляцию до и после тренировки у школьников, стратифицированных по возрасту и полу [32].

ИКТ применяют у детей также в качестве вспомогательного инструмента в спортивном мониторинге как способ предотвращения травм. Данные о кожной температуре у подростков при изменении индекса массы тела в онтогенезе отражают влияние антропологических признаков на спортивные результаты и травматизм [60].

Таким образом, доказана эффективность комплексного подхода с использованием ИКТ для мониторинга здоровья, производительности и потенциальных проблем на протяжении всей спортивной карьеры ребенка. В целом, отметим недостаточность ТПВ исследований в разрезе онтогенетического созревания у детей важных в спортивном аспекте качеств. Это направление исследований мы считаем перспективным.

Список литературы / References

- Felfe C., Lechner M., Steinmayr A. Sports and Child Development // *PLoS ONE*. 2016;11(5):e0151729. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151729>.
- Matejek Č., Starc G. The relationship between children's physical fitness and gender, age and environmental factors // *Ann Kinesiol. [in the Internet]*. 2013. Vol. 4, no. 2, p. 95–108. PID: 20.500.12556/DKUM-66983.
- Anatomy & Physiology. OpenStax. by L.M. Biga et al. Oregon State University, 2019. Chapter 10. Muscle Tissue; Chapter 11. The Muscular System. <https://open.oregonstate.education/aandp/>.
- Nikolaidis P.T., Marinho D.A., Clemente-Suárez V.J., Son'kin V.D. Children's Sports Physiology – The Early Studies // *Physiologia* 2023, 3, 113–118. <https://doi.org/10.3390/physiologia3010009>.
- Погосян Т.А. Классификация возрастных периодов у спортсменов // *Уч. зап. ун-та Лесгафта*. 2018;6(160):178–182.
- Poghosyan T.A. Classification of age periods in athletes // *Uch. zap. Lesgaft University*. 2018;6(160):178–182.
- Hall E.C.R., Semenova E.A., Bondareva E.A. et al. Association of muscle fiber composition with health and exercise-related traits in athletes and untrained subjects // *Biol Sport*. 2021;38(4):659–666. DOI: 10.5114/biolSport.2021.102923.
- Welle S., Tavil R., Thornton C.A. Sex-Related Differences in Gene Expression in Human Skeletal Muscle // *PLoS ONE*. 2008;3(1):e1385. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001385>.
- Plotkin D.L., Roberts M.D., Haun C.T., Schoenfeld B.J. Muscle Fiber Type Transitions with Exercise Training: Shifting Perspectives // *Sports*. 2021;9:127. <https://doi.org/10.3390/sports9090127>.
- Hargreaves M., Spriet L.L. Skeletal muscle energy metabolism during exercise // *Nat Metab*. 2020;2:817–828. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>.
- Notley S.R., Mitchell D., Taylor N.A.S. A century of exercise physiology: concepts that ignited the study of human thermoregulation. Part 3: Heat and cold tolerance during exercise // *Eur J Appl Physiol*. 124, 1–145 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00421-023-05276-3>.
- Сонькин В.Д., Макарова Л.В., Параничева Т.М. Научно-методическое обеспечение сохранения и укрепления здоровья обучающихся в условиях образовательной организации (обзор литературы) // Новые исследования. Январь 2023. С. 7–21. DOI: 10.46742/2072-8840-2023-76-4-7-21.
- Sonkin V.D., Makarova L.V., Paraničeva T.M. Scientific and methodological support for the preservation and strengthening of students' health in an educational organization (literature review) // *New research*. January 2023. pp. 7–21. DOI: 10.46742/2072-8840-2023-76-4-7-21.
- Lin Y., Jin H., Jin Y., Kang J. Experimental study on the effects of exercise intensity and thermal environment on thermal responses // *Building and Environment*. 2023;232:110067. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110067>.
- Matthews M.J., Kanungo S., Baker R.J., Kenter K. Exercise Physiology: A Review of Established Concepts and Current Questions // *Physiologia* 2024, 4, 202–212. <https://doi.org/10.3390/physiologia4020011>.
- Aidar F.J., Matos D.G., Souza R.F. et al. Comparison of the Local Temperature, Lactate and Glucose After Three Different Strength Training Methods // *Int J Exerc Sci*. 2021;14(4):1408–1420. PMID: PMC9017855.
- Stepanyan L., Lalayan G. Heart rate variability features and their impact on athletes' sports performance // *J Phys Educ Sport (JPES)*. August 2023;23(8, Art 247):2156–2163.
- Béjar-Grimolt J., Sánchez-Illana Á., de la Guardia M. et al. Dryfilm-ATR-FTIR analysis of urinary profiles as a point-of-care tool to evaluate aerobic exercise // *Anal Methods*. 2024. DOI: 10.1039/D4AY00913D.
- Da Silva W., Godoy-López J.R., Machado Á.S. et al. Effect of different volumes of exercise on skin temperature responses over the following 24 hours // *J Therm Biol*. 2024;123:103923. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103923>.
- Moreira D.G., Costello J.T., Brilo C.J. et al. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: a Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature // *J Therm Biol*. July 2017;69:155–162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.006>.
- Ачкасов Е.Е., Воловик М.Г., Долгов И.М., Колесов С.Н. Медицинское тепловидение. Уч. пос. М.: ИНФРА-М, 2019. 218 с. www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5ce64de5707d59.18786697.
- Achkasov E.E., Volovik M.G., Dolgov I.M., Kolesov S.N. Medical thermal imaging. Uch. village M.: INFRA-M, 2019. 218 p. www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5ce64de5707d59.18786697.
- Application of Infrared Thermography in Sports Science. J.I. Priego Quesada (Editor). Valencia, Spain: Springer International Publishing AG, 2017. 327 p. DOI: 10.1007/978-3-319-47410-6.
- Abate M., Di Carlo L., Di Donato L. et al. Comparison of cutaneous thermic response to a standardized warm up in trained and untrained individuals // *J Sports Med Phys Fitness*. 2013;53(2):209–215. PMID: 23584330.
- Formenti D., Ludwig N., Gargano M. et al. Thermal imaging of exercise-associated temperature changes in trained and untrained female subjects // *Ann Biomed Eng*. 2013 Apr.;41(4):863–871. doi:10.1007/s10439-012-0718-x.
- Kasprzyk-Kuciewicz T., Stanek A., Sieroń-Stońny K., Cholewka A. Thermal Imaging in Evaluation of the Physical Fitness Level. In book: Research Anthology on Business Strategies, Health Factors, and Ethical Implications in Sports and eSports, January 2021. Chapter. DOI: 10.4018/978-1-7998-7707-3.ch043.
- Rodrigues Júnior J.F.C., McKenna Z., Amorim F.T. et al. Thermoregulatory and metabolic responses to a half-marathon run in hot, humid conditions // *J Therm Biol*. 2020;93:102734. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102734>.
- Priego Quesada J.I., Carpes F.P. Application of Infrared Thermography in the Assessment of Sport Equipment. In book: Materials in Sports Equipment. January 2019. DOI: 10.1016/B978-0-08-102582-6.00002-2.
- Neves E.B. Thermal Imaging in Sports: Athlete's Thermal Passport // *Motricidade*. 2019;15(2–3):4–5. DOI: <https://doi.org/10.6063/motricidade.18398>.
- Escamilla-Galindo V.E., Fernández Cuevas I., del Estal Martínez A. Description of the thermal pattern of 950 athletes using thermography to measure skin temperature // 27th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS. At: Sevilla, Spain, Sept. 2022.
- Gómez-Carmona P.M., Fernández Cuevas I., Sillero Quintana M. et al. Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries // *J Sport Rehab*. March 2020;29(6). DOI: 10.1123/jsr.2019-0056.
- Sanchis-Sanchis R., Priego Quesada J.I., Ribas-García V. et al. Effects of asymmetrical exercise demands on the symmetry of skin temperature in archers // *Physiol Meas*. October 2020;41(11). DOI: 10.1088/1361-6579/abc020.
- Arnaiz-Lastras J., Fernández-Cuevas I., Sillero-Quintana M. et al. Pilot study to determine thermal asymmetries in judokas // 16th annual European Congress of Sport Sciences. Liverpool, UK, 6–9 July 2011.
- Menezes P., Rhea M., Herdy C., Simão R. Effects of strength training program and infrared thermography in soccer athletes' injuries // *Sports*. 2018;6:148. doi: 10.3390/sports6040148.
- Debiec-Bak A., Skrzek A., Podbielska H. et al. Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention // *EPMA Journal* 12, 435–447 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00262-1>.
- Sánchez-Jiménez J.L., Tejero-Pastor R., Calzadillas-Valles M.d.C. et al. Chronic and Acute Effects on Skin Temperature from a Sport Consisting of Repetitive Impacts from Hitting a Ball with the Hands // *Sensors*. 2022;22:8572. <https://doi.org/10.3390/s2218572>.

34. Sillero Quintana M., Gómez Carmona P.M., Fernández Cuevas I. Infrared Thermography as a Means of Monitoring and Preventing Sports Injuries. In book: Research Anthology on Business Strategies, Health Factors, and Ethical Implications in Sports and eSports. January 2021. Chapter. DOI: 10.4018/978-1-7998-7707-3.ch046.
35. Kasprzyk-Kuciewicz T., Szurko A., Stanek A. et al. Usefulness in Developing an Optimal Training Program and Distinguishing between Performance Levels of the Athlete's Body by Using of Thermal Imaging // Int J Environ Res Public Health 2020;17:5698. doi:10.3390/ijerph17165698.
36. Neves E.B., Salamunes A.C.C., De Meneck F. et al. Correlations Between Anthropometric Measurements and Skin Temperature, at Rest and after a CrossFit® Training Workout. In book: XXVII Brazilian Congress on Biomedical Engineering, January 2022. Chapter. DOI: 10.1007/978-3-030-70601-2_233.
37. Wang J., Grant L. Using Infrared Thermal Imaging to Study the Response of Athletes to Overload Training // J Med Imaging Health Inform. August 2020;10(8):1967–1973. DOI: 10.1166/jmihi.2020.3097.
38. Vieira S.G., Sillero Quintana M., Gomes da Silva A. et al. Thermographic response resulting from strength training: A preliminary study // Apunts Sports Medicine. Oct. 2020;55(208):120–127. DOI: 10.1016/j.apunsm.2020.08.003.
39. Aylwin P.E., Racinais S., Adami P-E. et al. Evaluating the Application of Infra-Red Thermography to the Measurement of Skin Temperature During Road-Race Competition // Thermol Int. 31/3(2021):123–125.
40. Amaro A.M., Paulino M.F., Neto M.A., Roseiro L. Hand-arm vibration assessment and changes in the thermal map of the skin in tennis athletes during the service // Int J Environ Res Public Health. 2019;16(24), art. no. 5117. doi:10.3390/ijerph16245117.
41. Szurko A., Kasprzyk-Kuciewicz T., Cholewicka A. et al. Thermovision as a Tool for Athletes to Verify the Symmetry of Work of Individual Muscle Segments // Int J Environ Res Public Health. 2022;19:8490. https://doi.org/10.3390/ijerph19148490.
42. Della Corte J., Pereira W.L.M., Corrêa E.E.L. S. et al. Influence of power and maximal strength training on thermal reaction and vertical jump performance in Brazilian basketball players: a preliminary study // Biomed Hum Kinet. 2020;12:91–100. DOI: 10.2478/bhk-2020-0012.
43. de Aquino Resende M., Aida F.J., Resende R.B.V. et al. Are Strength Indicators and Skin Temperature Affected by the Type of Warm-Up in Paralympic Powerlifting Athletes? // Healthcare. 2021;9:923. https://doi.org/10.3390/healthcare9080923.
44. de Carvalho G., Girasol C.E., Gonçalves L.G.C. et al. Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker, performance data, and clinical recovery scales // PLoS ONE. 2021;16(3):e0248653. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248653.
45. Hillen B., Pfirrmann D., Nägele M., Simon P. Infrared thermography in exercise physiology: the dawn of exercise radiomics // Sports Med. 2019;50:1–20. DOI: 10.1007/s40279-019-01210-w.
46. Fernández-Cuevas I., Torres G., Sillero Quintana M., Navandar A. Thermographic assessment of skin response to strength training in young participants // J Therm Anal Calorim. 2023;148:3407–3415. DOI: 10.1007/s10973-023-11978-9.
47. de Andrade Fernandes A., Pimenta E.M., Moreira D.G. et al. Application of Infrared Thermography in the Assessment of Muscle Damage in Elite Soccer Athletes // MOJ Orthopedics & Rheumatology 2017;8(5):00328. DOI: 10.15406/major.2017.08.00328.
48. Weigert M., Nitzsche N., Kunert F. et al. Acute exercise-associated skin surface temperature changes after resistance training with different exercise intensities // Int J Kinesiol Sports Sci. 2018;6(1):12–18. DOI: https://doi.org/10.7575/iaic.ijkss.v.6n.1p.12.
49. ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults // Med Sci Sports Exerc. 2009;41(3):687–708. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670.
50. Fernández-Cuevas I., Gómez Carmona P.M., Sillero Quintana M. et al. Economic costs estimation of soccer injuries in first and second Spanish division professional teams // 15th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS, Antalya, Turkey. 2010.
51. Matteoli S., Fulceri S., Pasquini G., Corvi A. Thermography as a tool for evaluation and prevention of injuries in athlete // Gait & Posture. 2018. 66, S26. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.07.140.
52. Noya J., Sillero M. [Injury incidence in Spanish professional football over a season: days off due to injury] // Apunts. Medicina de l'Esport. 2012;47(176):115–123. DOI: 10.1016/j.apunts.2011.10.001 [in Spanish].
53. Marins J.C.B., Fernandez-Cuevas I., Arnaiz-Lastres J. et al. [Applications of Infrared Thermography in Sports. A Review] // Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el deporte. 2015;15(60):805–824. [in Spanish].
54. Воловик М.Г., Долгов И.М., Хрипковский Д.Н. Функциональные пробы в медицинском тепловидении. М: Дигносис, 2023. 128 с. DOI:10.12737/monography_646341497049a9.30616752.
55. Volovik M.G., Dolgov I.M., Khripkovsky D.N. Functional tests in medical thermal imaging. M: Dignosis, 2023. 128 p. DOI:10.12737/monography_646341497049a9.30616752.
56. Zhao Y., de Almeida e Bueno L., Holdsworth D.A., Bergmann J.H.M. Evaluating the Agreement between Oral, Armpit, and Ear Temperature Readings during Physical Activities in an Outdoor Setting // Int J Environ Res Public Health. 2024;21:595. https://doi.org/10.3390/ijerph21050595.
57. dos Santos Bunn P., Miranda M.E.K., Rodrigues A.I. et al. Infrared thermography and musculoskeletal injuries: A systematic review with meta-analysis // Infrared Phys Technol. 2020;109:103435. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103435.
58. Marzano-Felisatti J.M., Martinez-Amaya A., Priego-Quesada J.I. Preliminary Analysis of Skin Temperature Asymmetries in Elite Young Tennis Players // Appl Sci. 2023;13:628. https://doi.org/10.3390/app13010628.
59. Акимов Е.Б., Андреев Р.С., Каленов Ю.Н., Сонькин В.Д. Особенности инфракрасного температурного портрета детей младшего и старшего школьного возраста // Новые исследования. 2013. № 2 (35).
60. Akimov E.B., Andreev R.S., Kalenov Yu.N., Sonkin V.D. Features of the infrared temperature portrait of children of primary and senior school age // New research. 2013. № 2 (35).
61. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергии и работоспособности в онтогенезе. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 368 с.
62. Sonkin V.D., Tambovtseva R.V. The development of muscular energy and performance in ontogenesis. M.: Book house «LIBROCOM», 2011. 368 p.
63. Reis H.H.T., Brito C.J., Silva A.G. et al. Can body mass index influence the skin temperature of adolescents? A preliminary study with the use of infrared thermography // Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum 2022;24:e89769. DOI: http://doi.org/10.1590/1980-0037.2022v24e89769.

Статья поступила / Received 01.09.2024
Получена после рецензирования / Revised 07.09.2024
Принята в печать / Accepted 27.09.2024

Информация об авторах

Воловик Михаил Григорьевич^{1, 2}, д. б. н., в. н. с.

ORCID: https://orcid.org/0000000254592545

Долгов Игорь Маратович², д. м. н., заместитель Генерального директора

ORCID: https://orcid.org/0000000255115679

¹ ФГБОУ ВО «ПНИМУ» Минздрава России, Нижний Новгород

² ООО «Дигносис», Москва, Россия

Контактная информация:

Воловик Михаил Григорьевич. E-mail: volovik@dignosis.com

Author information

M.G. Volovik^{1, 2}

ORCID: https://orcid.org/0000000254592545

I.M. Dolgov²

ORCID: https://orcid.org/0000000255115679

¹ Privolzhsky Researrch Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

² LLC «Dignosis», Moscow, Russia

Contact information

M.G. Volovik. E-mail: volovik@dignosis.com

Для цитирования: Воловик М.Г., Долгов И.М.. Тепловизионный паспорт здоровья ребенка, занимающегося спортом, как основа динамического контроля его успешности в выбранном виде спорта. Медицинский алфавит. 2024;[22]:41–46. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-22-41-46

For citation: Volovik M.G., Dolgov I.M.. Thermal Imaging Health Passport for a Child Engaged in Sports as the Basis for Dynamic Monitoring of Their Success in a Chosen Sport. Medical alphabet. 2024;[22]:41–46. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-22-41-46

