

**Rada Kolegium Naukowego**  
Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu  
al. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław  
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,  
wybranego do przeprowadzenia postępowania)

za pośrednictwem:  
**Rady Doskonałości Naukowej**  
pl. Defilad 1  
00-901 Warszawa  
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Agnieszka Dębiec-Bąk  
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Akademia Wychowania Fizycznego  
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu  
Zakład Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu  
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

## Wniosek

z dnia 29 kwietnia 2023 roku

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie<sup>1</sup> nauki o kulturze fizycznej.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego: Cykl 5 publikacji naukowych pt.: **Analiza dynamiki zmian temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem zróżnicowanych bodźców u zdrowych i chorych osób.**

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym**\*<sup>2</sup>

Zostałam poinformowana, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa). Kontakt za pośrednictwem e-mail: [kancelaria@rdn.gov.pl](mailto:kancelaria@rdn.gov.pl), tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu. Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie [www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html](http://www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html)*



PODPIS ZAUFANY  
AGNIESZKA SULTANA  
DĘBIEC-BAK  
29.04.2023 00:13:27 [GMT+2]  
Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym

*Agnieszka Dębiec-Bąk*  
(podpis wnioskodawcy)

### Załączniki:

Zał. 1. Dane wnioskodawcy; Zał. 2. Kopia dyplomu doktorskiego; Zał. 3. Autoreferat; Zał. 4. Wykaz osiągnięć naukowych; Zał. 5. Analiza bibliometryczna; Zał. 6. Kopie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego; Zał. 7. Oświadczenia współautorskie; Zał. 8. Potwierdzenia staży i udziału w badaniach

<sup>1</sup> Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

<sup>2</sup> \* Niepotrzebne skreślić.

# **AUTOREFERAT**

**opisujący osiągnięcia i dorobek naukowy**

**dr nauk o kulturze fizycznej Agnieszka Dębiec-Bąk**

**Wrocław 2023**

## Spis treści

1. Imię i nazwisko .....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe .....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) .....	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	4
4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego .....	4
4.3. Omówienie celu naukowego wskazanego cyklu prac, otrzymanych wyników i ich ewentualnego wykorzystania.....	6
4.3.1. Wprowadzenie – uzasadnienie tematu i celu naukowego wskazanego cyklu prac .....	7
4.3.2. Realizacja celów szczegółowych w publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe....	11
4.3.3. Podsumowanie – znaczenie naukowe i kliniczne wyników badań oraz wartość aplikacyjna publikacji wskazanych jako osiągnięcie naukowe .....	19
4.3.4. Piśmiennictwo .....	21
4.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych związanych z głównym kierunkiem zainteresowań badawczych .....	25
4.5. Podsumowanie osiągnięć naukowych .....	32
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej. ....	32
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.....	35
7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej .....	37
7.1. Udział w projektach badawczych .....	37
7.2. Staże naukowe i dydaktyczne .....	37
7.3. Kształcenie młodej kadry.....	40
7.4. Promotorstwo prac licencjackich, magisterskich oraz recenzowanie prac dyplomowych .....	40
7.5. Udział w konferencjach naukowych i popularyzujących naukę.....	41
7.6. Szkolenia i kursy, podnoszenie kwalifikacji naukowo-dydaktycznych.....	42
7.7. Nagrody i wyróżnienia.....	42

## **1. Imię i nazwisko**

Agnieszka Dębiec-Bąk (ORCID 0000-0001-7005-3018)

## **2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe**

- **26.06.2000r.** magister fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu,
- **05.05.2011r.** doktor nauk o kulturze fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Analiza temperatury powierzchniowej ciała i jej zmian pod wpływem kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych”. Promotor pracy: prof. dr hab. Anna Skrzek

## **3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

02/2002-10/2007 Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Fizjoterapii, Pracownia Krioterapii i Obrzęków Niezapalnych; na stanowisku starszego referenta technicznego,

11/2007-09/2011 Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Fizjoterapii, Katedra Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu; Zakład Fizjoterapii w Ortopedii i Traumatologii, na stanowisku pracownika techniczno-naukowego,

09/2011-09/2020 Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Fizjoterapii, Katedra Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, Zakład Fizjoterapii w Ortopedii i Traumatologii; na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych,

09/2020-obecnie Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu im. Polskich Olimpijczyków, Wydział Fizjoterapii, Zakład Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu; na stanowisku adiunkta w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych.

#### **4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)**

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jest monotematyczny cykl 5 publikacji naukowych, opublikowanych w międzynarodowych czasopismach w latach 2016 – 2021, w których jestem pierwszym autorem, a w jednym z nich również autorem korespondencyjnym. Dla wskazanego cyklu artykułów sumaryczny wskaźnik Impact Factor (IF) wynosi **20,735** a łączna liczba punktów, zgodnie z punktacją Ministerstwa Edukacji i Nauki (MEiN) i wcześniej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW), wynosi **395**.

##### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

**„Analiza dynamiki zmian temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem zróżnicowanych bodźców u zdrowych i chorych osób”**

##### **4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego**

1. **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. (2021). Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. EPMA Journal, 12(4),435-447, doi:10.1007/s13167-021-00262-1  
IF: **8,836**, punktacja MEiN: **100,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, analizie, interpretacji i wizualizacji wyników, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu. Mój udział szacuję na 50%.*

2. **Dębiec-Bąk A**, Kuligowski T, Skrzek A. (2020). Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*,140,243-251,doi:10.1007/s10973-019-08843-z

IF: **4,626**, punktacja MEiN: **100,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, udziale w prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, zaprojektowaniu analiz statystycznych, interpretacji i wizualizacji wyników, zgromadzeniu literatury, prowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, pisaniu korekt przed złożeniem do druku, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój udział szacuję na 70%.*

3. **Dębiec-Bąk A**, Pawik Ł, Skrzek A. (2016). Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*,126(3), 1633-1644, doi:10.1007/s10973-016-5623-3

IF: **1,953**, punktacja MEiN: **25,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, udziale w prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, zaprojektowaniu i wykonaniu analiz statystycznych, interpretacja i wizualizacja wyników, zgromadzenie literatury, przeprowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój udział szacuję na 70%.*

4. **Dębiec-Bąk A**, Wójtowicz D, Pawik Ł, Ptak A, Skrzek A. (2019). Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*,135(4),2399-2410, doi:10.1007/s10973-018-7345-1

IF: **2,731**, punktacja MEiN: **100,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, modelu badań, zaplanowaniu eksperymentu, wyborze metodyki badań, pozyskaniu osób badanych, analizie danych, interpretacji wyników badań i obliczeń statystycznych, przygotowaniu pierwotnej wersji rękopisu, przygotowaniu*

*korekt przed złożeniem do druku, zgromadzeniu literatury, prowadzeniu dyskusji, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój udział szacuję na 65%.*

5. **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Woźniewski M, Malicka I. (2019). Using thermography in the diagnostics of lymphedema: pilot study. *Lymphatic Research and Biology*, 18(3), 247-253, doi:10.1089/lrb.2019.0002

IF: **2,589**, punktacja MEiN: **70,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, interpretacji i wizualizacji wyników, zgromadzeniu literatury, współprowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, pisanie artykułu, współudziale w jego korekcie przed i po złożeniu do druku, autorstwie korespondencyjnym. Mój udział szacuję na 50%.*

Wartość wskaźnika IF oraz punkty MEiN/MNiSW podano zgodnie z wykazem sporządzonym przez Ośrodek Informacji Naukowej AWF we Wrocławiu, załącznik 5.

Oświadczenia współautorów dotyczące udziału w powstaniu wskazanych publikacji zamieszczono w załączniku nr 7.

#### **4.3. Omówienie celu naukowego wskazanego cyklu prac, otrzymanych wyników i ich ewentualnego wykorzystania**

Głównym problemem, realizowanym w cyklu wskazanych prac była identyfikacja powierzchniowej temperatury ciała w badaniu termowizyjnym osób w różnych stanach organizmu oraz analiza dynamiki zmian temperatury ciała pod wpływem działania wybranych bodźców.

Zastosowanie bezdotykowej, nieinwazyjnej metody termowizyjnej do analizy dynamiki zmian temperatury może być przydatnym narzędziem w przewidywaniu i profilaktyce niekorzystnych zmian zachodzących w organizmie. Metoda ta umożliwia monitorowanie zmian temperatury powierzchniowej ciała będących następstwem zachodzących w organizmie człowieka procesów metabolicznych, przeciążeniowych i procesów chorobowych.

Spersonalizowane podejście wykorzystujące techniki obrazowe m. in. metodę termowizyjną, dynamiczny postęp technologiczny w medycynie i fizjoterapii mogłyby pozwolić na coraz skuteczniejszy indywidualny dobór narzędzi terapeutycznych, co znacznie poprawiłoby efekty profilaktyki oraz procesu leczenia i fizjoterapii.

#### **4.3.1. Wprowadzenie – uzasadnienie tematu i celu naukowego wskazanego cyklu prac**

Fizjologia organizmu człowieka związana ze stałocieplnością oraz emisyjność tkanek w zakresie średniej podczerwieni, powoduje, że organizm ludzki staje się znakomitym obiektem w badaniach termowizyjnych. Obserwacja gradientu powierzchniowej temperatury ciała może stanowić istotną informację diagnostyczną, ale także może uzupełniać informację o przebiegu leczenia, lub treningu sportowym, ponieważ jest odzwierciedleniem procesów zachodzących wewnątrz ustroju w odpowiedzi termoregulacyjnej na stymulację endogenną i egzogenną. Homeostaza termiczna ciała warunkowana jest działaniem procesów biochemicznych oraz psychofizjologicznych organizmu człowieka. Zachowanie równowagi termicznej spełniane jest dzięki sprawnemu działaniu mechanizmów termoregulacji, które zależnie od procesów fizycznych i chemicznych wpływają na generowanie i przepływ ciepła w organizmie człowieka oraz na jego wymianę z otoczeniem (Fernández-Cuevas i wsp., 2015, Chudecka i wsp., 2015).

Organizm człowieka jest stałocieplny, czyli utrzymuje względnie stałą temperaturę, w obrębie jam ciała, czyli klatki piersiowej, jamy brzucha, mózgu, serca i krwi, które stanowią rdzeń (*core temperature*). Temperatura wewnętrzna ciała waha się do 37°C przy uwzględnieniu rytmu dobowego, natomiast powierzchni ciała do 33°C. Rejestrowane zmiany temperatury ciała w cyklu dobowym ( $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ) zależne są od działania hormonów wpływających na metabolizm, takich jak glikokortykoidy, hormony tarczycy, somatotropina, adrenalina, a także od napięcia układu wegetatywnego wykazującego zmienność dobową (Marins i wsp., 2014, Costa i wsp., 2018).

Utrzymanie stałej temperatury ciała jest podstawą prawidłowego funkcjonowania czynności życiowych człowieka. Organizm ludzki posiada optymalne zdolności przystosowawcze poprzez system termoregulacyjny, który ma za zadanie utrzymać stałą temperaturę ustroju (równowaga cieplna między ciepłem wytworzonym przez organizm a rozpraszonym do otoczenia), (Flouris i wsp., 2015).



Zróźnicowanie temperatury powierzchniowej ciała zależne jest od właściwości osobniczych, tj. temperatury narządów wewnętrznych, właściwości cieplnych tkanek, które oddzielają dany narząd od powierzchni ciała, tkanki mięśniowej, tłuszczowej, przepływu i temperatury krwi, ilości energii z procesów metabolicznych, a także wilgotności skóry. Procesy termoregulacji oparte są na sprzężeniu zwrotnym między temperaturą ciała a wytwarzaniem i eliminacją ciepła. Bilans ten oparty jest na reakcjach termogennych oraz termolitycznych. Układ termoregulacji stanowią termoreceptory, termodetektory, podwzgórze, które transferuje informacje ze struktur wrażliwych na zmiany temperatury oraz efekторы układu termoregulacji (układ krążenia i dokrewny oraz mięśnie, tkanka tłuszczowa, wątroba, nadnercza, tarczyca). Aktywowanie tych struktur powoduje zmiany, mające na celu wyrównanie temperatury do homeostazy termicznej (Chudecka i wsp., 2016, Lubkowska i wsp., 2021).

Większość ciepła generowanego przez organizm człowieka dociera do skóry na skutek konwekcji przez krew. Przepływ wewnętrzny ciepła jest różnicą między temperaturą rdzenia (core) a średnią temperaturą skóry i przewodnictwa termicznego, czyli szybkością przepływu skórnego krwi. Regulacja ciepłoty na zewnątrz odbywa się poprzez promieniowanie, konwekcję i parowanie (pocenie, jako eliminowanie ciepła) (Lubkowska i wsp. 2021, Aylwin i wsp. 2021, Straburzyńska – Lupa i wsp., 2022).

Ciało człowieka stanowi mapę termiczną, zmieniającą się pod wpływem czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Gradient izoterm prezentuje zróźnicowanie w dystalnych i proksymalnych segmentach anatomicznych.

Do identyfikacji rozkładu powierzchniowej temperatury ciała wykorzystuje się zjawisko termoemisji, czyli natężenia promieniowania podczerwonego emitowanego przez badane tkanki, które jest wprost proporcjonalne do przemian metabolicznych w nich zachodzących. Rejestracja termowizyjna wynika z pomiarów emisji fal podczerwieni emitowanych przez badane obszary ciała, co jest związane z ich ukrwieniem, zależnym od układu wegetatywnego i lokalnych mediatorów naczyniokurczących lub naczyniorozszerzających, co pozwala określić ich stan fizjologiczny. Może mieć to istotny związek z toczącymi się w badanych obszarach odczynami zapalnymi, czy procesami chorobowymi. Termowizja jest cennym uzupełnieniem stosowanych rutynowo metod diagnostyki obrazowej. Pozwala na obiektywną ocenę zjawisk biotermokinetycznych, bioenergetycznych ustroju ludzkiego. Wizualizacja rozkładu powierzchniowej temperatury ciała, termogram wskazuje na różnice w rozmieszczeniu ciepła w organizmie, co jest

związane z różną aktywnością fizjologiczną obszarów ciała bądź toczącym się procesem chorobowym. Badanie to jest nieinwazyjne i bezdotykowe, bezpieczne, umożliwia określenie rozkładu temperatury na powierzchni skóry. Metoda ta nie ma ograniczeń w odniesieniu do płci i wieku, jak również jest całkowicie nieszkodliwa dla kobiet w ciąży i płodów. Możliwe jest powtarzanie badań bez szkody dla badanych (Ludwig i wsp., 2014, Ring i wsp., 2015, Neves i wsp., 2017, Reis i wsp., 2023a).

Emisja ciepła z badanych obszarów ciała odbierana jest przez układ optyczny kamery termowizyjnej, skupia się na powierzchni matrycy detektora podczerwieni, gdzie ulega zamianie na proporcjonalny do jego natężenia sygnał elektryczny. Wartości temperatury zostają zamienione na piksele macierzy obrazu. Powstały obraz, czyli termogram, wyświetlany jest na ekranie kamery termowizyjnej lub na monitorze komputerowym. Jednocześnie staje się protokołem badania, a następnie może być poddany analizie przy użyciu odpowiedniego oprogramowania komputerowego (Bauer i wsp., 2014, Ring i wsp., 2015, Modrzejewska i wsp., 2018).

Ciało ludzkie emituje promieniowanie w zakresie od średniej podczerwieni (ok.  $2\mu\text{m}$ ), aż po mikrofałe, przy czym maksimum emitancji osiąga dla długości fali  $9,36\mu\text{m}$ . Do pomiarów medycznych można więc stosować zarówno kamery termowizyjne pracujące w zakresie średniej ( $2,5\text{--}5,6\mu\text{m}$ ), jak i dalekiej podczerwieni ( $7\text{--}13\mu\text{m}$ ), trzeba jednak przy tym pamiętać, że te pierwsze są bardziej czułe na promieniowanie słoneczne, a tym samym wymagają większej przed nim ochrony oraz lepszego dostosowania pomieszczenia badawczego (Bauer i wsp., 2014).

W diagnostyce medycznej znalazły zastosowanie tzw. detektory fotonowe (antymonek indu: InSb oraz tellurek kadmowo-rtęciowy: CdHgTe) reagujące na promieniowanie o określonej długości fali. W detektorach fotonowych padające promieniowanie jest absorbowane na skutek oddziaływania fotonów z elektronami. Sygnał detektora jest wywołany zmianą rozkładu energii nośników. Natomiast w detektorach termicznych padające promieniowanie jest absorbowane w materiale, co powoduje podniesienie temperatury elementu fotoczułego. Sygnał detektora jest wywołany pewną zmianą właściwości materiału zależnej od temperatury (Nawrat i wsp. 2018).

Technika termografii umożliwia rejestrację temperatury ciała i szybkość jej zmian z rozdzielczością  $< 0,1^\circ\text{C}$ . Warunkiem wykonania wiarygodnej wizualizacji rozkładu temperatur ciała jest uprzednie aklimatyzowanie badanego oraz wyeliminowanie obiektów emitujących dodatkowe promieniowanie cieplne. Uzyskane termogramy stanowią

czynnościowy materiał diagnostyczny umożliwiający wykrycie zmian chorobowych, w których zachodzi zmienność ukrwienia, niejednokrotnie niemożliwa do wykrycia innymi metodami w początkowych stadiach choroby zanim nastąpią zmiany funkcjonalne i strukturalne (Lubkowska i wsp., 2021, Bauer i wsp., 2014).

W ostatnich latach można zaobserwować zwiększone zainteresowanie i zastosowanie metody termowizyjnej oraz jej użyteczności w badaniach wielu specjalizacjach medycznych, szczególnie w aspekcie uzupełnienia diagnostycznego, w aspekcie monitoringu śródoperacyjnego, a także w treningu sportowym oraz leczeniu kontuzji w obszarze narządu ruchu. Możliwość zastosowania metody termowizyjnej, jako narzędzia stosowanego w monitoringu zmian zachodzących w organizmie człowieka w aspekcie map termicznych ciała, może pozwolić na zaplanowanie odpowiednio długiej aktywności fizycznej, treningu, czy długość i częstotliwość przeprowadzanej rehabilitacji oraz dobierania odpowiednich parametrów do zastosowanej metody fizykoterapii.

Głównym celem wskazanego cyklu pięciu publikacji naukowych była analiza oraz identyfikacja odpowiedzi termoregulacyjnej osób w różnych stanach organizmu pod wpływem wybranych bodźców endogennych i egzogennych.

Z uwagi na wielowymiarowy charakter powyższego problemu badawczego, w publikowanych pracach podjęto próbę realizacji następujących celów szczegółowych:

1. Identyfikacja odpowiedzi termoregulacyjnej dzieci po wysiłku fizycznym w zależności od wieku.
2. Ocena zakresu i dynamiki zmian temperatury ciała po wysiłku fizycznym w korelacji z płcią.
3. Analiza zakresu wartości temperatury powierzchniowej ciała i jej zmian pod wpływem zróżnicowanych bodźców krostymulacji u młodych, zdrowych dorosłych.
4. Analiza zmienności powierzchniowej temperatury ciała osób dorosłych z Zespołem Downa oraz u osób zdrowych z otyłością prostą, po treningu ogólnousprawniającym.
5. Ocena termowizyjna temperatury powierzchniowej kończyn górnych u kobiet leczonych z powodu raka piersi w korelacji ze stanem obrzęku.

Poznanie oraz zrozumienie mechanizmów termoregulacji w różnych stanach organizmu, które mogą skutkować objawami zaburzeń termoregulacyjnych może dostarczyć cennych informacji w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej, które znajdą swoje aplikacje praktyczne, szczególnie w zakresie: (1) monitorowania odpowiedzi termoregulacyjnej ustroju ludzkiego, (2) kontroli efektów

bodźców wpływających na dynamikę zmian temperatury ciała, (3) zwiększenia efektywności procesu rehabilitacyjnego oraz (4) możliwości programowania procesu fizjoterapii do stanu klinicznego.

#### **4.3.2. Realizacja celów szczegółowych w publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe**

Badania, których wyniki zostały przedstawione w cyklu pięciu prac badawczych były prowadzone w latach 2016-2021 w Zakładzie Fizjoterapii w Dysfunkcjach narządu Ruchu, na Wydziale Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.

Zbadano i poddano analizie 239 badanych, każdy ochotnik lub jego opiekun prawny udzielił pisemnej zgody przed udziałem w badaniach, zgodnie z Deklaracją Helsińską. Do badań termowizyjnych wykorzystane zostały modele kamer termowizyjnych ThermoVision A20M (pierwsza praca) oraz ThermoVision FLIR SYSTEM T335 (kolejne z cyklu). Uzyskane termogramy poddano analizie wykorzystując program ThermaCAM Researcher 2.9 oraz 2.10 Pro, za pomocą których na ciele badanych wydzielono pola pomiarowe w ujęciu od przodu i od tyłu (klatka piersiowa, brzuch, plecy, powierzchnia ramion, przedramion, ud, podudzi). Każdorazowo rejestrowano temperaturę maksymalną, średnią i minimalną. Do analiz wybrano średnie wartości temperatury z wyznaczonych obszarów ciała. Badania wykonane były zgodnie ze standardami Europejskiego Towarzystwa Termologicznego. W pomieszczeniu badawczym o powierzchni 3x4m<sup>2</sup> utrzymano temperaturę w przedziale 21-24°C, wilgotność 35-45%. Uwzględniono 15 minutowy czas aklimatyzacji badanych, którzy pozostawali jedynie w białym i obuwiu w pozycji stojącej, aby proces wymiany ciepła z otoczeniem ustabilizował się do rejestracji termowizyjnej. Przyjęto emisyjność skóry na poziomie 0,98, a rejestracja termowizyjna wykonana była z odległości 1,5-2 m od obiektu badanego. Realizacja badań odbywała się o stałej porze, w godzinach popołudniowych około 16:00, w celu zminimalizowania wpływu rytmu dobowego na badany parametr.

Termoregulacja poprzez mechanizmy wytwarzania oraz usuwania ciepła z organizmu warunkuje balans cieplny oraz zapewnia homeostazę termiczną ustroju. Umiejętność ta kształtuje się wraz z innymi układami w procesie ontogenezy człowieka. Osiągnięcie pełnej zdolności utrzymywania procesów termoregulacyjnych na odpowiednim poziomie, zależy od stopnia sprawności termoregulacyjnej oraz współdziałania z układem krwionośnym, czy

oddechowym. Wytwarzanie ciepła w organizmie jest zależne od licznych procesów metabolicznych pochodzących z przemiany materii komórek, aktywności mięśni. Metabolizm wywołany działaniem hormonów (m.in. tyroksyna, testosteron, adrenalina, noradrenalina) również wpływa na gradient temperatury. Zdrowy człowiek utrzymuje temperaturę tkanek głębokich niemalże na stałym poziomie. Zmiany są niewielkie i oscylują w okolicach  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Odmienna sytuacja występuje w przypadku temperatury skóry. Parametr ten zależy od temperatury otoczenia oraz od podejmowanej aktywności fizycznej. Przy wykonywaniu forsownych ćwiczeń, skóra człowieka może osiągnąć nawet  $38,3^{\circ}\text{C}$  do  $40^{\circ}\text{C}$ . Organizm poddany działaniu zimna może obniżyć temperaturę do  $35,5^{\circ}\text{C}$ . Zdolność utrzymania stałej temperatury ciała zależy od sprawności metabolicznej, termoregulacyjnej człowieka (Florius i wsp., 2015, Aylwin i wsp., 2021).

W piśmiennictwie można odnaleźć doniesienia dotyczące związków pomiędzy wydolnością fizyczną a tolerancją wzrostu temperatury ciała. Badania wskazują, że regularny wysiłek fizyczny ma pozytywny wpływ na wydolność układu krwionośnego, w konsekwencji istnieje możliwość wzrostu temperatury wewnętrznej do momentu odczuwania zmęczenia przez organizm (McLellana i wsp., 2001, Tanda, 2018). Zmęczenie organizmu następuje w wyniku kumulowania się metabolitów wysiłkowych, ale także w wyniku znacznego przyrostu temperatury wewnętrznej, która ma niekorzystny wpływ na pracę mózgu (Drust i wsp., 2005). Dla osób aktywnie i regularnie uprawiających aktywność fizyczną, istotne jest zwiększenie zdolności sprawnego usuwania ciepła z organizmu, gdyż umożliwi im to kontynuowanie wysiłku (Chudecka, Lubkowska, 2011).

U dzieci wraz z rozwojem całego organizmu zdolności termoregulacyjne zmieniają się w sposób progresywny. Dojrzewanie biologiczne poszczególnych układów, w tym także układu termoregulacji, przebiega indywidualnie. Przy uwzględnieniu fizjologii układu termoregulacji, dzieci oraz osoby starsze w sposób odmienny reagują na zmiany temperatury otoczenia. Ich procesy termoregulacyjne w mniej skuteczny sposób radzą sobie z nadmiernym wzrostem lub obniżeniem temperatury zewnętrznej. U noworodków, nie są jeszcze wykształcone procesy obrony przed zimnem, polegające na termogenezie drżeniowej oraz obkurczeniu naczyń krwionośnych. Strukturą odpowiedzialną za wytworzenie ciepła w tym przypadku jest obecność brunatnej tkanki tłuszczowej, zlokalizowanej w okolicach łopatki i wzdłuż kręgosłupa (Knobel-Dail i wsp., 2017, Székely i wsp., 2018).

Analiza powierzchniowej temperatury ciała w badaniach termowizyjnych dostarcza informacji o funkcjonowaniu „termostatu”, odpowiedzi procesów termoregulacyjnych z

efektywnym utrzymywaniem równowagi cieplnej organizmu, związanej z pozostałymi, prawidłowo funkcjonującymi układami (Reis i wsp., 2023b).

Promocja aktywności fizycznej realizowanej już od najmłodszych lat jest bardzo istotnym elementem dobrego zdrowia i jakości życia w kolejnych okresach życia człowieka. Dlatego badania analizujące zachowanie się procesów termoregulacyjnych dzieci pod wpływem wysiłku fizycznego, wydają się bardzo istotne. U dzieci, w miarę rozwoju całego organizmu, stopniowo zmieniają się zdolności termoregulacyjne. Dojrzewanie biologiczne każdego systemu następuje indywidualnie. Kontrola termiczna u dzieci nie jest jeszcze w pełni rozwinięta, co oznacza, że ich odporność na stres termiczny jest znacznie słabsza w porównaniu do dorosłych (Gomes i wsp., 2013).

Mając na uwadze to, że w okresie dziecięcym występuje wydłużony okres wysiłkowej adaptacji termicznej w porównaniu z dorosłymi (Notley i wsp., 2020), podjęłam w pracy pt.: **“Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention” (Publikacja 1)**, próbę analizy odpowiedzi termoregulacyjnej ustroju na bodziec obciążenia treningowego, u dzieci w wieku wczesnoszkolnym. Celem pracy była analiza procesów termoregulacyjnych u dzieci w wieku 7, 9 i 12 lat po treningu ogólnoustrojowym. Dokonano porównania map termicznych ciała badanych dzieci przed i po wysiłku ogólnousprawniającym oraz po restytucji powysiłkowej w zależności od wieku. Grupę badaną stanowiło 60 uczniów szkoły podstawowej, obojga płci. Badani zostali podzieleni na trzy grupy wiekowe, każda po 20 osób, w wieku 7, 9 oraz 12 lat. Kształtowanie się mapy termicznej po uzyskanym czasie aklimatyzacji do rejestracji termowizyjnej, wykazało zróżnicowanie parametru w zależności od badanego obszaru.

Pomiary wykonane przed ćwiczeniami nie wykazały istotnych różnic w zakresie średniej temperatury powierzchniowej we wszystkich analizowanych obszarach pomiędzy dziećmi w wieku 7 i 9 lat. Badani 12-latkowie wykazywali zbliżone parametry temperatury tylko w obszarze tułowia do młodszych badanych. Z kolei u dzieci 12-letnich istotnie wyższe były wartości średniej temperatury kończyn górnych i dolnych w porównaniu z grupą 7-latków oraz z grupą 9-latków w obrębie kończyn dolnych. Bezpośrednio po wysiłku fizycznym odnotowano spadek temperatury we wszystkich analizowanych obszarach ciała w trzech badanych grupach. Najniższe wartości temperatury były w grupie 12-latków. Ocena dynamiki termoregulacji po przeprowadzonej 15-minutowej przerwie od aktywności fizycznej badanych dzieci wykazała wzrost średniej temperatury wszystkich analizowanych

rejonów ciała, wzrastając do wartości, która nie różniła się znacząco od temperatury początkowej. Uzyskane wyniki ujawniły indywidualne i zależne od wieku różnice w odpowiedzi organizmu na ćwiczenia. Zmiany temperatury wahały się od 1,3 do 2,4°C, najmniejsze odnotowano u 7-latków (od 0,7 do 1,2°C). Największe zmiany temperatury wykazywał obszar tułowia w każdej grupie wiekowej. Wykorzystanie termografii jako narzędzia diagnostycznego do analizy wzorców termicznych w powierzchniowych warstwach ciała po wysiłku fizycznym może pozwolić na pośrednią ocenę mechanizmów termoregulacji i ich różnic między dziećmi w różnych grupach wiekowych. W przeprowadzonych przez mnie badaniach na obrazach termicznych można było zaobserwować pewne tendencje rozkładu temperatury, gdzie najwyższe wartości obserwowano w okolicy pasa barkowego i tułowia, a najniższe w rejonach kończyn dolnych. Wyniki te mogą ułatwić wczesne diagnozowanie anomalii lub patologii w zakresie termoregulacji młodych organizmów poddawanych wysiłkom fizycznym.

Poszukiwania związków między temperaturą a płcią, stanowiły problematykę badawczą w kolejnej pracy „**Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography**” (Publikacja 2), w której podjęłam próbę analizy odpowiedzi termoregulacyjnej organizmu na realizowaną aktywność fizyczną u dzieci w zależności od płci.

Wydolność fizyczna ulega w ontogenezie dużym zmianom i jest warunkowana przez wiele czynników, do których zaliczamy: przemiany energetyczne, sprawne funkcjonowanie układu nerwowego, mięśniowego, właściwości budowy ciała, gospodarkę wodno-elektrolitową oraz termoregulację (Pham i wsp., 2015). Wydolność dzieci jest mniejsza ze względu na ciągle trwające procesy dojrzewania, rozwój układu mięśniowego, sercowo-naczyniowego oraz nerwowego. Masa mięśniowa chłopców w trakcie dojrzewania jest większa w porównaniu z dziewczętami w wyniku produkcji androgenów. U płci żeńskiej wzrasta natomiast ilość tłuszczu podskórnego jako efekt wydzielania estrogenów. Wraz z wiekiem wzrasta stopień mielinizacji włókien nerwowych. Zwiększeniu ulega również objętość wyrzutowa serca, maksymalny poziom pojemności minutowej serca oraz wszystkie wielkości wentylacyjne płuc (Pham i wsp., 2015, Reis i wsp., 2023b).

Sprawność funkcjonowania układu termoregulacji ulega zmianom w ontogenezie. Wraz z wiekiem organizm ludzki prezentuje zróżnicowaną zdolność adaptacyjną i sprawność procesów termoregulacyjnych. W okresie dojrzewania zaczynają pojawiać się różnice dymorficzne w reakcji termoregulacyjnej ustroju. Analiza tych zmian w rejestracji

termowizyjnej może dostarczyć informacji, jak szybko ustrój powraca do homeostazy termicznej po wysiłku fizycznym, jak kształtuje się mapa termiczna ustroju w odpowiedzi organizmu na obciążenia (Luis i wsp., 2013, Reis i wsp., 2023b).

Celem pracy była ocena procesów termoregulacyjnych u dziewcząt i chłopców w wieku wczesnoszkolnym w badaniach termowizyjnych, poprzez analizę temperatury powierzchniowej w różnych rejonach ciała. Dokonano porównania map termicznych ciała badanych dzieci przed i po wysiłku ogólnousprawniającym oraz po restytucji powysiłkowej w zależności od płci. Badaniem objęto 40 uczniów w wieku 7 lat, w tym 20 chłopców oraz 20 dziewcząt.

Na podstawie analiz termowizyjnych zaobserwowano zróżnicowany rozkład powierzchniowej temperatury ciała u chłopców i dziewcząt w zależności od badanego obszaru. Najwyższą wartość odnotowano w obszarze tułowia, a najniższą w obszarze kończyn dolnych. Identyfikacja rozkładu temperatury nie wykazała istotnego zróżnicowania spoczynkowej temperatury w mapie termicznej w zależności od płci. W odpowiedzi termicznej po wysiłku ogólnousprawniającym wykazano istotne statystycznie obniżenie temperatury we wszystkich rejestrowanych obszarach w obu badanych grupach, choć w grupie dziewcząt większe. Podczas restytucji powysiłkowej u dziewcząt, obserwowano powrót wartości temperatury we wszystkich badanych obszarach, która zwiększyła się przekraczając poziom wyjściowy. Wyniki przeprowadzonych przeze mnie badań wykazały wyższą dynamikę procesów termoregulacyjnych u dziewcząt, gdzie obserwowano szybszą zmianę ciepłoty ciała, jako reakcję na wysiłek fizyczny.

Ustalenia z dwóch pierwszych prac wskazanego cyklu pochodziły z analiz przekrojowych, w których ocena zmian temperatury powierzchniowej ciała oraz identyfikacja fizjologicznej odpowiedzi termoregulacyjnej w ontogenezie była analizowana w korelacji z wiekiem dzieci oraz z uwzględnieniem płci.

Termoregulacja jest procesem dynamicznym, wymagającym ciągłej reakcji na zmienne warunki środowiska. Jest ważnym ogniwem w adaptacji organizmu do wysiłku fizycznego, poprzez utrzymywanie balansu termicznego ciała. Osoby o wysokim stopniu wytrenowania są prawdopodobnie lepiej przygotowane do radzenia sobie z mechanizmami obronnymi utrzymującymi homeostazę termiczną.

Identyfikacja odpowiedzi termicznej zdrowych wytrenowanych osób pod wpływem temperatur kriogenicznych była przedmiotem badań w trzeciej pracy pt.: „**Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography**” (Publikacja 3).



Prężnie rozwijająca się kriogenika stała się podstawą zastosowania jej w odnowie biologicznej zawodników różnych dyscyplin sportowych (Patel i wsp., 2019, Zembron-Lacny i wsp., 2020). W pracy podjęto próbę przeanalizowania odpowiedzi termicznej zdrowych mężczyzn o różnym poziomie aktywności fizycznej, poddawanych zabiegom kriostymulacji. W badaniach brało udział 60 młodych mężczyzn, w wieku od 19 do 25 lat. Jedną grupę stanowiło trzydziestu sportowców regularnie trenujących piłkę nożną, piłkarzy III klasy rozgrywkowej. Drugą grupę stanowiło trzydziestu studentów, ochotników z Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, którzy zostali zakwalifikowani do eksperymentu badawczego przez lekarza specjalistę na podstawie aktualnych badań kontrolnych. W każdej grupie badani zostali losowo zakwalifikowani do trzech podgrup, każda po 10 osób, w zależności od temperatury zabiegu w komorze kriogenicznej ( $-100^{\circ}\text{C}$ ,  $-120^{\circ}\text{C}$  i  $-140^{\circ}\text{C}$ ).

W badaniach wykazano zróżnicowanie powierzchniowej temperatury w zależności od analizowanego rejonu ciała przed ekspozycją skrajnie niskich temperatur. Najchłodniejsze były rejony kończyn dolnych, najcieplejsze okolice tułowia. Badania wykazały, że temperatura ciała bezpośrednio po zabiegach kriostymulacji obniżyła się istotnie u wszystkich badanych osób. Większe zmiany obserwowano w grupie osób wytrenowanych pod wpływem kriostymulacji przy  $-120^{\circ}\text{C}$ . Analiza rozkładu temperatury po 30 minutach od zabiegu kriostymulacji, wykazała w odpowiedzi termoregulacji, powrót do stanu wyjściowego u wszystkich badanych. Jednocześnie zaobserwowano większą dynamikę zmian w grupie badanych regularnie trenujących, co może świadczyć i potwierdzać, iż czynnik wytrenowania organizmu determinuje bardziej dynamicznie reakcje termoregulacji na stosowane bodźce termiczne.

Przedstawione w tej pracy wyniki wskazały, korelację wytrenowania organizmu z reakcją termoregulacyjną u zdrowych osób. Identyfikacja tych zmian, analiza odpowiedzi termoregulacyjnej, stanowiła podstawę do ukierunkowania dalszych badań nad oceną procesów termoregulacji u osób, z upośledzoną wydolnością i funkcjonowaniem układu nerwowego i termoregulacyjnego w pracy „**Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise**” (Publikacja 4).

W rozwoju motorycznym człowieka pojawienie się hipotonii mięśniowej ma szczególne znaczenie w kształtowaniu się postawy ciała i zaburzeń funkcji motorycznych, które obserwuje się u osób z Zespołem Downa. Różnorodność fenotypowa może zależeć od wielu czynników. U osób z trisomią 21 chromosomu, można zaobserwować upośledzoną wydolność fizyczną, która jest wynikiem zmian w pracy i budowie układów wewnętrznych,

narządu ruchu oraz centralnego układu nerwowego, a w nim struktur odpowiadających również za procesy termoregulacyjne (Galli i wsp., 2008, Rigoldi i wsp., 2011, Siebra i wsp., 2018). W postępowaniu fizjoterapeutycznym osób z Zespołem Downa dąży się do minimalizowania lub eliminowania problemów generujących ich brak samodzielności.

W prezentowanych badaniach celem było poznanie zależności między wysiłkiem fizycznym, w formie treningu ogólnousprawniającego a dynamiką termoregulacji osób z Zespołem Downa w odniesieniu do osób zdrowych z otyłością prostą. Przebadano 36 osób obojga płci, których zakwalifikowano do dwóch grup badanych. Grupę badaną stanowiło 18 osób z Zespołem Downa o średniej wieku 27 ( $\pm 1,58$ ) i średnim BMI 30,49 ( $\pm 1,73$ ). Grupę kontrolną stanowiło 18 osób zdrowych o średniej wieku 30 lat ( $\pm 1,41$ ), ze średnim BMI wynoszącym 30,21 ( $\pm 0,92$ ). Badani z obu grup wykazywali wskaźnik otyłości prostej i nie różnili się istotnie pod względem poziomu BMI, co pozwoliło wyeliminować wpływ składu ciała na zróżnicowanie temperatury skóry.

W badaniach zakładałam, iż uzyskane wyniki mogą być przydatne w optymalnym planowaniu postępowania terapeutycznego w pracy z osobami posiadającymi trisomię 21 chromosomu, uwzględniając adaptację organizmu do aktywności fizycznej.

W prezentowanych badaniach rozkład temperatury potwierdzał wcześniejsze wyniki, wykazując w obu grupach najcieplejszy rejon tułowia. Porównując obie grupy, okazało się, że niższe wartości temperatury, we wszystkich analizowanych rejonach ciała, odnotowano u osób z Zespołem Downa. Analizując różnice w rozkładzie temperatury ciała u osób z Zespołem Downa przy uwzględnieniu zmiennej płci, uzyskano wyraźną różnicę między kobietami i mężczyznami. Kobiety z Zespołem Downa charakteryzowały się niższą temperaturą w badanych obszarach ciała.

Wyniki badań po jednorazowych ćwiczeniach wykazały istotne obniżenie temperatury wszystkich badanych rejonów ciała w obu grupach. Najwyższy spadek temperatury powierzchniowej zanotowano w rejonie tułowia u kobiet i mężczyzn z Zespołem Downa. Wyniki badań dotyczących zmian temperatury po 15 minutowej przerwie po wysiłku wykazały w grupie osób zdrowych, że temperatura powracała do wartości stanu wyjściowego we wszystkich obszarach, nawet ją przekraczając. Natomiast analiza wyników dotycząca powysiłkowej restytucji w grupie badanych z Zespołem Downa wykazała, że temperatura nie powracała do stanu wyjściowego.

Precyzyjny pomiar temperatury ciała pozwala na identyfikację sygnałów zakłócenia procesów termoregulacyjnych (np.: przegrzanie). Stany zapalne zmieniają obraz przepływu

strumienia ciepła, którego efektem jest duża różnica temperatury pomiędzy obszarem zmienionym chorobowo a bezpośrednim jego otoczeniem (Kapek i wsp., 2022, Stringasci i wsp., 2020). Ryzyko wystąpienia zmian funkcjonalnych i strukturalnych w kończynach górnych kobiet leczonych z powodu raka piersi oraz możliwości rozpoznania zmian chorobowych w odniesieniu temperatury ciała do wielkości obrzęku, stanowiły problematykę publikacji **„Using thermography in the diagnostics of lymphedema: pilot study” (Publikacja 5).**

Wtórny obrzęk chłonny stanowi poważne powikłanie u pacjentów leczonych z powodu chorób nowotworowych. Szacuje się, że występuje on u około 50% pacjentów poddanych limfadenektomii (Tsai i wsp., 2009). Uznany jest za chorobę spowodowaną uszkodzeniem układu chłonnego i charakteryzuje się złożonym łańcuchem patofizjologicznym. W początkowym okresie, w związku z zastojem chłonki dochodzi do nagromadzenia płynu tkankowego, co stopniowo prowadzi do przewlekłego stanu zapalnego w obrębie naczyń chłonnych i ich upośledzenia. W konsekwencji tych procesów dochodzi do gromadzenia się tkanki tłuszczowej i zwłóknienia tkanek (Cucchi i wsp., 2017, Hesse i wsp., 2017).

W badaniach założyłam, że temperatura powierzchniowa obszaru kończyn górnych, ma związek ze stanem obrzęku chłonnego. Zatem ocena emisyjności podczerwieni badanego rejonu ciała z wykorzystaniem metody termowizyjnej pozwoli na identyfikację równowagi termicznej w procesie chorobowym.

Badaniami objęto 43 kobiety po limfadenektomii pachowej z powodu raka piersi w średnim wieku 64 lat. U 83,7% wykonano mastektomię, u 16,3% zabieg oszczędzający. Dodatkowo 51,2% badanych poddano radioterapii, 55,8% chemioterapii oraz 48,8% hormonoterapii. Średni czas po leczeniu wyniósł 8 lat ( $\pm 6$ ). Badane kobiety podzielono na dwie grupy, kryterium podziału stanowiło występowanie obrzęku chłonnego. Grupę badaną zweryfikowano dodatkowo od względem wielkości obrzęku chłonnego. U 8 kobiet stwierdzono obrzęk nieznaczny (wielkość obrzęku w granicach 10-20%), u 8 - umiarkowany (wielkość obrzęku w granicach 20-40%) oraz u 4 kobiet obrzęk znaczny - wielkość obrzęku powyżej 40 %.

Analiza temperatury kończyny po stronie operowanej w stosunku do kończyny przeciwnej w grupie kontrolnej (badanych bez obrzęku wtórnego) wykazała tendencję wyższej temperatury po stronie nieoperowanej w stosunku do operowanej. Natomiast w grupie badanej (kobiet z obrzękiem), szczególnie w przypadku obrzęku nieznacznego oraz

umiarkowanego, zaobserwowano odwrotną zależność - trend wyższej temperatury powierzchniowej po stronie operowanej/obrzękniętej w stosunku do przeciwnej. We wczesnym stadium rozwoju obrzęku chłonnego mamy do czynienia z procesem zapalnym, co uzasadnia wzrost temperatury w termogramach. Oceniając różnicę średniej powierzchniowej temperatury w badaniach kończyn górnych w odniesieniu do obu grup grupy zaobserwowano istotną różnicę statystyczną. Dalsza analiza wyników wykazała spadek powierzchniowej temperatury ciała w znacznym stopniu zaawansowania wtórnego obrzęku chłonnego. W zaawansowanym stopniu rozwoju obrzęku chłonnego oprócz samej znaczącej wielkości obrzęku kończyny, dochodzi do włóknienia skóry i tkanki podskórnej. Zwłóknienie jest klinicznie poważnym procesem patologicznym wtórnego obrzęku chłonnego. Zmniejszony przepływ krwi, degeneracja tkanek miękkich spowodowana długotrwałym uszkodzeniem, bliznowce wykazują w rejestracji termowizyjnej obniżenie powierzchniowej temperatury (Sun i wsp., 2017).

Oprócz kryteriów diagnostycznych związanych z metodą termowizyjną, analiza funkcjonowania ośrodków termoregulacji u pacjentów narażonych na większe ryzyko rozwoju obrzęku chłonnego może pozwolić na utworzenie mapy izoterm w prewencji rozwoju obrzęku. Jest to szczególnie istotne w okresie utajonego stadium rozwoju obrzęku, w którym nie ma jeszcze objawów klinicznych, mimo zachodzących już zmian w obrębie naczyń chłonnych. Obecność zwłóknień czy bliznowców determinuje wcześniejszy i szybszy stopień nasilenia tych zmian. W badaniach dostrzeżono lukę związaną z brakiem standardów w identyfikacji dynamiki zmian zachodzących w obszarach z obrzękiem chłonnym.

#### **4.3.3. Podsumowanie – znaczenie naukowe i kliniczne wyników badań oraz wartość aplikacyjna publikacji wskazanych jako osiągnięcie naukowe**

Celem prowadzonych badań naukowych było powiązanie odpowiedzi układu termoregulacji z dynamiką zmian powierzchniowej temperatury ciała pod wpływem zróżnicowanych bodźców, które mogą mieć wpływ na sprawność termoregulacyjną ustroju u osób zdrowych oraz z zakłóconym stanem klinicznym.

Wyniki prac uwidocznily zróżnicowaną odpowiedź termoregulacyjną w poszczególnych grupach wiekowych, wykazały istnienie korelacji usuwania ciepła w odpowiedzi na wysiłek fizyczny oraz wytwarzania ciepła w okresie restytucji po wysiłku z dymorfizmem płciowym, co stanowi wkład praktyczny i poznawczy w rozwój wiedzy z

zakresu analizy mechanizmów termoregulacji. Identyfikacja homeostazy termicznej w różnym okresie ontogenezy przy zastosowanym monitoringu termowizyjnym może dostarczyć ważnych informacji w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej o efektach dobieranych bodźców treningowych lub w terapii u badanych oraz tolerancji wysiłkowej. Sprawność układu termoregulacji jest istotną składową adaptacji, która umożliwia kontynuowanie aktywności fizycznej. Uzyskane wyniki badań pozwalają zakładać, że zastosowanie metody termowizyjnej do oceny zmian emisyjności podczerwieni może być narzędziem dostarczającym szybkiej, bezpiecznej informacji o mapie termicznej ciała i dynamice jej zmian pod wpływem aktywności fizycznej.

Zmiany temperatury ciała mogą być wskaźnikiem dostarczającym informacji o sprawności systemów adaptacyjnych do pobudzania termogenezy. Analizy badań w grupie osób regularnie trenujących, wykazały większą dynamikę zmian reakcji termoregulacyjnej na ekspozycję skrajnie niskich temperatur, co może świadczyć i potwierdzać, iż czynnik wytrenowania organizmu determinuje bardziej dynamicznie reakcje metaboliczne i powrót do homeostazy cieplnej w odpowiedzi na bodziec termiczny. Jednocześnie może to dostarczyć cennych informacji o kontroli efektów dobranych metod w procesie fizjoterapii, czy odnowie biologicznej wpływających na dynamikę zmian temperatury ciała.

Wyniki dwóch ostatnich prac wskazały na duży potencjał prognostyczny analizy procesów termoregulacji przez zastosowanie metody termowizyjnej w ocenie ryzyka wystąpienia zmian chorobowych, czy przeciążeniowych, w których zachodzi zmienność ukrwienia, niejednokrotnie niemożliwa do wykrycia innymi metodami w początkowych stadiach zaburzeń klinicznych. Może mieć to istotne znaczenie aplikacyjne w podstawowej opiece, praktyce klinicznej i badaniach przesiewowych, a także w planowaniu postępowania fizjoterapeutycznego.

Cykl wskazanych publikacji może być sygnałem do ukierunkowania badań nad opracowaniem norm pomiarowych w zakresie parametrów temperatury ciała, wskazujących wartości umożliwiające rozpoznanie zagrożeń związanych z obniżeniem sprawności termoregulacyjnej u osób zdrowych w różnych okresach ontogenezy oraz osób z zakłóconym stanem klinicznym.

Pomimo braku wartości referencyjnych, na tym etapie ustaleń, opartych na przebadanych grupach osób, istnieją przesłanki do wykorzystania szybkiej i nieinwazyjnej metody termowizyjnej w profilaktycznym monitorowaniu zmian temperatury, wspomagając tym samym realizację strategii profilaktyki i personalizacji, co stwarza możliwości

obiektywnej oceny skuteczności stosowanych zabiegów, bodźców, czy obciążeń treningowych. Dostępne publikacje naukowe prezentowały użycie metody termowizyjnej w szerokim spektrum medycznym, a podjęty cykl badawczy i jego rozszerzenie może pozwolić na uzyskanie cennych informacji w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej, które znajdą swoje aplikacje praktyczne, jako obiektywna analiza zjawisk biokinematycznych i bioenergetycznych organizmu ludzkiego w rehabilitacji, fizjoterapii oraz sporcie.

#### 4.3.4. Piśmiennictwo

1. Aylwin PE, Racinais S, Bermon S, Lloyd A, Hodder S, Havenith G. The use of infrared thermography for the dynamic measurement of skin temperature of moving athletes during competition; methodological issues. *Physiol. Meas.*, 2021, 42(8), 084004, 1-20, doi:10.1088/1361-6579/ac1872
2. Bauer J, Dereń E. Standardization of thermographic tests in vacuum and physical therapy. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Biomedical Engineering* 2014, 20(1): 11-20
3. Chudecka M, Lubkowska A. Thermal maps of young women and men. *Infrared Physics & Technol.*, 2015, 69, 81-87, doi:10.1016/j.infrared.2015.01.012
4. Chudecka M, Lubkowska A. Thermal Imaging of Body Surface Temperature Distribution in Women with Anorexia Nervosa. *European Eating Disorders Review*, 2016, 24(1), 57-61, doi:10.1002/erv.2388
5. Costa CMA, Moreira DG, Sillero-Quintana M, Brito CJ, Pussieldi GA, Fernandes AA, Cano SP, Marins JCB. Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging. *J Therm Biol.* 2018;72:1-9, doi:10.1016/j.jtherbio.2017.12.002
6. Cucchi F, Rossmeislova L, Simonsen L, Jensen MR, Bülow J. A vicious circle in chronic lymphoedema pathophysiology? An adipocentric view. *Obes Rev.*, 2017, 18(10), 1159-1169, doi:10.1111/obr.12565
7. Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, Nybo L Elevations in core muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol.*, 2005, 183(2), 181-190, doi:10.1111/j.1365-201X.2004.01390.x
8. Fernández-Cuevas I, Bouzas Marins JC, Lastras JA, Gómez –Carmona PM, García-Concepción MA, Sillero-Quintana M. Classification of factors influencing the use of

- infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technol.*, 2015, 71(2), 28-55 doi:10.1016/j.infrared.2015.02.007
9. Flouris AD, Schlader ZJ. Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports.*, 2015, 25(1), 52-64, doi:10.1111/sms.12349
  10. Galli M, Rigoldi C, Mainardi L, Tenore N, Onorati P. Postural control in patients with Down Syndrome. *Disabil. Rehabil.*, 2008, 30(17), 1274–1278, doi: 10.1080/09638280701610353
  11. Gomes LH , Carneiro-Júnior MA, Marins JCB. Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *Rev Paul Pediatr.*, 2013, 31(1),104-10, doi: 10.1590/s0103-05822013000100017
  12. Hespe GE, Nores GG, Huang JJ, Mehrara BJ. Pathophysiology of lymphedema-Is there a chance for medication treatment? *J Surg Oncol.*, 2017, 115(1), 96-98, doi: 10.1002/jso.24414
  13. Kapek Ł, Cholewka A, Szurko A, Stanek A, Szlag M, Ślosarek K, Wojcieszek P, Cholewka A. Physical parameters in thermal imaging of basal cell cancer patients treated with high-dose-rate brachytherapy - first study. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 2022, 27(6), 1019-1025, doi:10.5603/RPOR.a2022.0114
  14. Knobel-Dail RB, Holditch-Davis D, Sloane R, Guenther BD, Katz LM. Body temperature in premature infants during the first week of life: Exploration using infrared thermal imaging. *J. Therm. Biol.*, 2017, 69,118-123, doi:10.1016/j.jtherbio.2017.06.005
  15. Lubkowska A, Chudecka M. Thermal Characteristics of Breast Surface Temperature in Healthy Women. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18(3), 1097; doi:10.3390/ijerph18031097
  16. Ludwig N, Formenti D, Gargano M, Alberti G. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. *Infrared Phys Technol.* 2014;62:1-6, doi:10.1016/j.infrared.2013.09.011
  17. Luis S. Gomes LH, Carneiro-Júnior MA, Marins JCB. Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *RevPaulPediatr.* 2013,31(1),104-10, doi: 10.1590/s0103-05822013000100017
  18. Marins JCB, Moreira DG, Cano SP, Sillero-Quintana M, Soares DD, Fernandes AA, et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Phys Technol.* 2014, 65(2), 30-35, doi:10.1016/j.infrared.2014.02.008

19. McLellan TM. The importance of aerobic fitness in determining tolerance to uncompensable heat stress. *Comparative Biochemistry and Physiol.*, 2001, 128(4), 691-700, doi:10.1016/s1095-6433(01)00275-6
20. Modrzejewska A, Parafiniuk M. The application of thermography in medicine - literature review. *Pomeranian J Life Sci* 2018;64(3):29-32
21. Nawrat A, Bereska D, Jędrasiak K. (eds.): *Advanced Technologies in Practical Applications for National Security, Studies in Systems, Decision and Control*, 2018, Springer, ISBN 978-3-319-64673-2
22. Neves EB, Chierighini –Salamunes AC, Melo de Oliveira R, Wan Stadnik AM. Effect of body fat and gender on body temperature distribution. *Journal of Thermal Biology*, 2017, 70 (Pt B), 1-8, doi:10.1016/j.jtherbio.2017.10.017
23. Notley SR, Akerman AP, Meade RD, McGarr GW, Kenny GP. Exercise Thermoregulation in Prepubertal Children: A Brief Methodological Review. *Med Sci Sports Exerc.*, 2020, 52(11), 2412-2422, doi:10.1249/MSS.0000000000002391
24. Patel K, Bakshi N, Freehill MT, Awan TM. Whole-Body Cryotherapy in Sports Medicine. *Curr Sports Med Rep.*, 2019, 18(4), 136-140, doi: 10.1249/JSR.0000000000000584
25. Pham DD, Leem CH. Body temperature regulation: Sasang typology-based perspective. *Integr Med Res.*, 2015, 4(4), 189–194, doi:10.1016/j.imr.2015.08.001
26. Reis HHT, Brito CJ, Sillero-Quintana M, Silva AGD, Fernández-Cuevas I, Cerqueira MS, Werneck FZ, Marins JCB. Can Adipose Tissue Influence the Evaluation of Thermographic Images in Adolescents? *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023(a), 20(5), 4405, doi:10.3390/ijerph20054405
27. Reis HHT, Brito CJ, Sillero-Quintana M, Silva AGD, Fernández-Cuevas I, Cerqueira MS, Werneck FZ, Marins JCB. Can the body mass index influence the skin temperature of adolescents assessed by infrared thermography? *Journal of Thermal Biology*, 2023(b), 111, 103424, doi:10.1016/j.jtherbio.2022.103424
28. Rigoldi Ch, Galli M, Crivellini M, Albertini G. Postural control in children, teenagers and adults with Down Syndrome. *Research in Develop Disabil*, 2011, 32(1), 170-175, doi:10.1016/j.ridd.2010.09.007
29. Ring E, Ammer K. 2015 The technique of infrared imaging in medicine *Physiol. Meas.*, 2015, 33, 1-10, doi:10.1088/978-0-7503-1143-4ch1



30. Siebra CA, Siebra HA. Using computational support in motor ability analysis of individuals with Down syndrome: Literature review. *Comput Methods Programs Biomed.*, 2018, 157, 145-152, doi:10.1016/j.cmpb.2018.01.029
31. Straburzyńska – Lupa A, Korman P, Śliwicka E, Kryściak J, Ogurkowska MB. The use of thermal imaging for monitoring the training progress of professional male sweep rowers. *Scientific Reports*, 2022, 12, 16507, 1-15, doi:10.1038/s41598-022-20848-7
32. Stringasci MD, Salvio AG, Moriyama LT, et al. Energy analysis of PDT using thermography during the treatment of basal cell carcinoma. *Photodiagnosis Photodyn Ther.*, 2020, 29, 101586, doi:10.1016/j.pdpdt.2019.101586
33. Sun D, Yu Z, Chen J, Wang L, Han L, Liu N. The Value of Using a SkinFibroMeter for Diagnosis and Assessment of Secondary Lymphedema and Associated Fibrosis of Lower Limb Skin Lymphatic Research and Biol., 2017, 15(1), 70-76, doi:10.1089/lrb.2016.0029
34. Székely M, Garai J. Thermoregulation and age. *Handb Clin Neurol.*, 2018, 156, 377–395, doi:10.1016/B978-0-444-63912-7.00023-0
35. Tanda G. Total body skin temperature of runners during treadmill exercise. *J. Therm. Anal. A Calorim.*, 2018, 131, 1967-1977, doi:10.1007/s10973-017-6634-4
36. Tsai RJ, Dennis LK, Lynch CF, Snetselaar LG, Zamba GKD, Scott-Conner C. The risk of developing arm lymphedema among breast cancer survivors: A meta-analysis of treatment factors. *Ann Surg Oncol* 2009,16(7), 1959–1972, doi:10.1245/s10434-009-0452-2
37. Zembron-Lacny A, Morawin B, Wawrzyniak-Gramacka E, Gramacki J, Jarmuzek P, Kotlega D, Ziemann E. Multiple Cryotherapy Attenuates Oxi-Inflammatory Response Following Skeletal Muscle Injury. *Int J Environ Res Public Health*, 2020,27, 17(21),7855-7871,doi:10.3390/ijerph17217855

#### 4.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych związanych z głównym kierunkiem zainteresowań badawczych

Zainteresowania związane z zastosowaniem metody termowizyjnej były zapoczątkowane badaniami oceny odpowiedzi termoregulacyjnej ustroju ludzkiego, które prowadziłam w ramach pracy doktorskiej w Katedrze Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu, w projekcie badawczym „Analiza temperatury powierzchniowej ciała i jej zmian pod wpływem kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych”.

Wyniki moich badań wykazały wnioski kliniczne, iż zmiany temperatury ciała pod wpływem zabiegów kriogenicznych, dają duże zróżnicowanie reakcji organizmu w odmiennych rejonach ciała na ekspozycję skrajnie niskimi temperaturami. Badania wykazały największe ochłodzenie w obrębie kończyn dolnych, a także najwolniejsze ocieplenie tych obszarów po restytucji od zabiegu. Kriostymulacja o najsilniejszych bodźcach, czyli trzyminutowe zabiegi w temperaturze  $-120^{\circ}\text{C}$  i  $-140^{\circ}\text{C}$ , powodowały podobne reakcje termoregulacyjne organizmu w dynamice zmian powierzchniowej temperatury. Pozwoliło to określić, że trzyminutowy zabieg w temperaturze  $-120^{\circ}\text{C}$ , jest najbardziej optymalny w kriostymulacji ogólnoustrojowej, potwierdzając tym samym bezpieczeństwo przeprowadzonych zabiegów. Efekty badań zostały przedstawione w pracy:

*Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H. Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy*  
*Czasopismo: Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2013, 111(3),1853-1859*

Chęć poszerzenia obszaru badań w aspekcie monitoringu reakcji termoregulacyjnych, stała się istotnym obszarem moich zainteresowań w zakresie wykorzystania metody termowizyjnej do analizy map termicznych ciała. W przeprowadzonych badaniach, podjęłam próbę identyfikacji rozkładu temperatury ciała z uwzględnieniem dymorfizmu płciowego w warunkach spoczynkowych. Rejestracja termowizyjna rozkładu temperatury w 29 obszarach ciała i przeprowadzone analizy wykazały duże zróżnicowanie średniej wartości temperatury powierzchniowej w zależności od badanego obszaru ciała. W większości analizowanych rejonów stwierdzono niższe temperatury w grupie badanych kobiet niż mężczyzn. Może być to wskazaniem do uwzględnienia różnic międzypłciowych przy aplikacji różnych form terapii, czy przy wysiłku fizycznym a odpowiedzią termoregulacyjną (*Dębiec-Bąk A, Skrzek*

*A. Porównanie rozkładu temperatury powierzchniowej ciała kobiet i mężczyzn za pomocą termowizji. Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna, 2012 : vol.18, nr 1, s.25-30).*

Uzyskane wyniki przyczyniły się do dalszych poszukiwań oceny mechanizmów termoregulacyjnej pod wpływem wybranych metod fizjoterapeutycznych.

Celem badań była analiza zmian temperatury powierzchni ciała po zabiegu kriostymulacji u kobiet w dwóch różnych grupach wiekowych. Wszystkie badane zostały poddane działaniu ekstremalnie niskiej temperatury w komorze kriogenicznej w temperaturze  $-120^{\circ}\text{C}$  przez 3 min. W analizach rejestracji termowizyjnej dotyczących rozkładu temperatury ciała przed zabiegiem kriostymulacji wykazano różnice w temperaturze powierzchni ciała między obiema grupami wiekowymi. Temperatury wahały się od  $29,55^{\circ}\text{C}$  do  $33,49^{\circ}\text{C}$  w młodszej grupie oraz  $30,45^{\circ}\text{C}$  i  $32,70^{\circ}\text{C}$  w starszej grupie dla tych samych obszarów ciała. Po kriostymulacji zaobserwowano większe wychłodzenie ciała w młodszej grupie, zwłaszcza kończyn dolnych. Wyniki badań wykazały zróżnicowany rozkład temperatury powierzchni ciała w obu grupach wiekowych. Obserwowano różnice w kształtowaniu się temperatury ciała w odpowiedzi termoregulacyjnej, wykazały niższe temperatury tułowia i barków u starszych kobiet w porównaniu z młodszymi (*Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Sobiech K.A, Skrzek A. Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation. Human Movement, 2013 : vol. 14, nr 4, s. 299-304*). Wyniki badań mogą być wykorzystane do oceny gospodarki cieplnej przy stosowaniu ekspozycji skrajnie niskich temperatur i czasu trwania zabiegów.

Termiczna prezentacja następstw aplikacji skrajnego zimna skierowała kolejne badania na ocenę emisyjności podczerwieni pod wpływem bodźca kinesiologii taping.

Zastosowanie tej formy oddziaływania w terapii, wykazało w analizie emisyjności podczerwieni we wszystkich badaniach termowizyjnych, korelacje pomiędzy temperaturą ciała po obu stronach mięśnia prostego brzucha. Wykazano symetryczny, równomierny poziom ciepłoty ciała utrzymujący się zarówno przed, w czasie, jak i po pięciu dniach od aplikacji plastra (*Ptak A, Konieczny G, Dębiec-Bąk A, Kuciel N. Wpływ kinesiologii taping na zmianę rozkładu temperatury okolicy mięśnia prostego brzucha : doniesienie wstępne. Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna, 2011 : vol.17, nr 3, s.191-193*). Pozwoliło to ocenić symetrię reakcji mikrokrążenia w obrazie emisyjności

podczerwieni, która w podstawie założenia w obrazowaniu termowizyjnym polega na wykazaniu różnic temperatury w asymetrii przy zwiększonym ryzyku wystąpienia zaburzeń.

Możliwości wykorzystania metody termowizyjnej do monitorowania zmian temperatury oceniono przy zastosowanej terapii ultradźwiękowej w odniesieniu do zastosowanego czynnika sprzęgającego. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że rodzaj zastosowanego środka sprzęgającego wpływał na poziom temperatury w obszarze poddanym zabiegowi (Ratajczak B, Boerner E, Demidaś A, Tomczyk K, **Dębiec-Bąk A**, Hawrylak A. *Comparison of skin surface temperatures after ultrasounds with use of paraffin oil and ultrasounds with use of gel. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2012 : vol. 109, nr 1, s. 387-393*). Uzyskane wyniki badań wskazały na reakcję termoregulacyjną, która może być uwzględniana w doborze bodźców w fizykoterapii.

Zainteresowania związane z wpływem wybranych terapii na narząd ruchu zapoczątkowały badania, których celem była ocena zmian parametrów prędkościowo-siłowych mięśnia czworogłowego uda oraz ocena zmian temperatury powierzchniowej kończyn dolnych w badaniach termowizyjnych, w wyniku zastosowania elementów masażu głębokiego. Analizy badań termowizyjnych wykazały, iż zastosowanie masażu wpływa na istotny wzrost temperatury powierzchniowej kończyn dolnych oraz wzrost parametrów prędkościowo – siłowych przy prędkości 180 %s w badaniach izokinetycznych (Żuk M, **Dębiec-Bąk A**, Pawik Ł, Skrzek A. *Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych. Journal of Education, Health and Sport, 2016 : vol. 6, nr 7, s. 236-251*).

We współprowadzonych badaniach naukowych, skoncentrowałam się również na zastosowaniu metody termowizyjnej do identyfikacji mapy temperatury powierzchniowej ciała dzieci w wieku 3-10 miesięcy z niewielkimi nieprawidłowościami wzorca motorycznego oraz analizę odpowiedzi termicznej na stymulację mięśni w terapii metodą Wojty (Ptak A, **Dębiec-Bąk A**, Stefańska M. *Thermographic of the microcirculation in healthy children aged 3-10 months as an objective and noninvasive method of assessment. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022 : vol. 19, nr 23, art. 16072, s. 1-6*). Wyniki badań w badanej grupie wykazały zmiany parametrów mikrokrażenia mięśni prostowników grzbietu (istotne zwiększenie średniej temperatury tułowia), które wystąpiły bezpośrednio po terapii w badaniu początkowym, miesięcznej terapii metodą Wojty. Analiza z obiektywną oceną termowizyjną może pozwolić

fizjoterapeutom na diagnozowanie miejscowych zmian temperatury w strukturach mięśniowo-powięziowych.

Poszerzenie obszaru badań monitorowania emisyjności podczerwieni o właściwości biologiczne badanych obszarów ciała, skierowało moje zainteresowania na ocenę możliwości wykorzystania metod pomiaru termowizyjnego do identyfikowania zmian termicznych ciała w aspekcie zaburzeń metabolicznych. Celem badań była ocena rozkładu temperatury powierzchniowej i mikrokrążenia w stopach pacjentów z cukrzycą typu 2. Zespół stopy cukrzycowej jest jednym z najczęstszych powikłań cukrzycy. W badaniu wzięło udział 52 pacjentów chorujących na cukrzycę typu 2 oraz 33 pacjentów bez cukrzycy. U wszystkich uczestników mierzono powierzchną temperaturę grzbietową i podeszwową obu stóp. W obu badanych grupach temperatura grzbietowej strony stopy okazała się wyższa niż temperatura strony podeszwowej. Zaobserwowana różnica w grupie kontrolnej była wyraźna większe niż w grupie chorych na cukrzycę i wynosiły odpowiednio 1,7°C i 1°C. U pacjentów z cukrzycą typu 2 temperatura podeszwową była wyższa średnio o 2,2°C, a grzbietowa była wyższa średnio o 1,5°C w porównaniu z grupą kontrolną. Kontrola termowizyjna może być stosowana jako uzupełnienie diagnostyki stopy cukrzycowej, a codzienne samodzielne monitorowanie temperatury za pomocą termografii u pacjentów z cukrzycą może zmniejszyć ryzyko wystąpienia zmian neurotroficznych w stopie (*Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Ptak A, Majerski K, Uiberlayova I, Stefańska M. Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision method. Physiotherapy Quarterly, 2023 : vol. 31, nr 2; praca w druku*).

Oprócz głównego nurtu badań analizy dynamiki procesów termoregulacyjnych w odpowiedzi na zróżnicowane bodźce stymulujące organizm człowieka, moje zainteresowania naukowe dotyczą także tematyki związanej z diagnostyką i oceną narządu ruchu.

W działaniach tych wykorzystano obiektywne, biomechaniczne metody ściśle powiązane z oceną oraz kontrolą efektywności procesu terapeutycznego. Współpraca w tym nurcie znalazła wyraz we współautorstwie badań w ocenie parametrów lepkosprężystych mięśnia prostownika grzbietu (miotonometria) wykonanych u dzieci zdrowych (APGAR 8-10) w wieku 4-9 miesięcy z niewielkimi zaburzeniami wzorca motorycznego. W celu identyfikacji wartości bazowych analizowanych parametrów oraz wskazania kierunku ich zmian zastosowano stymulację strefy piersiowej metodą Wojty. Analiza wyników wykazała

istotne zmiany w parametrach lepkościowych obserwowane po stymulacji jedynie u dzieci z podwyższonym napięciem mięśniowym, poprawa funkcji motorycznych wystąpiła u wszystkich badanych (Ptak A, **Dębiec-Bąk A**, Stefańska M. *Assessment of viscoelastic parameters of muscles in children aged 4-9 months with minor qualitative impairment of the motor pattern after Vojta therapy implementation. International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2022** : vol. 19, nr 16, art. 10448, s.1-9).

Kolejne prace badawcze z moim udziałem w nurcie badań związanych z diagnostyką narządu ruchu dotyczą oceny skuteczności mobilizacji w kierunku zwiększenia ruchomości segmentów hipomobilnych kręgosłupa, u młodych pacjentów z chorobą zwyrodnieniową dysku rozpoznaną za pomocą rezonansu magnetycznego.

Kręgi lędźwiowe przenoszą największe obciążenie z kręgosłupa, często prowadzących do patologii, w tym choroby zwyrodnieniowej dysku (*DDD*), potencjalnie zaburzającej wzorce ruchu kręgosłupa. W badaniu wzięło udział 30 pacjentów (24-35 lat), których podzielono na dwie grupy w zależności od stopnia progresji *DDD* rozpoznanego za pomocą rezonansu magnetycznego (*protrusion / extrusion*). Dwadzieścia sesji przedłużonej mobilizacji rozciągającej (stopień III) zastosowano w obu grupach w ciągu czterech tygodni. Wyniki terapii oceniano z wykorzystaniem: *Numeric Rating Scale*, *Oswestry Disability Index*, prostowanie nóg, bierne prostowanie odcinka lędźwiowego kręgosłupa oraz zakres ruchu odcinka lędźwiowego. Badania przeprowadzono przed terapią, po terapii oraz po miesięcznej przerwie od mobilizacji. Wyniki pacjentów uległy znacznej poprawie dla wszystkich badanych parametrach w obu grupach, z wyjątkiem wyniku testu prostowania nóg, który poprawił się tylko w grupie *extrusion*. Pozwoliło to na uzyskanie wniosków, iż zastosowane terapie poprawiły wyniki mobilizacji kręgosłupa (Kuligowski T, **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A. *Mobilisation efficacy in young patients with different stages of degenerative disc disease. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, **2020** : vol. 33, nr 6, s.913-918).

W kontynuacji badań w obszarze dysfunkcji narządu ruchu, dokonano oceny skuteczności treningu stabilizującego mięśni głębokich odcinka lędźwiowego kręgosłupa u osób z chorobą zwyrodnieniową krążka międzykręgowego (Kuligowski T, Cieślak B, Kuciel N, **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A. *Effect of core stabilizing training on young individuals presenting different stages of degenerative disc disease: preliminary report. International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2021**: vol. 18, nr 7, art. 3499, s.1-9). Badania wykazały, że sesje ćwiczeń stabilizujących mięśnie głębokie odcinka lędźwiowego

kręgosłupa poprawiły wyniki kliniczne w każdej grupie, natomiast nie potwierdziły, czy rodzaj uszkodzenia krążka międzykręgowego istotnie wpływa na wyniki stabilizującego leczenia wysiłkowego

Rozszerzając swoje zainteresowania w nurcie naukowym w tematyce diagnostyki i oceny narządu ruchu współuczestniczyłam w badaniach dotyczących oceny wpływu pojedynczej sesji terapii powięziowej na równowagę i obciążenie kończyn dolnych u zawodowych sportowców po urazie tkanek miękkich kończyn dolnych. Większość urazów narządu ruchu w sporcie wyczynowym wynika z przeciążeń i nadmiernego napięcia mięśni i powięzi dlatego celem badań było zastosowanie terapii w celu zmniejszenie napięcia mięśniowego i poprawę propriocepcji. Wyniki wykazały, że uszkodzone i zdrowe kończyny prezentowały znaczną asymetrię rozkładu masy ciała. Przed leczeniem badani obciążali kończynę uszkodzoną w mniejszym stopniu niż kończynę zdrową. Po terapii powięziowej testy przy zamkniętych oczach wykazały poprawę symetrii rozkładu ciężaru między dwiema kończynami dolnymi. Nie stwierdzono istotnych różnic w wartościach ocenianych parametrów równowagi między mierzonymi wyjściowo, po terapii i po sesji rehabilitacyjnej.

Analiza wyników badań, potwierdziła korzystny wpływ jednorazowej sesji terapii powięziowej na równowagę ciała u biegaczy po kontuzji kończyny dolnej (Pawik Ł, Pawik M, Karwacka M, Wysoczańska E, Schabowska A, Kuciel N, Biernat K, **Dębiec-Bąk A**, Lewandowska J, Fink-Lwow F. Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries. *Symmetry*, **2021** : vol. 13, nr 9, art. 1586, s.1-12).

Moje zainteresowania naukowe dotyczą także procesów starzenia oraz oceny jakości życia seniorów w aspekcie fizycznym i psychicznym. Często w takich projektach, poza wykorzystaniem obiektywnych narzędzi pomiarowych stosuje się wystandaryzowane kwestionariusze jakości życia, które pozwalają rozpoznać poziom zadowolenia z życia, stan emocjonalny, poziom lęku, czy zmiany powstałe w wyniku prowadzonych działań terapeutycznych osób starszych. Współpraca w tym nurcie znalazła wyraz we współautorstwie badań dotyczących obserwacji, porównania samopoczucia psychicznego, jakości życia i aktywności fizycznej osób starszych (75-90 lat) mieszkających samodzielnie i w domach opieki. W projekcie *Traczyk J, Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Stefańska M. Assessment of the psychophysical sphere and functional status of women aged 75-90 living alone and in nursing homes. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021* :

vol. 18, nr 17, art. 9028, s.1-11 przeprowadzono ocenę aktywności fizycznej za pomocą krokomierzy oraz testu „wstań i idź”, do oceny samopoczucia psychicznego wykorzystano kwestionariusz *Mini-Mental State Examination* oraz Geriatryczną Skalę Depresji, stan funkcjonalny seniorów oceniano skalą *Groningen Activity Restriction Scale (GARS)*, natomiast oceny jakości życia dokonano za pomocą kwestionariusza *WHOQOL-Bref*. Wyniki badań wykazały, że osoby mieszkające samodzielnie charakteryzował wyższy dzienny poziom aktywności fizycznej. Porównując obie grupy badanych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w samoocenie sfery psychicznej, natomiast zaobserwowano różnice w samoocenie sfery fizycznej. W grupie senierek mieszkających w domach opieki osoby z depresją i bez depresji nie różniły się pod względem dziennego poziomu aktywności fizycznej i wyników testów funkcjonalnych. Kobiety z depresją z grupie senierek mieszkających samodzielnie były mniej aktywne fizycznie i miały gorszą sprawność funkcjonalną.

W nurcie badawczym ściśle związanym z oceną jakości życia i dobrostanu, istotnym stał się wpływ pandemii COVID-19, który wymusił izolację społeczną dotyczącą wszystkich dziedzin życia. Funkcjonowanie szkół i uczelni wyższych zostało zmodyfikowane do form zdalnych. W pracy *Stefańska M, De Koker R, Vos J, De Wachter E, Dębiec-Bąk A, Ptak A. Assessment of the level of physical activity and mood in students after a year of study in a mixed mode in the conditions of restrictions resulting from the pandemic. Int J Environ Res Public Health 2023, 20, (5), 4311*, analizowano poziom aktywności fizycznej i nastroju studentów po roku nauki prowadzonej w trybie mieszanym z powodu ograniczeń wynikających z pandemii COVID-19. W obserwacji wzięło udział 297 studentów od II do IV roku studiów stacjonarnych Wydziału Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (Polska) oraz studentów Wydziału Zdrowia Uniwersytetu ODISSE w Brukseli (Belgia). Ocenie poddano rok akademicki 2020/2021. Aktywność fizyczną oceniono za pomocą Globalnego Kwestionariusza Aktywności Fizycznej (*GPAQ*). Do oceny stanu zdrowia psychicznego zastosowano Inwentarz Depresji Becka (*BDI*). Wyniki kwestionariusza *GPAQ* pokazują, że łączna aktywność fizyczna obejmująca pracę/studia, rekreację i mobilność wynosiła 16,5 h tygodniowo dla studentów z Polski i 7,4 h tygodniowo dla studentów z Belgii. Obie grupy badanych osiągnęły wszystkie progi zalecane przez WHO jako wystarczający poziom tygodniowej aktywności fizycznej. Analiza kwestionariusza *BDI* wykazała, że w obu badanych grupach ponad 30% studentów odczuwało obniżony nastrój o różnym nasileniu. Poprzez uzyskane wyniki, wydaje się więc konieczne monitorowanie stanu



psychicznego uczniów i w przypadku uzyskania wyników kontrolnych na zbliżonym poziomie wdrożenie pomocy psychologicznej dla chętnych uczestników.

#### **4.5. Podsumowanie osiągnięć naukowych**

Mój dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora obejmuje **26** oryginalnych pełnotekstowych prac naukowych, w tym **17** artykułów opublikowanych w czasopismach znajdujących się na liście Journal Citation Reports (JCR) o łącznym wskaźniku Impact Factor wynoszącym **63,842**. W tym dorobku naukowym jest cykl pięciu artykułów będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, którego sumaryczny wskaźnik Impact Factor wynosi **20,735** a łączna liczba punktów, zgodnie z punktacją Ministerstwa Edukacji i Nauki (MEiN) i wcześniej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW), wynosi **395**.

W publikacjach posiadających wskaźnik IF, w 6 z nich jestem pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym w jednej z nich. W prezentowanym dorobku naukowym jestem drugim autorem w 7 pracach, a ostatnim autorem w 2 pracach. Wartość punktowa wszystkich publikacji według wykazu czasopism naukowych oraz rozdziałów w monografiach naukowych MEiN/MNiSW/KBN, zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **1897 punktów**. Łączna liczba cytowań moich artykułów (na dzień 18.04.2023r.) zgodnie z bazą Web of Science wynosi **54** (Web of Science), **94** (Author Search), bez autocytowań **47** (Web of Science), **74** (Author Search) oraz **Indeks Hirscha = 5**.

#### **5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej**

- W wyniku nawiązanej współpracy naukowej, podczas stażu w Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie, kolejno w 2020 r. współrealizowałam projekt naukowo-badawczych, którego efektem była praca zespołowa obejmująca aktywność AWF we Wrocławiu, Krakowie i Katowicach oraz Uniwersytetu w Bydgoszczy:

Piotrowska A, Czerwińska-Ledwig O, Stefańska M, Pałka, T, Maciejczyk M, Bujas P, Bawelski M, Ridan T, Żychowska M, Sadowska-Krępa E, **Dębiec-Bąk A**. Changes in Skin Microcirculation Resulting from Vibration Therapy in Women with Cellulite. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, 19 (6), 3385. doi:10.3390/ijerph19063385. IF: 4.614; MEiN: 140.000.

Celem pracy była ocena wpływu miejscowej wibracji na mikrokrążenie skórne oraz likwidację objawów cellulitu u kobiet. 57 zdrowych kobiet z cellulitem co najmniej 1. stopnia, podzielono na cztery grupy różniące się czasem trwania zabiegu (30' lub 60') oraz pozycją (siedzącą lub leżącą) podczas zabiegów wibracyjnych. Przed i po 15 sesjach zabiegowych rejestrowano skład ciała, wybrane obwody, stopień cellulitu oraz zdjęcia termograficzne pośladków i ud. Zauważono, że w obu badanych obszarach zaobserwowano istotne zmiany temperatury skóry po pierwszym i ostatnim zabiegu. Po serii zabiegów zaobserwowano znaczne zmniejszenie stopnia cellulitu. Najsilniejsze efekty zaobserwowano w pozycji siedzącej przy czasie zabiegu 60 min. Zabieg wibracyjny poprawia mikrokrążenie w obszarach dotkniętych cellulitem. Z biegiem czasu nie zaobserwowano adaptacji, a kolejne zabiegi utrzymywały korzystne efekty. Wydłużenie czasu zabiegu zwiększyło jego wpływ na mikrokrążenie w skórze. W ramach tego projektu odpowiedzialna byłam za przygotowanie metodologiczne, wizualizację wyników, krytyczną rewizję pracy w przygotowaniu do druku w przedstawianej publikacji.

- W oparciu o badania własności fizycznych mięśni prowadzonych w warunkach pracy izokinetycznej, które częstą są metodą oceny możliwości siłowych układu ruchu, kontynuując współpracę będącą efektem stażu naukowego, który odbyłam w Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie była praca naukowa napisana we współpracy AWF we Wrocławiu, AWF w Krakowie i Szpitala Ortopedyczno-Rehabilitacyjnego Vratislavia Medica we Wrocławiu.

Stefańska M, **Dębiec-Bąk A**, Widelak J, Palczewska A, Skrzek A, Dominiak P, Kucharski W, Kubasiak K. Force-Velocity Characteristics of Lower Extremity Muscles in Male High-Altitude Climbers. *Physiotherapy Quarterly* 2021, 29 (3), 92–97. doi:10.5114/pq.2021.109061. MEiN: 70.000.

Celem pracy była ocena parametrów prędkościowo-siłowych mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanowego u mężczyzn uprawiających wspinaczkę wysokogórską oraz porównanie

uzyskanych wyników z grupą aktywnych zawodowo żołnierzy. Zaobserwowano, że zarejestrowane w ruchu z prędkością 60°/s i 180°/s wartości szczytowego momentu siły, całkowitej pracy, średniej mocy oraz stosunku szczytowego momentu siły mięśni antagonistycznych są wyższe, a czasy przyśpieszania i opóźniania ruchu krótsze w grupie himalaistów w porównaniu z grupą żołnierzy zawodowych. Zaobserwowane różnice mogą świadczyć o zmianie mechanizmów posturalno-dynamicznych związanych z kontrolą ruchu. W ramach projektu odpowiedzialna byłam za przygotowanie metodologiczne i realizację pomiarów izokinetycznych, przygotowanie tekstu do publikacji.

- W wyniku współpracy nawiązanej podczas stażu naukowego, który odbyłam w Politechnice Wrocławskiej pod opieką prof. dr hab. inż. Haliny Podbielskiej, była wspólna praca napisana we współpracy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Politechniki Wrocławskiej i University Hospital Bonn.

*Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. Superficial Temperature Distribution Patterns before and after Physical Activity in School Children Are Indicative for Personalized Exercise Coaching and Disease Prevention. EPMA J 2021, 12 (4), 435–447. doi:10.1007/s13167-021-00262-1. IF: 8.836; MEiN: 100.000.*

Celem pracy była ocena termoregulacji za pomocą kamery termowizyjnej u dzieci w wieku szkolnym wykonana przed i po 45 minutowych ogólnorozwojowych ćwiczeniach fizycznych. W badaniu uczestniczyło 60 dzieci, które podzielono na grupy wiekowe: 7-latki, 9-latki i grupa 12-latki. Powierzchowne wzorce temperatury ciała mierzono za pomocą kamery termowizyjnej przed i bezpośrednio po wysiłku oraz po 15-minutowym okresie odpoczynku. Przeanalizowano rozkłady temperatury w 12 obszarach przedniej i tylnej części ciała, obejmujących tułów oraz kończyny górne i dolne. Uzyskane wyniki ujawniły indywidualną i zależną od wieku różnicę w odpowiedzi organizmu na ćwiczenia. Pierwszy pomiar przed wysiłkiem fizycznym (pomiar 1) nie wykazał istotnych statystycznie różnic w średniej temperaturze wszystkich analizowanych obszarów pomiędzy dziećmi w wieku 7 i 9 lat. U dzieci 12-letnich zaobserwowano statystycznie istotnie wyższe wartości średniej temperatury kończyn górnych i dolnych w porównaniu z grupą 7-latków. Bezpośrednio po ćwiczeniach (pomiar 2) odnotowano istotny statystycznie spadek temperatury we wszystkich grupach i we wszystkich obszarach ciała. Największą zmianę temperatury zaobserwowano u 12-latków, a najmniejszą u najmłodszych. Badanie przeprowadzone po 15-minutowym czasie

regeneracji (pomiar 3) wykazało wzrost średniej temperatury wszystkich analizowanych obszarów. U wszystkich badanych średnia temperatura zarejestrowana w pomiarze 3 nie różniła się istotnie od początkowych (pomiar 1, przed ćwiczeniami). Jedynie średnia temperatura grzbietu dzieci 12-letnich była istotnie niższa po okresie odpoczynku w porównaniu z badaniem wstępnym. Przeprowadzona identyfikacja procesów termoregulacyjnych w odpowiedzi na aktywność fizyczną może mieć duże znaczenie kliniczne w spersonalizowanym treningu wczesnego okresu życia. W ramach tego projektu odpowiedzialna byłam za tworzenie koncepcji oraz modelu badań, zaplanowaniu eksperymentu, wyborze metodyki badań, pozyskaniu osób badanych oraz przeprowadzeniu badań, analizie danych, współdziałałam w interpretacji wyników badań, a także pisaniu pierwotnej wersji artykułu, jak również korekt przed złożeniem do druku, prowadzeniu dyskusji, zgromadzeniu literatury.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę**

Od początku mojej pracy na stanowisku nauczyciela akademickiego prowadziłam zajęcia dydaktyczne ze studentami kierunku Fizjoterapia na Wydziale Fizjoterapii Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu. Obecnie prowadzę zajęcia w formie ćwiczeń z przedmiotu Fizjoterapia w ortopedii, traumatologii i medycynie sportowej; Podstawy kliniczne fizjoterapii w ortopedii, traumatologii i medycynie sportowej, a także Wyroby medyczne (zaopatrzenie ortopedyczne), protetyka, ortotyka. Jestem autorem programów i sylabusów z przedmiotów:

- Diagnostyka funkcjonalna i programowanie fizjoterapii w dysfunkcjach narządu ruchu (2013-2020),
- Programowanie rehabilitacji w dysfunkcjach narządu ruchu (2017-2018),
- Fizjoterapia kliniczna w dysfunkcjach narządu ruchu: traumatologia (2013-2016),
- Fizjoterapia kliniczna w dysfunkcjach narządu ruchu: ortopedia (2013-2016),
- Planowanie fizjoterapii w dysfunkcjach układu ruchu (2019-2022),
- Wyroby medyczne (zaopatrzenie ortopedyczne), protetyka, ortotyka (2019-2023),
- Praktyka asystencka (2019-2023),
- Praktyka w fizjoterapii klinicznej, fizykoterapii i masażu (cz. I, II), (2019-2023),

- Wakacyjna praktyka profilowana – wybieralna (cz. I, II), (2019-2023),
- Wakacyjna praktyka z kinezyterapii (2019-2023).

W zakresie działalności organizacyjnej pełniłam na Uczelni wiele funkcji:

- W latach 2008-2012, 2012-2016, 2016-2020 - Członek Rady Wydziału Fizjoterapii, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- W roku akademickim 2013/2014, 2015/2016 - Zastępca Przewodniczącej Komisji Egzaminu Dyplomowego Licencjackiego Teoretycznego.
- W roku akademickim 2015/2016 - Członek Uczelnianej Komisji Rekrutacyjnej, Kierownik Sekretariatu Wydziału Fizjoterapii.
- W roku akademickim 2016/2017 - Przewodnicząca Komisji Egzaminu Dyplomowego Licencjackiego Teoretycznego.
- W kadencji 2020-2024 - Pełnomocnik Dziekana ds. praktyk studenckich na Kierunku Fizjoterapia.

W zakresie działalności popularyzujących naukę wielokrotnie byłam współorganizatorem konferencji naukowych i szkoleniowych.

- Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego III Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 16 maja 2019 r.
- Członek Komitetu Naukowego III Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 16 maja 2019 r.
- Członek Komitetu Organizacyjnego Konferencji „Krajowe Ramy Kwalifikacji- nowe wyzwania dla kształcenia fizjoterapeutów”, Wrocław, 28.10.2011 r.
- Członek Komitetu Organizacyjnego VIII Międzynarodowych Dni Fizjoterapii „Fizjoterapia, terapia zajęciowa, kosmetologia – razem czy osobno?” Wrocław, 7-8 czerwca 2013 r.
- Członek Komitetu Organizacyjnego IX Międzynarodowych Dni Fizjoterapii, „Postępy w rehabilitacji – od badań naukowych do praktyki klinicznej”, Wrocław, 12-13 czerwca 2015 r.
- Członek Komitetu Organizacyjnego I Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 29 maja 2015 r.
- Członek Komitetu Organizacyjnego II Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 21 kwietnia 2017 r.

## **7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej**

### **7.1. Udział w projektach badawczych**

#### Projekty zrealizowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

Uczestnictwo, jako wykonawca, w pracach zespołu badawczego realizującego temat statutowy Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu „Zmienność parametrów prędkościowo-siłowych mięśni pod wpływem różnych form aktywności fizycznej i bodźców fizykalnych w badaniach izokinetycznych”, kierowanego od 2003 roku przez prof. dr hab. Annę Skrzek.

Uczestnictwo, jako wykonawca, w pracach zespołu badawczego realizującego temat statutowy Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu „Wykorzystanie temperatur kriogenicznych w fizjoterapii”, kierowanego od 2004 roku przez prof. dr hab. Annę Skrzek.

#### Projekty przygotowanie i wysłane po uzyskaniu stopnia doktora:

Uczestnictwo, jako jeden z głównych członków zespołu badawczego, w przygotowaniu wniosku o dofinansowanie projektu w ramach Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). Tytuł projektu „Opracowanie nowej, innowacyjnej, biologicznej metody leczenia zaburzeń nastroju oraz deficytów kognitywnych z zastosowaniem krioterapii ogólnoustrojowej”, na kwotę 5 735 498,00 zł. Wnioskodawcy:

- Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu – LIDER
- Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Fizjoterapii
- Creator Sp. z o.o. z siedzibą we Wrocławiu

Zgłoszony do NCBiR pod numerem ID: 243979 – stan z dnia 2014-01-16. Projekt nie uzyskał finansowania.

### **7.2. Staże naukowe i dydaktyczne**

#### Po uzyskaniu stopnia doktora:

- Staż naukowo-dydaktyczny w Akademii Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, na Wydziale Rehabilitacji Ruchowej od 25.11.2019 r. do 08.12.2019 r.

pod opieką dr hab. Agnieszki Suder. Staż obejmował pogłębienie wiedzy z obszarów związanych z diagnostyką funkcjonalną w dysfunkcjach narządu ruchu. W trakcie stażu zrealizowano warsztaty szkoleniowe w oparciu o trójwymiarową analizę ruchu ciała człowieka za pomocą systemu BTS SMART D-140 6TVC oraz VICON 250 w celu oceny stanu funkcjonalnego pacjentów z dysfunkcjami układu ruchu podczas chodu oraz wykonania innych czynności ruchowych. W pracowni Wibroterapii zrealizowano badania wieloaspektowego wpływu wibracji na ustrój człowieka z zastosowaniem mat wibracyjnych firmy Vitberg. W pracowni Fizjologii skóry zrealizowano badania termowizyjne do oceny ilościowej i jakościowej emisyjności podczerwieni po zabiegach z zastosowaniem mat wibracyjnych.

W oparciu o odbyty staż opublikowano prace:

Stefańska M, **Dębiec-Bąk A**, Widelak J, Palczewska A, Skrzek A, Dominiak P, Kucharski W, Kubasiak K. Force-velocity characteristics of lower extremity muscles in male high-altitude climbers. Physiotherapy Quarterly, 2021, 29, 3, s. 92-97.

Piotrowska A, Czerwińska- Ledwig O, Stefańska M, Pałka T, Maciejczyk M, Bujas P, Bawelski M, Ridan T, Żychowska M, Sadowska-Krępa E, **Dębiec-Bąk A**. Changes in skin microcirculation resulting from vibration therapy in women with cellulite. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19, 6, s. 1-14.

- Staż naukowo-dydaktyczny zrealizowany na Politechnice Wrocławskiej w Katedrze Inżynierii Biomedycznej od 01.06.2020 r. do 30.06.2020 r. pod opieką prof. dr hab. inż. lek. Haliny Podbielskiej. Staż obejmował zagadnienia współczesnej diagnostyki obrazowej w zakresie optyki biomedycznej, w tym badań termowizyjnych (metodologia i zaawansowane analizy interpretacji badań klinicznych) do celów medycyny spersonalizowanej, opartej na prewencji, predykcji i spersonalizowanej terapii. Efektem zrealizowanego stażu były badania na temat zastosowania termowizji do oceny wpływu ćwiczeń usprawniających u dzieci i młodzieży zakończone wspólną publikacją naukową oraz prezentacją badań na konferencji EPMA World Congress 20-23.09.2021 r. W oparciu o odbyty staż opublikowano prace:

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. Analysis of superficial temperature distribution changes after physical activity in school children for personalization of general fitness exercises. EPMA World Congress 2021, Faculty of Fundamental Problems of Technology, Department of Biomedical Engineering, Wrocław University of Science and Technology 20-23 wrzesień 2021r.

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. (2021). Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. EPMA Journal, 12(4),435-447, doi:10.1007/s13167-021-00262-1

- Staż naukowy w Státní Léčebné Lázně Janské Lázně, w Republice Czeskiej od 06.09.2021 r. do 24.09.2021 r. pod opieką dr Ivany Uiberlayov, obejmujący pogłębienie wiedzy z obszarów związanych z diagnostyką funkcjonalną w dysfunkcjach narządu ruchu. Podczas stażu zrealizowano warsztaty treningu marszowego z zastosowaniem urządzenia AlterG polegające na działaniu antygravitacyjnym. W trakcie stażu zrealizowano również szkolenie z zastosowania w procesie usprawniania systemu Bioness L300 Plus wykorzystujący bezprzewodową funkcjonalną stymulację elektryczną do poprawy mobilności, zapewnienie stabilizacji stawu kolanowego, kontroli statyki i lokomocji u pacjentów z deficytami narządu ruchu i układu nerwowego.

Podczas stażu opracowano także protokół badawczy dotyczący pomiarów termowizyjnych stóp u osób z cukrzycą typu II. W oparciu o protokół wykonano badania temperatury powierzchniowej kamerą termowizyjną ThermoVision FLIR SYSTEM T335.

Efektem zrealizowanego stażu były badania na temat zastosowania termowizji do oceny powierzchniowej temperatury stóp u pacjentów z cukrzycą typu II, zaprezentowane na Międzynarodowej Konferencji : XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii: „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław, 26-28 maja 2022r., a także zakończone wspólną publikacją naukową:

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Ptak A, Majerski K, Uiberlayová I, Stefańska M. Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision metod. *Physiother Quart.* 2023;31(2), doi:10.5114/pq.2024.125293



- Staż naukowy w Universidad Politécnica de Madrid, Spain, Departamento de Deportes od dnia 19.09.2022 r. do 02.10.2022 r. pod opieką dr. Manuela Sillero-Quintana. W ramach stażu przeprowadzono warsztaty szkoleniowe z analiz wyników badań termowizyjnych z zastosowanie oprogramowania ThermoHuman® software version 2.12 (PEMA THERMO GROUP S.L., Madrid, Spain), sporządzono także wspólny protokół oceny termowizyjnej dzieci, który w ramach badań dwuśrodkowych będzie wykorzystany do oceny zmian temperatury powierzchniowej ciał dzieci od 0-12 miesięcy, zaistniałych jako odpowiedź adaptacyjna organizmu na temperaturę otoczenia (badania w toku).

### **7.3. Kształcenie młodej kadry**

W 2018 roku, w ramach programu „Selected Biomedical Engineering Methods in Preventive, Predictive and Personalized Medicine and Physiotherapy” (kurs letni - Indian Summer), realizowanego przez Politechnikę Wrocławską, prowadziłam zajęcia : Personalized Physiotherapy – practical exercises and Study visit to cryotherapy premises dla studentów z RK University, Health Sciences, Physiotherapy z Indii.

W 25.03.-02.04.2023 r. w ramach programu Erasmus+ prowadziłam zajęcia dydaktyczne o tematyce zastosowania metody termowizyjnej w biomedycynie dla studentów Wydziału Fizjoterapii Universidad de Malaga.

### **7.4. Promotorstwo prac magisterskich i licencjackich oraz recenzowanie prac dyplomowych**

Od 2013 roku byłam promotorem 34 prac dyplomowych: 15 licencjackich, 9 magisterskich oraz recenzowałam 34 prace dyplomowe : 9 licencjackich i 25 magisterskich.

### 7.5. Udział w konferencjach naukowych i popularyzujących naukę

Wyniki swoich prac naukowo-badawczych przedstawiałam w formie prezentacji ustnych lub w formie plakatowej podczas wielu konferencji naukowych.

**Dębiec-Bąk A**, Pawik Ł, Jedynak D, Skrzek A. Thermal imager to assess changes in the surface temperature of the body systemic cryo stimulation of football players. VIII International Days of Physiotherapy „Physiotherapy, occupational physiotherapy, cosmetology - together or apart?”, Wrocław, 7-8 czerwca 2013- sesja plakatowa

**Dębiec-Bąk Agnieszka**, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata. Tytuł oryginału: Analiza mikrokrażenia powierzchniowego stóp u pacjentów z cukrzycą typu II w badaniach termowizyjnych. Tytuł równoległy: Analysis of the surface microcirculation of feet in patients with type II diabetes in thermal imaging studies. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław 26-28 maja 2022r. - wystąpienie w sesji plakatowej.

Pawik Łukasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Thermal imaging analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in male and female footballers after interval training. 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, Budapest 6-9 June 2017r. - wystąpienie w sesji plakatowej.

**Dębiec-Bąk A**, Pawik Ł, Wójtowicz D, Skrzek A. Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. W: 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, Budapest, 6-9 czerwca 2017 - sesja plakatowa.

**Dębiec-Bąk A**, Kuligowski T, Skrzek A. The analysis of thermoregulatory processes in girls and boys in thermal imaging tests. W: 14th Quantitative InfraRed Thermography Conference. QIRT 2018, Berlin, 25-29 czerwca 2018- sesja plakatowa.

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. Analysis of superficial temperature distribution changes after physical activity in school children for personalization of general fitness exercises. W: EPMA World Congress 2021, Faculty of

Fundamental Problems of Technology, Department of Biomedical Engineering, Wrocław University of Science and Technology 20-23 wrzesień 2021, Kongres Międzynarodowy - sesja plakatowa.

### **7.6. Szkolenia i kursy – podnoszenie kwalifikacji naukowo – dydaktycznych**

Do najistotniejszych szkoleń i kursów, które odbyłam po uzyskaniu stopnia doktora w celu podwyższenia swoich kompetencji zawodowych, zarówno w pracy naukowej jak i dydaktycznej należą:

- 09/2012      Kurs: Diagnostyka różnicowa w dysfunkcjach narządu ruchu, BMK, Wrocław,
- 02/2013      Szkolenie: „Zwiększanie dostępności uczelni wyższych dla osób niepełnosprawnych”, FiRR oraz PFRON, Wrocław
- 09/2014      Kurs: Kończyna górna- diagnostyka i elementy terapii, BMK, Wrocław,
- 09/2016      Kurs: Kończyna dolna – diagnostyka i elementy terapii, BMK, Wrocław,
- 11/2017      Szkolenie: Termografia medyczna w praktyce, EC Training Center, Kraków
- 06/2020      Szkolenie dla wnioskodawców z obszaru NZ organizator NCN
- 02-07/2022    Szkolenie: Koncepcja PNF - Rekomendacje dotyczące nauczania w uczelniach wyższych: część teoretyczna (on-line 02-04.2022r.); część praktyczna (09.07.2022r. warsztaty, AWF Warszawa), IPNFA Poland,
- 11/2022      Warsztaty Naukowe: „Egzoszkielety medyczne – możliwości, ograniczenia i wyzwania” w ramach cyklu Kontrola ruchów człowieka- możliwości i perspektywy badań. PAN Oddział we Wrocławiu.
- 04/2023      Warsztaty szkoleniowe „Jak z sukcesem przygotować wniosek o grant?”, AWF Wrocław

### **7.7. Nagrody i wyróżnienia**

Za działalność organizacyjną i naukową otrzymałam poniższe nagrody:

- Zespołowa nagroda JM Rektora za całokształt działalności organizacyjnej rok 2013/2014,
- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za wybitne zaangażowanie oraz za całokształt działalności organizacyjnej rok 2019/2020.

- Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za działalność publikacyjną w 2020 roku.



*Agnieszka Dębiec-Bąk*  
.....  
(podpis wnioskodawcy)

**WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH,  
STANOWIĄCYCH ZNACZNY WKŁAD W ROZWÓJ OKREŚLONEJ DYSCYPLINY**

## Spis treści

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST.1 PKT 2 USTAWY.....	3
1. Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy.....	3
2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy.....	3
3. Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy .....	5
II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ .....	5
1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.1). .....	5
2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych. ....	5
3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii. ....	6
4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (niewymienionych w pkt I.2).....	6
5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3). ....	10
6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3). ....	10
7. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych. ....	10
8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.....	14
9. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.....	15
10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach. ....	15

11. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru. ....	16
12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej itp.) .....	17
13. Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych. ....	17
14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych. ....	17
15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9. ....	17
16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny. ....	17
<b>III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM.....</b>	<b>18</b>
1. Wykaz dorobku technologicznego. ....	18
2. Współpraca z sektorem społecznym i gospodarczym. ....	18
3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych. ....	18
4. Wykaz wdrożonych technologii. ....	18
5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców. ....	18
6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych. ....	18
7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.....	18
<b>IV. DANE NAUKOMETRYCZNE .....</b>	<b>19</b>
1. ImpactFactor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny). ....	19
2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań...19	19
3. Indeks Hirscha.....	19
4. Liczba punktów MNiSW.....	19

**I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST.1 PKT 2 USTAWY**

**1. Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy**

**2. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy**

Osiągnięcie naukowe zatytułowane „**Analiza dynamiki zmian temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem zróżnicowanych bodźców u zdrowych i chorych osób**” stanowiące cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b ustawy (opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora):

**1. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. (2021).** Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. EPMA Journal, 12(4),435-447,doi:10.1007/s13167-021-00262-1

IF: **8,836**, punktacja MEiN: **100,00**

*Wkład autorów w powstanie publikacji \*:*

*A. Dębiec-Bąk - tworzenie koncepcji, prowadzenie badań, organizacja bazy danych, analiza, interpretacja i wizualizacja wyników, przygotowanie pierwszej wersji rękopisu. Mój szacowany udział to 50%.*

*A. Skrzek - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zaprojektowanie analiz, udział w badaniach, koordynacja treści przed złożeniem do druku. Szacowany udział to 10%.*

*H. Podbielska - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu, współautorstwo korespondencyjne, udział w badaniach, wizualizacja wyników, koordynacja treści przed złożeniem do druku. Szacowany udział to 15%.*

*O. Golubnitschaja - krytyczna rewizja treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu, zaprojektowanie analiz, współautorstwo korespondencyjne. Szacowany udział to 15%.*

*M. Stefańska - analiza, interpretacja i wizualizacja wyników badań, udział w badaniach. Szacowany udział to 10%.*

**2. Dębiec-Bąk A, Kuligowski T, Skrzek A. (2020).** Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,140,243-251,doi:10.1007/s10973-019-08843-z

IF: **4,626**, punktacja MEiN: **100,00**

*Wkład autorów w powstanie publikacji \*:*

*A. Dębiec-Bąk - tworzenie koncepcji, sformułowanie celów naukowych, udział w prowadzeniu badań, organizacja bazy danych, zaprojektowanie analiz statystycznych, interpretacja i wizualizacja wyników, zgromadzenie literatury, prowadzenie dyskusji, przygotowanie pierwszej wersji rękopisu, pisanie korekt przed złożeniem do druku, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Mój szacowany udział to 70%.*

*T. Kuligowski – pisanie korekt przed złożeniem do druku, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu, zgromadzenie literatury, autor korespondencyjny. Szacowany udział to 20%.*

*A. Skrzek - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Szacowany udział to 10%.*

**3. Dębiec-Bąk A, Pawik Ł, Skrzek A. (2016).** Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*,126(3), 1633-1644 , doi:10.1007/s10973-016-5623-3

IF: **1,953**, punktacja MEiN: **25,00**

*Wkład autorów w powstanie publikacji\*:*

*A. Dębiec-Bąk - tworzenie koncepcji, sformułowanie celów naukowych, udział w prowadzeniu badań, organizacja bazy danych, zaprojektowanie i wykonanie analiz statystycznych, interpretacja i wizualizacja wyników, zgromadzenie literatury, przeprowadzenie dyskusji, przygotowanie pierwszej wersji rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Mój szacowany udział to 70%.*

*Ł. Pawik – analiza i wizualizacja wyników, pisanie korekt przed złożeniem do druku, zgromadzenie literatury, autor korespondencyjny. Szacowany udział to 20%.*

*A. Skrzek - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Szacowany udział to 10%.*

**4. Dębiec-Bąk A, Wójtowicz D, Pawik Ł, Ptak A, Skrzek A. (2019).** Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*,135(4),2399-2410

doi:10.1007/s10973-018-7345-1

IF: **2,731**, punktacja MEiN: **100,00**

*Wkład autorów w powstanie publikacji \*:*

*A.Dębiec-Bąk - tworzenie koncepcji ,modelu badań, zaplanowanie eksperymentu, wybór metodyki badań, pozyskaniu osób badanych, analizie danych, interpretacji wyników badań i obliczeń statystycznych, przygotowanie pierwotnej wersji rękopisu, przygotowanie korekt przed złożeniem do druku, zgromadzenie literatury, prowadzenie dyskusji, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Mój szacowany udział to 65%.*

*D. Wójtowicz - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu, zgromadzenie literatury, autor korespondencyjny. Szacowany udział to 15%.*

*Ł. Pawik - zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu, wizualizacja wyników. Szacowany udział to 5%.*

*A. Ptak – przygotowanie korekt przed złożeniem do druku, zgromadzenie literatury. Szacowany udział to 5%.*

*A. Skrzek – przygotowanie korekt przed złożeniem do druku, wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Szacowany udział to 10%.*



5. **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Woźniewski M, Malicka I. (2019). Using thermography in the diagnostics of lymphedema: pilot study. *Lymphatic Research and Biology*, 18(3), 247-253, doi:10.1089/lrb.2019.0002

IF: **2,589**, punktacja MEiN: **70,00**

*Wkład autorów w powstanie publikacji \*:*

*A. Dębiec-Bąk - tworzenie koncepcji, sformułowanie celów naukowych, prowadzenie badań, organizacja bazy danych, interpretacja i wizualizacja wyników, zgromadzenie literatury, współprowadzenie dyskusji, przygotowanie pierwszej wersji rękopisu, pisanie artykułu, współudział w jego korekcie przed i po złożeniu do druku, autor korespondencyjny. Mój szacowany udział to 50%.*

*A. Skrzek - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Szacowany udział to 5%.*

*M. Woźniewski - wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzenie ostatecznej wersji artykułu. Szacowany udział to 5%.*

*I. Malicka - zaprojektowanie analiz statystycznych i interpretacji wyników, pierwszej wersji rękopisu i jego korekt przed złożeniem do druku, prowadzenie dyskusji, wykonanie krytycznej rewizji treści rękopisu. Szacowany udział to 40%.*

*\*Oświadczenia współautorskie zamieszczono w załączniku nr 7.*

3. Wykaz zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych lub artystycznych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy.

## II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ ALBO ARTYSTYCZNEJ

1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I. 1)

2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych

Po uzyskaniu stopnia doktora:

1. **Dębiec-Bąk Agnieszka**. Badania termowizyjne w programowaniu fizjoterapii. W: *Metody diagnostyczne wykorzystywane w programowaniu fizjoterapii* / red. nauk. Katarzyna Kisiel-Sajewicz. Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, **2021**, s. 31-46

2. Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**. Codzienna aktywność ruchowa : żyj zdrowo i bezpiecznie. W: *Aktywny senior : człowiek spełniony* / Red. nauk. Anna Skrzek. Warszawa : PZWL Wydawnictwo Lekarskie PZWL, **2018**, s. 91-102

3. Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej. Analiza zmienności rozkładu temperatury powierzchniowej ciała w badaniach termowizyjnych. W: *Biomedyczne zastosowania termowizji* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014, s. 87-99

4. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawik Łukasz, Skrzek Anna. Monitorowanie procesu treningowego w badaniach termowizyjnych. W: *Biomedyczne zastosowania termowizji* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, **2014**, s. 171-180
5. Pisula-Lewandowska Agnieszka, Ratajczak Barbara, Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Demidaś Aneta. Monitorowanie terapii z zastosowaniem zróżnicowanych zabiegów fizykalnych. W: *Biomedyczne zastosowania termowizji* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, **2014**, s. 135-145
6. Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawik Łukasz. Termowizyjne monitorowanie efektów krioterapii. W: *Biomedyczne zastosowania termowizji* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, **2014**, s. 125-133
7. Pawik Łukasz, Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**. Zastosowanie termowizji w diagnostyce i monitorowaniu leczenia urazów narządu ruchu. W: *Biomedyczne zastosowania termowizji* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, **2014**, s. 181-191
8. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Badania termowizyjne zmian powierzchniowej temperatury ciała pod wpływem kriostymulacji. W: *Zastosowanie niskich temperatur w biomedycynie* / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, **2012**, s. 103-118

Wykaz zamieszczono w załączniku nr 5.

### 3. Wykaz członkostwa w redakcjach naukowych monografii

### 4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (niewymienionych w pkt I.2)

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

1. Mraz Małgorzata, Nowacka Urszula, Skrzek Anna, Mraz Maciej, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Sidorowska Marta. Stabilność posturalna kobiet i dziewcząt w wieku 8-22 lat w świetle badań posturograficznych. *Fizjoterapia*, **2010** : t. 18, nr 2, s. 35-43
2. Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Gruszka Katarzyna, Socha Małgorzata, Jonak Wiesława. Dynamika zmian temperatury ciała u kobiet pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej : doniesienie wstępne. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna*, **2009** : vol. 15, nr 4, s. 315-318

3. Kielnar Renata, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Oleksy Łukasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Chantsoulis Marzena. Ocena stabilności postawy ciała na podstawie badania przedniego i tylnego marginesu stabilności u osób ze stwardnieniem rozsianym po fizjoterapii. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna*, **2009** : vol.1 5, nr 3, s. 226-229
4. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna, Jonak Anna. Zróznicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna*, **2009** : vol. 15, nr 4, s. 322-327
5. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Skrzek Anna. Jakościowa i ilościowa ocena chodu osób po udarze mózgu. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, **2007** : vol. 13, nr 2, s. 97-100
6. Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pilch Urszula. Rozkład temperatury na powierzchni ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica*, **2007** : vol.13, nr 2, s.141-146
7. Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pilch Urszula. Analiza czynników wpływających na zmienność temperatury ciała w badaniach termograficznych. *Fizjoterapia*, **2007** : t. 15, nr 3, s. 23-33
8. Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pilch Urszula. Zmienność temperatury ciała pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u pacjentów z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa w badaniach termowizyjnych. *Fizjoterapia Polska*, **2007** : vol. 7, nr 3, s. 308-319
9. Skrzek Anna, Jagusz Anna, Rutkowska-Kucharska Alicja, Dziubek Violetta, **Dębiec Agnieszka**. Ocena wpływu ćwiczeń aerobowych na narząd ruchu 15-letnich dziewcząt. *Fizjoterapia*, **2003** : t. 11, nr 2, s. 88-95

*Wykaz zamieszczono w załączniku nr 5.*

Po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Stefańska Małgorzata, De Koker Reninka, De Wachter Eveline, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Ptak Agnieszka. Assessment of the level of physical activity and mood in students after a year of study in a mixed mode in the conditions of restrictions resulting from the pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2023** : vol. 20, nr 5, art. 4311, s. 1-13

2. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata. Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision method. *Physiotherapy Quarterly*, **2023** : vol. 31, nr 2 [w druku]
3. Ptak Agnieszka, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Stefańska Małgorzata. Assessment of viscoelastic parameters of muscles in children aged 4-9 months with minor qualitative impairment of the motor pattern after Vojta therapy implementation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2022** : vol. 19, nr 16, art. 10448, s. 1-9
4. Piotrowska Anna, Czerwińska-Ledwig Olga, Stefańska Małgorzata, Pałka Tomasz, Maciejczyk Marcin, Bujas Przemysław, Bawelski Marek, Ridan Tomasz, Żychowska Małgorzata, Sadowska-Krępa Ewa, **Dębiec-Bąk Agnieszka**. Changes in skin microcirculation resulting from vibration therapy in women with cellulite. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2022** : vol. 19, nr 6, art. 3385, s. 1-14
5. Ptak Agnieszka, Miękczyńska Diana, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Stefańska Małgorzata. The occurrence of the sensory processing disorder in children depending on the type and time of delivery : a pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2022** : vol. 19, nr 11, art. 6893, s. 1-7
6. Ptak Agnieszka, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Stefańska Małgorzata. Thermographic of the microcirculation in healthy children aged 3-10 months as an objective and noninvasive method of assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2022** : vol. 19, nr 23, art. 16072, s. 1-6
7. Traczyk Justyna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna, Stefańska Małgorzata. Assessment of the psychophysical sphere and functional status of women aged 75-90 living alone and in nursing homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2021** : vol. 18, nr 17, art. 9028, s. 1-11
8. Kuligowski Tomasz, Cieślik Błażej, Kuciel Natalia, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Effect of core stabilizing training on young individuals presenting different stages of degenerative disc disease : preliminary report. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **2021** : vol. 18, nr 7, art. 3499, s. 1-9
9. Stefańska Małgorzata, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Widelak Justyna, Palczewska Anna, Skrzek Anna, Dominiak Piotr, Kucharski Wojciech, Kubasiak Katarzyna. Force-

- velocity characteristics of lower extremity muscles in male high-altitude climbers. *Physiotherapy Quarterly*, **2021** : vol. 29, nr 3, s. 92-97
10. Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja. Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries. *Symmetry*, **2021** : vol. 13, nr 9, art. 1586, s. 1-12
11. Kuligowski Tomasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Mobilisation efficacy in young patients with different stages of degenerative disc disease. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, **2020** : vol. 33, nr 6, s. 913-918
12. Skrzek Anna, Ciszek Agnieszka, Nowicka Danuta, **Dębiec-Bąk Agnieszka**. Evaluation of changes in selected skin parameters under the influence of extremely low temperature. *Cryobiology*, **2019** : vol. 86, s. 19-24
13. Kuligowski Tomasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Ocena skuteczności trakcji w zależności od stopnia zaawansowania choroby dyskowej u osób młodych. *Ortopedia, Traumatologia, Rehabilitacja*, **2019** : vol. 21, nr 3, s. 187-195
14. Wójtowicz Dorota, Roshko Julia, Ptak Agnieszka, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. The efficiency of rehabilitation for self-service eating in institutionalized children aged 2-6 years with mental and motor retardation. *Physiotherapy Quarterly*, **2017** : t. 25, nr 2, s. 10-16
15. Chantsoulis Marzena, Sipko Tomasz, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Wołoszyn Daria, Skrzek Anna. Assessment of quality of life after the DIAM<sup>TM</sup> spinal stabilization system. *Journal of Education, Health and Sport*, **2016** : vol. 6, nr 10, s. 279-288
16. Żuk Maciej, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawik Łukasz, Skrzek Anna. Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych. *Journal of Education, Health and Sport*, **2016** : vol. 6, nr 7, s. 236-251
17. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna. Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation. *Human Movement*, **2013** : vol. 14, nr 4, s. 299-304
18. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna, Podbielska Halina. Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body

cryotherapy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **2013** : vol. 111, nr 3, s. 1853-1859

19. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Porównanie rozkładu temperatury powierzchniowej ciała kobiet i mężczyzn za pomocą termowizji. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna*, **2012** : vol.18, nr 1, s.25-30
20. Ratajczak Barbara, Boerner Ewa, Demidaś Aneta, Tomczyk Kinga, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Hawrylak Arletta. Comparison of skin surface temperatures after ultrasounds with use of paraffin oil and ultrasounds with use of gel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **2012** : vol. 109, nr 1, s. 387-393
21. Ptak Anna, Konieczny Grzegorz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Kuciel Natalia. Wpływ kinesiologicznych taśm na zmianę rozkładu temperatury okolicy mięśnia prostego brzucha : doniesienie wstępne. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna*, **2011** : vol.17, nr 3, s.191-193

*Wykaz zamieszczono w załączniku nr 5.*

5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3)
6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych (z zaznaczeniem pozycji niewymienionych w pkt I.3)
7. Wykaz wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, ze wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

Przed uzyskaniem stopnia doktora:

1. Malicka Iwona, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawłowska Katarzyna, Skrzek Anna, Woźniewski Marek. Tytuł oryginału: Analiza temperatury powierzchniowej i obwodów kończyn górnych u kobiet po leczeniu raka piersi : badania pilotażowe. Tytuł równoległy: Analysis of body surface temperature and upper limbs circumference for recording oedema volume in women after breast cancer treatment : pilot research, VII Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Choroby cywilizacyjne – znaczenie fizjoterapii w zapobieganiu i wspomaganie leczenia”, Wrocław 28-30 maja 2010r. - referat w sesji konferencyjnej.
2. Skrzek Anna, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Jonak Anna. Tytuł oryginału: Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych. Tytuł równoległy: Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research, I Międzynarodowy Kongres Polskiego

Towarzystwa Rehabilitacji i Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii "Rehabilitacja polska", Warszawa 10-13 września 2009r. - wystąpienie w sesji plakatowej.

3. Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pilch Urszula. Tytuł oryginału: Analiza czynników wpływających na zmienność temperatury ciała w badaniach termograficznych, VI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Starzenie się człowieka - nowe wyzwania i potrzeby rehabilitacji” Wrocław, 1-2 czerwca 2007r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
4. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Jakościowa i ilościowa ocena chodu osób po udarze mózgu. VI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Starzenie się człowieka - nowe wyzwania i potrzeby rehabilitacji”, Wrocław 1-2 czerwca 2007r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
5. Skrzek Anna, Jagusz Anna, Rutkowska-Kucharska Alicja, Dziubek Violetta, Dębiec Agnieszka. Tytuł oryginału: Ocena wpływu ćwiczeń aerobowych na narząd ruchu 15-letnich dziewcząt. IV Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Obiektywne metody procesu fizjoterapii", Wrocław 23-24 maja 2003 r. - wystąpienie w sesji plakatowej.

Po uzyskaniu stopnia doktora:

1. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata. Tytuł oryginału: Analiza mikrokrążenia powierzchniowego stóp u pacjentów z cukrzycą typu II w badaniach termowizyjnych. Tytuł równoległy: Analysis of the surface microcirculation of feet in patients with type II diabetes in thermal imaging studies. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław 26-28 maja 2022r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
2. Ptak Agnieszka, Stefańska Małgorzata, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, De Koker Reninka, Vos Jeroen, De Wachter Eveline. Tytuł oryginału: Ocena aktywności fizycznej po roku nauki mieszanej prowadzonej w warunkach ograniczeń spowodowanych COVID-19. Tytuł równoległy: Assessment of physical activity after a year of mixed learning conducted in conditions of restrictions caused by COVID-19. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław 26-28 maja 2022r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
3. Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, De Koker Reninka, Vos Jeroen, De Wachter Eveline. Tytuł oryginału: Ocena dobrostanu psychicznego studentów po roku nauki prowadzonej w warunkach ograniczeń spowodowanych

- COVID-19. Tytuł równoległy: Assessment of the mental well-being of students after one year of education conducted in conditions of limitations caused by COVID-19. XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław 26-28 maja 2022r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
4. Wdowiak Przemysław, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, Karska Karolina, Słowińska-Karska Katarzyna, Śliwiński Zbigniew. Tytuł oryginału: Analiza dynamiki zmian w mikrokrażeniu wybranych obszarów ciała po stymulacji metodą Vojty dzieci w wieku 3-10 miesiąca. Tytuł równoległy: Analysis of the dynamics of changes in the microcirculation of selected areas in the human body after stimulation by the Vojta method in children aged 3-10 months. XIV międzynarodowe Dni Rehabilitacji „Potrzeby i standardy współczesnej rehabilitacji”, Rzeszów 24-25 lutego 2022r.- referat w sesji konferencyjnej.
  5. Wdowiak Przemysław, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, Karska Karolina, Słowińska-Karska Katarzyna, Śliwiński Zbigniew. Tytuł oryginału: Ocena parametrów spirometrycznych u dzieci ze skoliozą idiopatyczną leczonych metodą FED. XV Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii : perspektywy rozwoju fizjoterapii : II Konferencja Polskiego Stowarzyszenia Specjalistów Fizjoterapii, IV Konferencja PTF Młodych Naukowców. Pabianice 19-21 maja 2022r. - referat w sesji konferencyjnej.
  6. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna, Podbielska Halina, Golubnitschaja Olga, Stefańska Małgorzata. Tytuł oryginału: Analysis of superficial temperature distribution changes after physical activity in school children for personalization of general fitness exercises. EPMA World Congress 2021 „Faculty of Fundamental Problems of Technology, Department of Biomedical Engineering ,Wrocław University of Science and Technology, Wrocław 20-23 września 2021r. – referat w sesji konferencyjnej.
  7. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Kuligowski Tomasz, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: The analysis of thermoregulatory processes in girls and boys in thermal imaging tests. 14th Quantitative InfraRed Thermography Conference, „Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung; Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung. Berlin 25-29 June 2018r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
  8. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawik Łukasz, Wójtowicz Dorota, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry



- Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, Budapest 6-9 June 2017r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
9. Pawik Łukasz, **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Thermal imaging analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in male and female footballers after interval training. 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, Budapest 6-9 June 2017r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
  10. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Tomczyk Ewa, Tomczyk Anna, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Analiza sprawności procesów termoregulacyjnych u dzieci w wieku wczesnoszkolnym po treningu ogólnousprawniającym w badaniach termowizyjnych. Tytuł równoległy: Analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in early school children after general-rehabilitation in thermal imaging. X Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Jakość i styl życia w świetle nowoczesnej rehabilitacji", Wrocław 23-25 listopada 2017r. - wystąpienie w sesji plakatowej.
  11. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Analiza zmian temperatury ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w zależności od wieku. III Siechnicka Jesień Naukowa - konferencja naukowo-szkoleniowa. Siechnice k. Wrocławia 8-10 listopada 2013r.- referat w sesji konferencyjnej.
  12. **Dębiec-Bąk Agnieszka**, Pawik Łukasz, Jedynak Daniel, Skrzek Anna. Tytuł oryginału: Termowizyjna ocena zmian temperatury powierzchniowej ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej u piłkarzy nożnych. Tytuł równoległy: Thermal imager to assess changes in the surface temperature of the body systemic cryo stimulation of football players. VIII Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Fizjoterapia, terapia zajęciowa, kosmetologia - razem czy osobno?" , Wrocław 7-8 czerwca 2013r. - wystąpienie w sesji plakatowej.

*Wykaz zamieszczono w załączniku nr 5.*

## **8. Wykaz udziału w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji.**

### Przed uzyskaniem stopnia doktora:

Członek Komitetu Organizacyjnego, VII Międzynarodowych Dni Fizjoterapii „Choroby cywilizacyjne - znaczenie fizjoterapii w zapobieganiu i wspomaganie leczenia”, Wrocław, 28-30 maja 2010r.

### Po uzyskaniu stopnia doktora:

Członek Komitetu Organizacyjnego Konferencji „Krajowe Ramy Kwalifikacji- nowe wyzwania dla kształcenia fizjoterapeutów”, Wrocław, 28.10.2011r.

Członek Komitetu Organizacyjnego, VIII Międzynarodowych Dni Fizjoterapii, „Fizjoterapia, terapia zajęciowa, kosmetologia – razem czy osobno?” Wrocław, 7-8 czerwca 2013r.

Członek Komitetu Organizacyjnego, IX Międzynarodowych Dni Fizjoterapii, „Postępy w rehabilitacji – od badań naukowych do praktyki klinicznej”, Wrocław, 12-13 czerwca 2015r.

Członek Komitetu Organizacyjnego, I Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 29 maja 2015r.

Członek Komitetu Organizacyjnego, II Kongresu Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 21 kwietnia 2017r.

Członek Komitetu Organizacyjnego, X Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Jakość i styl życia w świetle nowoczesnej rehabilitacji" ,Wrocław, 23-25 listopada 2017r.

**Przewodnicząca** Komitetu Organizacyjnego, III Kongres Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 16 maja 2019r.

Członek Komitetu Naukowego, III Kongres Polskiego Towarzystwa Krioterapii, Wrocław, 16 maja 2019r.

## **9. Wykaz uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów**

### Projekty zrealizowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

Uczestnictwo, jako wykonawca, w pracach zespołu badawczego realizującego temat statutowy Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu „Zmienność parametrów prędkościowo-siłowych mięśni pod wpływem różnych form aktywności fizycznej i bodźców fizykalnych w badaniach izokinetycznych”, kierowanego od 2003 roku przez prof. dr hab. Annę Skrzek.

Uczestnictwo, jako wykonawca, w pracach zespołu badawczego realizującego temat statutowy Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu „Wykorzystanie temperatur kriogenicznych w fizjoterapii”, kierowanego od 2004 roku przez prof. dr hab. Annę Skrzek.

### Projekty przygotowanie i wysłane po uzyskaniu stopnia doktora:

Uczestnictwo, jako jeden z głównych członków zespołu badawczego, w przygotowaniu wniosku o dofinansowanie projektu w ramach Programu Badań Stosowanych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). Tytuł projektu „Opracowanie nowej, innowacyjnej, biologicznej metody leczenia zaburzeń nastroju oraz deficytów kognitywnych z zastosowaniem krioterapii ogólnoustrojowej”, na kwotę 5 735 498,00 zł. Wnioskodawcy:

- Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu – LIDER
- Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Fizjoterapii
- Creator Sp. z o.o. z siedzibą we Wrocławiu

Zgłoszony do NCBiR pod numerem ID: 243979 – stan z dnia 2014-01-16. Projekt nie uzyskał finansowania.

## **10. Wykaz członkostwa w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.**

Od 2010 r. do chwili obecnej Członek Polskiego Towarzystwa Gerontologicznego

Od 2016 r. do chwili obecnej Członek Polskiego Towarzystwa Krioterapii

**11. Wykaz staży w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.**Po uzyskaniu stopnia doktora.

1. Staż naukowo-dydaktyczny w Akademii Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, na Wydziale Rehabilitacji Ruchowej od 25.11.2019 r. do 08.12.2019 r. pod opieką dr hab. Agnieszki Suder. Staż obejmował pogłębienie wiedzy z obszarów związanych z diagnostyką funkcjonalną w dysfunkcjach narządu ruchu. W oparciu o odbyty staż opublikowano prace:

Stefańska M, **Dębiec-Bąk A**, Widelak J, Palczewska A, Skrzek A, Dominiak P, Kucharski W, Kubasiak K. Force-velocity characteristics of lower extremity muscles in male high-altitude climbers. *Physiotherapy Quarterly*, 2021, 29, 3, s. 92-97

Piotrowska A, Czerwińska- Ledwig O, Stefańska M, Pałka T, Maciejczyk M, Bujas P, Bawelski M, Ridan T, Żychowska M, Sadowska-Krępa E, **Dębiec-Bąk A**. Changes in skin microcirculation resulting from vibration therapy in women with cellulite. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022,19, 6, s. 1-14

2. Staż naukowo-dydaktyczny zrealizowany na Politechnice Wrocławskiej w Katedrze Inżynierii Biomedycznej od 01.06.2020 r. do 30.06.2020 r. pod opieką prof. dr hab. inż. lek. Haliny Podbielskiej. Staż obejmował zagadnienia współczesnej diagnostyki obrazowej w zakresie optyki biomedycznej, w tym badań termowizyjnych. Efektem zrealizowanego stażu były badania na temat zastosowania termowizji do oceny wpływu ćwiczeń usprawniających u dzieci i młodzieży zakończone wspólną publikacją naukową oraz prezentacja badań na konferencji EPMA World Congress 20-23.09.2021 r.

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. Analysis of superficial temperature distribution changes after physical activity in school children for personalization of general fitness exercises. EPMA World Congress 2021, Faculty of Fundamental Problems of Technology, Department of Biomedical Engineering ,Wrocław University of Science and Technology 20-23 wrzesień 2021r.

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. (2021). Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are

indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. EPMA Journal, 12(4),435-447, doi:10.1007/s13167-021-00262-1

3. Staż naukowy w Státní Léčebné Lázně Janské Lázně, w Republice Czeskiej od 06.09.2021r. do 24.09.2021r. pod opieką dr Ivany Uiberlayov, obejmujący pogłębienie wiedzy z obszarów związanych z diagnostyką funkcjonalną w dysfunkcjach narządu ruchu, chorób wewnętrznych.

Efektem zrealizowanego stażu były badania na temat zastosowania termowizji do oceny powierzchniowej temperatury stóp u pacjentów z cukrzycą typu II, zaprezentowane na:

Międzynarodowej Konferencji : XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii: „Od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia”, Wrocław, 26-28 maja 2022r., a także zakończone wspólną publikacją naukową,

**Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Ptak A, Majerski K , Uiberlayová I , Stefańska M. Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision metod. *Physiother Quart.* 2023;31(2), doi:10.5114/pq.2024.125293

4. Staż naukowy w Universidad Politécnica de Madrid, Spain, Departamento de Deportes od dnia 19.09.2022. do 02.10.2022. pod opieką dr. Manuela Sillero-Quintana. W ramach stażu przeprowadzono warsztaty szkoleniowe z analiz wyników badań termowizyjnych z zastosowanie oprogramowania ThermoHuma<sup>n</sup>® software version 2.12 (PEMA THERMO GROUP S.L., Madrid, Spain). Sporządzono także wspólny protokół oceny termowizyjnej dzieci, który w ramach badań dwuśrodkowych będzie wykorzystany do oceny zmian temperatury powierzchniowej ciała dzieci od 0-12 miesięcy (badania w toku).

*Oświadczenie zamieszczono w załączniku nr 8.*

**12. Wykaz członkostwa w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.)**

**13. Wykaz recenzowanych prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych**

**14. Wykaz uczestnictwa w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych**

**15. Wykaz udziału w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9**

**16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny**

### III. WSPÓLPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

#### 1. Wykaz dorobku technologicznego

#### 2. Współpraca z sektorem społecznym i gospodarczym

##### Po uzyskaniu stopnia doktora

Współpraca z Fundacją Moc Pomocy (2022r. - obecnie) w zakresie analizy i opracowania wyników badań z zastosowaniem metody termowizyjnej do oceny mikrokrążenia w obszarach kikutów, prowadzonych dla beneficjentów fundacji, osób po amputacjach. W ramach współpracy realizacja zajęć dydaktycznych w zakresie przedmiotu Protetyka i ortotyka, z możliwością prezentowania najnowszych osiągnięć techniki zaopatrzenia ortopedycznego.

*Oświadczenie zamieszczono w załączniku nr 8.*

#### 3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych

#### 4. Wykaz wdrożonych technologii

#### 5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówieni instytucji publicznych lub przedsiębiorców

##### Po uzyskaniu stopnia doktora

Sporządzenie oceny klinicznej zastosowania skrajnie niskich temperatur w rehabilitacji pacjenta, a także oceny poklinicznej zastosowania kriostymulacji oraz krioterapii ogólnoustrojowej w długofalowej rehabilitacji pacjenta. Ocenę sporządziłam na potrzebę audytu TÜV NORD – 16-17.05.22r., zgodnie z załącznikiem do rozporządzenia MZ z dnia 10 marca 2011 w sprawie szczegółowych warunków, jakim powinna odpowiadać ocena kliniczna wyrobów medycznych (Dz. U. 2011, nr 63, poz. 331) dla CREATOR SP. Z O.O. ul. Lotnicza 37, 54-154 Wrocław, Polska.

*Oświadczenie zamieszczono w załączniku nr 8.*

#### 6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych

#### 7. Wykaz projektów artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi

**IV. DANE NAUKOMETRYCZNE****1. Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny)**

Po uzyskaniu stopnia doktora:

**Sumaryczny IF = 63.842**

**2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań**

Liczba cytowań: 54 (Web of Science), 94 (Author Search)

bez autocytowań: 47 (Web of Science), 74 (Author Search)

**3. Indeks Hirscha**

5 (Web of Science), 5 (Author Search)

**4. Liczba punktów MNiSW (po uzyskaniu stopnia doktora): 1897**

*Informacje zawarte w pkt.IV powinny wskazywać również na bazę danych, na podstawie której zostały podane. Przy wyborze tej bazy należy zwracać uwagę na specyfikę dziedziny i dyscypliny naukowej, w której kandydat ubiega się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Rada Doskonałości Naukowej informuje, że podawanie danych naukometrycznych – w opinii Rady Doskonałości Naukowej – jest wskazane i zalecane, wynika to także ze stosowanej powszechnie praktyki przez samych kandydatów ubiegających się o awans naukowy. Należy jednak podkreślić, że podane we wnioskach o wszczęcie postępowania awansowego dane naukometryczne nie mogą stanowić kryterium oceny dorobku naukowego Kandydata dla podmiotów doktoryzujących, habilitujących oraz samej Rady Doskonałości Naukowej, organów prowadzących postępowania w sprawie nadania stopnia lub tytułu. Zadaniem tych organów jest przede wszystkim ocena ekspercka dorobku naukowego Kandydata ubiegającego się o awans naukowy, zaś decyzja o nadaniu stopnia lub tytułu nie powinna być uzależniona od podania tych danych.*



PODPIS ZAUFANY  
AGNIESZKA SULTANA  
DĘBIEC-BAK  
29.04.2023 21:37:24 [GMT+2]  
Dokument podpisany elektronicznie  
podpisem zaufanym

(podpis wnioskodawcy)

**INFORMACJA NAUKOMETRYCZNA – POSTĘPOWANIE HABILITACYJNE**  
Informacje dotyczące całego dorobku naukowego

**dr Agnieszka Dębiec-Bąk**

	Liczba punktów za artykuły w czasopismach naukowych zgodnie z wykazami MEiN/MNiSW/KBN		Liczba punktów za monografie i rozdziały naukowe oraz redaktorstwa monografii naukowych zgodnie z wytycznymi MEiN/MNiSW/KBN	
	do roku 2019	od roku 2019	do roku 2017	od roku 2017
Przed uzyskaniem stopnia doktora	51	-	-	-
Po uzyskaniu stopnia doktora	118	1 710	40	29
Suma	<b>169</b>	<b>1 710</b>	<b>40</b>	<b>29</b>

Wartość wskaźnika Impact Factor	
Przed uzyskaniem stopnia doktora	-
Po uzyskaniu stopnia doktora	63.842
Suma	<b>63.842</b>

Liczba cytowań	Author Search	Cited Reference Search
ogółem	<b>54</b>	<b>94</b>
bez autocytowań	47	74
autocytowania	7	20
<b>Indeks Hirscha</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Informacje wykazane w tabeli opracowano na podstawie bazy Web of Science Core Collection.  
Liczba cytowań podana została dwoma metodami: Author Search oraz Cited Reference Search.



Załączone wykazy:

Przed uzyskaniem stopnia doktora oraz po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2b Ustawy).
2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

Ośrodek Informacji Naukowej  
AWF Wrocław

18.04.2023 *Olga M. K...*

**dr Agnieszka Dębiec-Bąk**

Wykaz publikacji punktowanych po uzyskaniu stopnia doktora

L.p.	Wykaz powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego	Punkty MEiN/MNiSW/KBN	IF
1	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna, Podbielska Halina, Golubnitschaja Olga, Stefańska Małgorzata. Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention <i>EPMA Journal</i> , <b>2021</b> : vol. 12, nr 4, s. 435-447	100	8.836
2	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Kuligowski Tomasz, Skrzek Anna. Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , <b>2020</b> : vol. 140, s. 243-251	100	4.626
3	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pawik Łukasz, Skrzek Anna. Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , <b>2016</b> : vol. 126, nr 3, s. 1633-1644	25	1.953
4	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, Ptak Agnieszka, Skrzek Anna. Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , <b>2019</b> : vol. 135, nr 4, s. 2399-2410	100	2.731
5	Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Woźniewski Marek, Malicka Iwona. Using thermography in the diagnostics of lymphedema : pilot study <i>Lymphatic Research and Biology</i> , 2020 : vol. 18, nr 3, s. 247-253	70	2.589
<b>Wykaz artykułów w czasopismach naukowych</b>			
6	Stefańska Małgorzata, De Koker Reninka, De Wachter Eveline, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Ptak Agnieszka. Assessment of the level of physical activity and mood in students after a year of study in a mixed mode in the conditions of restrictions resulting from the pandemic <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2023</b> : vol. 20, nr 5, art. 4311, s. 1-13	140	4.614 (2021)
7	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata. Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision method <i>Physiotherapy Quarterly</i> , <b>2023</b> : vol. 31, nr 2 [w druku]	[70]	-

8	Ptak Agnieszka, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Stefańska Małgorzata. Assessment of viscoelastic parameters of muscles in children aged 4-9 months with minor qualitative impairment of the motor pattern after Vojta therapy implementation <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2022</b> : vol. 19, nr 16, art. 10448, s. 1-9	140	4.614 (2021)
9	Piotrowska Anna, Czerwińska-Ledwig Olga, Stefańska Małgorzata, Pałka Tomasz, Maciejczyk Marcin, Bujas Przemysław, Bawelski Marek, Ridan Tomasz, Żychowska Małgorzata, Sadowska-Krępa Ewa, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> . Changes in skin microcirculation resulting from vibration therapy in women with cellulite <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2022</b> : vol. 19, nr 6, art. 3385, s. 1-14	140	4.614 (2021)
10	Ptak Agnieszka, Miękczyńska Diana, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Stefańska Małgorzata. The occurrence of the sensory processing disorder in children depending on the type and time of delivery : a pilot study <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2022</b> : vol. 19, nr 11, art. 6893, s. 1-7	140	4.614 (2021)
11	Ptak Agnieszka, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Stefańska Małgorzata. Thermographic of the microcirculation in healthy children aged 3-10 months as an objective and noninvasive method of assessment <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2022</b> : vol. 19, nr 23, art. 16072, s. 1-6	140	4.614 (2021)
12	Traczyk Justyna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna, Stefańska Małgorzata. Assessment of the psychophysical sphere and functional status of women aged 75-90 living alone and in nursing homes <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2021</b> : vol. 18, nr 17, art. 9028, s. 1-11	140	4.614
13	Kuligowski Tomasz, Cieślak Błażej, Kuciel Natalia, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna. Effect of core stabilizing training on young individuals presenting different stages of degenerative disc disease : preliminary report <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , <b>2021</b> : vol. 18, nr 7, art. 3499, s. 1-9	140	4.614
14	Stefańska Małgorzata, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Widelak Justyna, Palczewska Anna, Skrzek Anna, Dominiak Piotr, Kucharski Wojciech, Kubasiak Katarzyna. Force-velocity characteristics of lower extremity muscles in male high-altitude climbers <i>Physiotherapy Quarterly</i> , <b>2021</b> : vol. 29, nr 3, s. 92-97	70	-

15	Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja. Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries <i>Symmetry</i> , <b>2021</b> : vol. 13, nr 9, art. 1586, s. 1-12	70	2.940
16	Kuligowski Tomasz, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna. Mobilisation efficacy in young patients with different stages of degenerative disc disease <i>Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation</i> , <b>2020</b> : vol. 33, nr 6, s. 913-918	40	1.398
17	Skrzek Anna, Ciszek Agnieszka, Nowicka Danuta, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> . Evaluation of changes in selected skin parameters under the influence of extremely low temperature <i>Cryobiology</i> , <b>2019</b> : vol. 86, s. 19-24	70	2.283
18	Kuligowski Tomasz, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna. Ocena skuteczności trakcji w zależności od stopnia zaawansowania choroby dyskowej u osób młodych <i>Ortopedia, Traumatologia, Rehabilitacja</i> , <b>2019</b> : vol. 21, nr 3, s. 187-195	40	-
19	Wójtowicz Dorota, Roshko Julia, Ptak Agnieszka, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna. The efficiency of rehabilitation for self-service eating in institutionalized children aged 2-6 years with mental and motor retardation <i>Physiotherapy Quarterly</i> , <b>2017</b> : t. 25, nr 2, s. 10-16	7	-
20	Chantsoulis Marzena, Sipko Tomasz, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Wołoszyn Daria, Skrzek Anna. Assessment of quality of life after the DIAM™ spinal stabilization system <i>Journal of Education, Health and Sport</i> , <b>2016</b> : vol. 6, nr 10, s. 279-288	7	-
21	Zuk Maciej, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pawik Łukasz, Skrzek Anna. Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych <i>Journal of Education, Health and Sport</i> , <b>2016</b> : vol. 6, nr 7, s. 236-251	7	-
22	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna. Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation <i>Human Movement</i> , <b>2013</b> : vol. 14, nr 4, s. 299-304	14	-
23	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna, Podbielska Halina. Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , <b>2013</b> : vol. 111, nr 3, s. 1853-1859	25	2.206

24	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna. Porównanie rozkładu temperatury powierzchniowej ciała kobiet i mężczyzn za pomocą termowizji <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2012 : vol.18, nr 1, s.25-30	4	-
25	Ratajczak Barbara, Boerner Ewa, Demidaś Aneta, Tomczyk Kinga, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Hawrylak Arletta. Comparison of skin surface temperatures after ultrasounds with use of paraffin oil and ultrasounds with use of gel <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> , 2012 : vol. 109, nr 1, s. 387-393	25	1.982
26	Ptak Anna, Konieczny Grzegorz, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Kuciel Natalia. Wpływ kinesiologii taping na zmianę rozkładu temperatury okolicy mięśnia prostego brzucha : doniesienie wstępne <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2011 : vol.17, nr 3, s.191-193	4	-
	Suma	<b>1 828</b>	<b>63.842</b>

L.p.	Wykaz rozdziałów w monografiach	Punkty MEiN/ MNiSW/ KBN
1	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> . Badania termowizyjne w programowaniu fizjoterapii W: <i>Metody diagnostyczne wykorzystywane w programowaniu fizjoterapii</i> / red. nauk. Katarzyna Kisiel-Sajewicz Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2021, s. 31-46	20
2	Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> . Codzienna aktywność ruchowa : żyj zdrowo i bezpiecznie W: <i>Aktywny senior : człowiek spełniony</i> / Red. nauk. Anna Skrzek Warszawa : PZWL Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2018, s. 91-102	20
3	Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej. Analiza zmienności rozkładu temperatury powierzchniowej ciała w badaniach termowizyjnych W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014, s. 87-99	5
4	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pawik Łukasz, Skrzek Anna. Monitorowanie procesu treningowego w badaniach termowizyjnych W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014, s. 171-180	5

5	<p>Pisula-Lewandowska Agnieszka, Ratajczak Barbara, Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b>, Demidaś Aneta.  Monitorowanie terapii z zastosowaniem zróżnicowanych zabiegów fizykalnych  W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red.Halina Podbielska, Anna Skrzek  Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, <b>2014</b>, s. 135-145</p>	5
6	<p>Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b>, Pawik Łukasz.  Termowizyjne monitorowanie efektów krioterapii  W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red.Halina Podbielska, Anna Skrzek  Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, <b>2014</b>, s. 125-133</p>	5
7	<p>Pawik Łukasz, Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b>.  Zastosowanie termowizji w diagnostyce i monitorowaniu leczenia urazów narządu ruchu  W: <i>Biomedyczne zastosowania termowizji</i> / red.Halina Podbielska, Anna Skrzek  Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, <b>2014</b>, s. 181-191</p>	5
8	<p><b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b>, Skrzek Anna.  Badania termowizyjne zmian powierzchniowej temperatury ciała pod wpływem kriostymulacji  W: <i>Zastosowanie niskich temperatur w biomedycynie</i> / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, <b>2012</b>, s. 103-118</p>	4
	Suma	<b>69</b>

Ośrodek Informacji Naukowej  
AWF Wrocław

18.04.2023 Olga Slińska

**dr Agnieszka Dębiec-Bąk**

Wykaz publikacji punktowanych przed uzyskaniu stopnia doktora

L.p.	Wykaz artykułów w czasopismach naukowych	Punkty MEiN/ MNiSW/ KBN
1	Mraz Małgorzata, Nowacka Urszula, Skrzek Anna, Mraz Maciej, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Sidorowska Marta. Stabilność posturalna kobiet i dziewcząt w wieku 8-22 lat w świetle badań posturograficznych <i>Fizjoterapia</i> , 2010 : t. 18, nr 2, s. 35-43	6
2	Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Gruszka Katarzyna, Socha Małgorzata, Jonak Wiesława. Dynamika zmian temperatury ciała u kobiet pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej : doniesienie wstępne <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2009 : vol. 15, nr 4, s. 315-318	6
3	Kielnar Renata, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Oleksy Łukasz, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Chantsoulis Marzena. Ocena stabilności postawy ciała na podstawie badania przedniego i tylnego marginesu stabilności u osób ze stwardnieniem rozsianym po fizjoterapii <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2009 : vol.1 5, nr 3, s. 226-229	6
4	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Skrzek Anna, Jonak Anna. Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna</i> , 2009 : vol. 15, nr 4, s. 322-327	6
5	<b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Skrzek Anna. Jakościowa i ilościowa ocena chodu osób po udarze mózgu <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica</i> , 2007 : vol. 13, nr 2, s. 97-100	6
6	Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pilch Urszula. Rozkład temperatury na powierzchni ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych <i>Acta Bio-Optica et Informatica Medica</i> , 2007 : vol.13, nr 2, s.141-146,	6
7	Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pilch Urszula. Analiza czynników wpływających na zmienność temperatury ciała w badaniach termograficznych <i>Fizjoterapia</i> , 2007 : t. 15, nr 3, s. 23-33	6
8	Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, <b>Dębiec-Bąk Agnieszka</b> , Pilch Urszula. Zmienność temperatury ciała pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u pacjentów z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa w badaniach termowizyjnych <i>Fizjoterapia Polska</i> , 2007 : vol. 7, nr 3, s. 308-319	6

9	Skrzek Anna, Jagusz Anna, Rutkowska-Kucharska Alicja, Dziubek Violetta, <b>Dębiec Agnieszka</b> . Ocena wpływu ćwiczeń aerobowych na narząd ruchu 15-letnich dziewcząt <i>Fizjoterapia</i> , 2003 : t. 11, nr 2, s. 88-95	3
	Suma	<b>51</b>

Ośrodek Informacji Naukowej  
AWF Wrocław

18.04.2023 *Olga Sertus*





# Baza Publikacji Pracowników Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu od r. 2002

Zapytanie: DĘBIEC-BAK AGNIESZKA

1

**Autorzy:** Stefańska Małgorzata, De Koker Reninka, De Wachter Eveline, Dębiec-Bąk Agnieszka, Ptak Agnieszka.

**Tytuł oryginału:** Assessment of the level of physical activity and mood in students after a year of study in a mixed mode in the conditions of restrictions resulting from the pandemic

**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health

**Szczegóły:** 2023 : vol. 20, nr 5, art. 4311, s. 1-13, tab., bibliogr. 67 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 4.614

**Punktacja MEiN:** 140.000

**Data wprowadzenia:** 2023/02

2

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata.

**Tytuł oryginału:** Evaluation of the surface temperature distribution of the feet in patients with type 2 diabetes using the thermovision method

**Czasopismo:** Physiotherapy Quarterly

**Szczegóły:** 2023 : vol. 31, nr 2, ryc., tab., bibliogr. 25 poz.

**Adnotacje:** Na dzień 07.03.2023 punktacja MEiN=70 pkt.

**Charakt. formalna:** artykuł w druku z nadanym identyfikatorem dokumentu elektronicznego

**Data wprowadzenia:** 2023/03

3

**Autorzy:** Ptak Agnieszka, Dębiec-Bąk Agnieszka, Stefańska Małgorzata.

**Tytuł oryginału:** Assessment of viscoelastic parameters of muscles in children aged 4-9 months with minor qualitative impairment of the motor pattern after Vojta therapy implementation

**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health

**Szczegóły:** 2022 : vol. 19, nr 16, art. 10448, s. 1-9, ryc., tab., bibliogr. 39 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 4.614

**Punktacja MEiN:** 140.000

**Data wprowadzenia:** 2022/08

4

**Autorzy:** Piotrowska Anna, Czerwińska-Ledwig Olga, Stefańska Małgorzata, Pałka Tomasz, Maciejczyk Marcin, Bujas Przemysław, Bawelski Marek, Ridan Tomasz, Żychowska Małgorzata, Sadowska-Krępa Ewa, Dębiec-Bąk Agnieszka.

**Tytuł oryginału:** Changes in skin microcirculation resulting from vibration therapy in women with cellulite

**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health

**Szczegóły:** 2022 : vol. 19, nr 6, art. 3385, s. 1-14, ryc., tab., bibliogr. 39 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 4.614

**Punktacja MEiN:** 140.000

**Data wprowadzenia:** 2022/03

5

**Autorzy:** Ptak Agnieszka, Mięczyńska Diana, Dębiec-Bąk Agnieszka, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginału:** The occurrence of the sensory processing disorder in children depending on the type and time of delivery : a pilot study  
**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health  
**Szczegóły:** 2022 : vol. 19, nr 11, art. 6893, s. 1-7, tab., bibliogr 27 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 4.614  
**Punktacja MEiN:** 140.000  
**Data wprowadzenia:** 2022/06

6

**Autorzy:** Ptak Agnieszka, Dębiec-Bąk Agnieszka, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginału:** Thermographic of the microcirculation in healthy children aged 3-10 months as an objective and noninvasive method of assessment  
**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health  
**Szczegóły:** 2022 : vol. 19, nr 23, art. 16072, s. 1-6, ryc., tab., bibliogr. 28 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 4.614  
**Punktacja MEiN:** 140.000  
**Data wprowadzenia:** 2022/12

7

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Ptak Agnieszka, Majerski Krzysztof, Uiberlayova Ivana, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginału:** Analiza mikrokrążenia powierzchniowego stóp u pacjentów z cukrzycą typu II w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Analysis of the surface microcirculation of feet in patients with type II diabetes in thermal imaging studies  
**Tytuł całości:** W: XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław : streszczenia  
**Adres wydawniczy:** [Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2022]  
**Opis fizyczny:** s. 72-74  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2022/07

8

**Autorzy:** Ptak Agnieszka, Stefańska Małgorzata, Dębiec-Bąk Agnieszka, De Koker Reninka, Vos Jeroen, De Wachter Eveline.  
**Tytuł oryginału:** Ocena aktywności fizycznej po roku nauki mieszanej prowadzonej w warunkach ograniczeń spowodowanych COVID-19  
**Tytuł równoległy:** Assessment of physical activity after a year of mixed learning conducted in conditions of restrictions caused by COVID-19  
**Tytuł całości:** W: XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław : streszczenia  
**Adres wydawniczy:** [Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2022]  
**Opis fizyczny:** s. 71-72  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2022/07

9

**Autorzy:** Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, Dębiec-Bąk Agnieszka, De Koker Reninka, Vos Jeroen, De Wachter Eveline.  
**Tytuł oryginalny:** Ocena dobrostanu psychicznego studentów po roku nauki prowadzonej w warunkach ograniczeń spowodowanych COVID-19  
**Tytuł równoległy:** Assessment of the mental well-being of students after one year of education conducted in conditions of limitations caused by COVID-19  
**Tytuł całości:** W: XI Międzynarodowe Dni Fizjoterapii : od juniora do seniora - fizjoterapia łączy pokolenia, 26-28 maja 2022, Wrocław : streszczenia  
**Adres wydawniczy:** [Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2022]  
**Opis fizyczny:** s. 69-71  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2022/07

10

**Autorzy:** Wdowiak Przemysław, Dębiec-Bąk Agnieszka, Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, Karska Karolina, Słowińska-Karska Katarzyna, Śliwiński Zbigniew.  
**Tytuł oryginalny:** Ocena parametrów spirometrycznych u dzieci ze skoliozą idiopatyczną leczonych metodą FED  
**Tytuł całości:** W: XV Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Fizjoterapii : perspektywy rozwoju fizjoterapii : II Konferencja Polskiego Stowarzyszenia Specjalistów Fizjoterapii : IV Konferencja PTF Młodych Naukowców  
**Adres wydawniczy:** Pabianice, 2022  
**Opis fizyczny:** s. 33  
**Konferencja/zjazd - tytuł:** Polskie Towarzystwo Fizjoterapii  
**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Pabianice : 19-21 maja 2022  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2022/07

11

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Podbielska Halina, Golubnitschaja Olga, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginalny:** Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention  
**Czasopismo:** EPMA Journal  
**Szczegóły:** 2021 : vol. 12, nr 4, s. 435-447, ryc., tab., bibliogr. 63 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 8.836  
**Punktacja MEiN:** 100.000

12

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Podbielska Halina, Golubnitschaja Olga, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginalny:** Analysis of superficial temperature distribution changes after physical activity in school children for personalization of general fitness exercises  
**Tytuł całości:** W: EPMA World Congress 2021  
**Opis fizyczny:** s. 49 : bibliogr. 7 poz.  
**Konferencja/zjazd - tytuł:** Faculty of Fundamental Problems of Technology, Department of Biomedical Engineering, Wrocław University of Science and Technology  
**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Wrocław, Polska : 20-23 wrzesień 2021  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2021/10

13

**Autorzy:** Traczyk Justyna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Stefańska Małgorzata.  
**Tytuł oryginalny:** Assessment of the psychophysical sphere and functional status of women aged 75-90 living alone and in nursing homes  
**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health  
**Szczegóły:** 2021 : vol. 18, nr 17, art. 9028, s. 1-11, ryc., tab., bibliogr. 51 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 4.614  
**Punktacja MEiN:** 140.000  
**Data wprowadzenia:** 2021/08

14

**Autorzy:** Kuligowski Tomasz, Cieślak Błażej, Kuciel Natalia, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Effect of core stabilizing training on young individuals presenting different stages of degenerative disc disease : preliminary report  
**Czasopismo:** International Journal of Environmental Research and Public Health  
**Szczegóły:** 2021 : vol. 18, nr 7, art. 3499, s. 1-9, ryc., tab., bibliogr. 36 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 4.614  
**Punktacja MEiN:** 140.000  
**Data wprowadzenia:** 2021/03

15

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka.  
**Tytuł oryginalny:** Badania termowizyjne w programowaniu fizjoterapii  
**Tytuł całości:** W: Metody diagnostyczne wykorzystywane w programowaniu fizjoterapii / red. nauk. Katarzyna Kisiel-Sajewicz  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2021  
**Opis fizyczny:** s. 31-46 : bibliogr. [46] poz.  
**Seria:** Studia i Monografie Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu ; nr 140 ; 0239-6009  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 20.000  
**Data wprowadzenia:** 2022/01

16

**Autorzy:** Stefańska Małgorzata, Dębiec-Bąk Agnieszka, Widelak Justyna, Palczewska Anna, Skrzek Anna, Dominiak Piotr, Kucharski Wojciech, Kubasiak Katarzyna.  
**Tytuł oryginalny:** Force-velocity characteristics of lower extremity muscles in male high-altitude climbers  
**Czasopismo:** Physiotherapy Quarterly  
**Szczegóły:** 2021 : vol. 29, nr 3, s. 92-97, tab., bibliogr. 32 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 70.000  
**Data wprowadzenia:** 2021/10

17

**Autorzy:** Wdowiak Przemysław, Dębiec-Bąk Agnieszka, Stefańska Małgorzata, Ptak Agnieszka, Karska Karolina, Słowińska-Karska Katarzyna, Śliwiński Zbigniew.

**Tytuł oryginalny:** Analiza dynamiki zmian w mikrokrążeniu wybranych obszarów ciała po stymulacji metodą Vojty dzieci w wieku 3-10 miesięcy

**Tytuł równoległy:** Analysis of the dynamics of changes in the micocirculation of selected areas in the human body after stimulation by the Vojta method in children aged 3-10 months

**Tytuł całości:** W: Potrzeby i standardy współczesnej rehabilitacji : XIV międzynarodowe Dni Rehabilitacji, Rzeszów, 24-25 lutego 2022 r. : konferencja online : streszczenia / pod red. Teresy Pop, Andrzeja Kwolka, Andżeliny Wolan-Nierody, Joanny Baran.

**Adres wydawniczy:** Rzeszów : Bonus Liber Sp. z o.o., 2022

**Opis fizyczny:** s. 306-308

**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Konferencja online : 24-25.02.2022

**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe

**Data wprowadzenia:** 2022/03

18

**Autorzy:** Pawik Łukasz, Pawik Malwina, Karwacka Magdalena, Wysoczańska Emilia, Schabowska Aleksandra, Kuciel Natalia, Biernat Karolina, Dębiec-Bąk Agnieszka, Lewandowska Joanna, Fink-Lwow Felicja.

**Tytuł oryginalny:** Body balance after fascial therapy in athletes with soft lower limb muscle injuries

**Czasopismo:** Symmetry

**Szczegóły:** 2021 : vol. 13, nr 9, art. 1586, s. 1-12, ryc., tab., bibliogr. 41 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 2.940

**Punktacja MEiN:** 70.000

**Data wprowadzenia:** 2021/09

19

**Autorzy:** Kuligowski Tomasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.

**Tytuł oryginalny:** Mobilisation efficacy in young patients with different stages of degenerative disc disease

**Czasopismo:** Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation

**Szczegóły:** 2020 : vol. 33, nr 6, s. 913-918, tab., bibliogr. 24 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 1.398

**Punktacja MEiN:** 40.000

**Data wprowadzenia:** 2020/06; 2020/11

20

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Kuligowski Tomasz, Skrzek Anna.

**Tytuł oryginalny:** Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography

**Czasopismo:** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

**Szczegóły:** 2020 : vol. 140, s. 243-251, ryc., tab., bibliogr. 25 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 4.626

**Punktacja MEiN:** 100.000

**Data wprowadzenia:** 2019/09; 2020/04

21

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Woźniewski Marek, Malicka Iwona.

**Tytuł oryginalny:** Using thermography in the diagnostics of lymphedema : pilot study

**Czasopismo:** Lymphatic Research and Biology

**Szczegóły:** 2020 : vol. 18, nr 3, s. 247-253, ryc., tab., bibliogr. 32 poz.

**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł

**Impact Factor:** 2.589

**Punktacja MEiN:** 70.000

**Data wprowadzenia:** 2019/12; 2020/06

22

**Autorzy:** Skrzek Anna, Ciszek Agnieszka, Nowicka Danuta, Dębiec-Bąk Agnieszka.  
**Tytuł oryginału:** Evaluation of changes in selected skin parameters under the influence of extremely low temperature  
**Czasopismo:** Cryobiology  
**Szczegóły:** 2019 : vol. 86, s. 19-24, ryc. tab. bibliogr. 22 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 2.283  
**Punktacja MEiN:** 70.000  
**Data wprowadzenia:** 2019/01; 2019/03

23

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, Ptak Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise  
**Czasopismo:** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry  
**Szczegóły:** 2019 : vol. 135, nr 4, s. 2399-2410, ryc. tab. bibliogr. 36 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 2.731  
**Punktacja MEiN:** 100.000  
**Data wprowadzenia:** 2018/05; 2018/11; 2019/01; 2019/03

24

**Autorzy:** Kuligowski Tomasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Ocena skuteczności trakcji w zależności od stopnia zaawansowania choroby dyskowej u osób młodych  
**Tytuł równoległy:** Effectiveness of traction in young patients representing different stages of degenerative disc disease  
**Czasopismo:** Ortopedia, Traumatologia, Rehabilitacja  
**Szczegóły:** 2019 : vol. 21, nr 3, s. 187-195, tab., bibliogr. 33 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 40.000  
**Data wprowadzenia:** 2019/09

25

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Kuligowski Tomasz, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** The analysis of thermoregulatory processes in girls and boys in thermal imaging tests  
**Tytuł całości:** W: 14th Quantitative InfraRed Thermography Conference. QIRT 2018 : programme & abstracts  
**Adres wydawniczy:** [B. m : b. w., 2018]  
**Opis fizyczny:** s. 44  
**Konferencja/zjazd - tytuł:** Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung; Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Berlin, Germany : 25-29 June 2018  
**Charakt. formalna:** zagraniczne streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2018/07

26

**Autorzy:** Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka.  
**Tytuł oryginału:** Codzienna aktywność ruchowa : żyj zdrowo i bezpiecznie  
**Tytuł całości:** W: Aktywny senior : człowiek spełniony / Red. nauk. Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Warszawa : PZWL Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2018  
**Opis fizyczny:** s. 91-102 : rys., bibliogr. 9 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 20.000  
**Data wprowadzenia:** 2018/03; 2019/10

27

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Wójtowicz Dorota, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise  
**Tytuł całości:** W: 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference : book of abstracts  
**Adres wydawniczy:** Budapest, 2017  
**Opis fizyczny:** s. 192  
**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Budapest, Hungary : June 6-9, 2017  
**Charakt. formalna:** zagraniczne streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2018/09

28

**Autorzy:** Pawik Łukasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Thermal imaging analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in male and female footballers after interval training  
**Tytuł całości:** W: 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference : book of abstracts  
**Adres wydawniczy:** Budapest, 2017  
**Opis fizyczny:** s. 195  
**Konferencja/zjazd - miejsce i data:** Budapest, Hungary : June 6-9, 2017  
**Charakt. formalna:** zagraniczne streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2018/09

29

**Autorzy:** Wójtowicz Dorota, Roshko Julia, Ptak Agnieszka, Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** The efficiency of rehabilitation for self-service eating in institutionalized children aged 2-6 years with mental and motor retardation  
**Czasopismo:** Physiotherapy Quarterly  
**Szczegóły:** 2017 : t. 25, nr 2, s. 10-16, ryc., tab., bibliogr. 34 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 7.000  
**Data wprowadzenia:** 2018/05

30

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Tomczyk Ewa, Tomczyk Anna, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Analiza sprawności procesów termoregulacyjnych u dzieci w wieku wczesnoszkolnym po treningu ogólnousprawniającym w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Analysis of the efficiency of thermoregulatory processes in early school children after general-rehabilitation in thermal imaging  
**Tytuł całości:** W: X Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Jakość i styl życia w świetle nowoczesnej rehabilitacji" : Wrocław, 23-25.11.2017 : streszczenia  
**Opis fizyczny:** s. 84-85  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2019/02

31

**Autorzy:** Chantsoulis Marzena, Sipko Tomasz, Wójtowicz Dorota, Pawik Łukasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Wołoszyn Daria, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Assessment of quality of life after the DIAM<sup>TM</sup> spinal stabilization system  
**Czasopismo:** Journal of Education, Health and Sport  
**Szczegóły:** 2016 : vol. 6, nr 10, s. 279-288, tab., bibliogr. 24 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 7.000  
**Data wprowadzenia:** 2016/10

32

**Autorzy:** Zuk Maciej, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Wpływ masażu głębokiego na mięsień czworogłowy piłkarzy nożnych, w badaniach izokinetycznych i termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Influence of massage deep in quadriceps soccer players, in isokinetic testing and thermography  
**Czasopismo:** Journal of Education, Health and Sport  
**Szczegóły:** 2016 : vol. 6, nr 7, s. 236-251, tab., bibliogr. 21 poz., sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 7.000  
**Data wprowadzenia:** 2016/07

33

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography  
**Czasopismo:** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry  
**Szczegóły:** 2016 : vol. 126, nr 3, s. 1633-1644, ryc., tab., bibliogr. 40 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 1.953  
**Punktacja MEiN:** 25.000  
**Data wprowadzenia:** 2016/07; 2016/11

34

**Autorzy:** Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej.  
**Tytuł oryginału:** Analiza zmienności rozkładu temperatury powierzchniowej ciała w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł całości:** W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014  
**Opis fizyczny:** s. 87-99 : ryc., tab., bibliogr. 19 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 5.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/10

35

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Monitorowanie procesu treningowego w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł całości:** W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014  
**Opis fizyczny:** s. 171-180 : bibliogr. 35 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 5.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/10

36

**Autorzy:** Pisula-Lewandowska Agnieszka, Ratajczak Barbara, Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Demidaś Aneta.  
**Tytuł oryginału:** Monitorowanie terapii z zastosowaniem zróżnicowanych zabiegów fizykalnych  
**Tytuł całości:** W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014  
**Opis fizyczny:** s. 135-145 : bibliogr. 12 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 5.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/10



37

**Autorzy:** Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz.  
**Tytuł oryginału:** Termowizyjne monitorowanie efektów krioterapii  
**Tytuł całości:** W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014  
**Opis fizyczny:** s. 125-133 : ryc., bibliogr. 22 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 5.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/10

38

**Autorzy:** Pawik Łukasz, Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka.  
**Tytuł oryginału:** Zastosowanie termowizji w diagnostyce i monitorowaniu leczenia urazów narządu ruchu  
**Tytuł całości:** W: Biomedyczne zastosowania termowizji / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014  
**Opis fizyczny:** s. 181-191 : bibliogr. 32 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 5.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/10

39

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation  
**Czasopismo:** Human Movement  
**Szczegóły:** 2013 : vol. 14, nr 4, s. 299-304, ryc., tab., bibliogr. 15 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 14.000  
**Data wprowadzenia:** 2014/01

40

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Gruszka Katarzyna, Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginału:** Analiza zmian temperatury ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w zależności od wieku  
**Tytuł całości:** W: III Siechnicka Jesień Naukowa - konferencja naukowo-szkoleniowa. Siechnice k. Wrocławia, 8-10 listopada 2013 r.  
**Opis fizyczny:** s. 6  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2015/05

41

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Podbielska Halina.  
**Tytuł oryginału:** Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy  
**Czasopismo:** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry  
**Szczegóły:** 2013 : vol. 111, nr 3, s. 1853-1859, ryc., tab., bibliogr. 29 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 2.206  
**Punktacja MEiN:** 25.000  
**Data wprowadzenia:** 2013/02

42

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawik Łukasz, Jedynak Daniel, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Termowizyjna ocena zmian temperatury powierzchniowej ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej u piłkarzy nożnych  
**Tytuł równoległy:** Thermal imager to assess changes in the surface temperature of the body systemic cryo stimulation of football players  
**Tytuł całości:** W: VIII Międzynarodowe Dni Fizjoterapii "Fizjoterapia, terapia zajęciowa, kosmetologia - razem czy osobno?" = VIII International Days of Physiotherapy "Physiotherapy, occupational physiotherapy, cosmetology - together or apart?" 7-8 czerwca 2013, Wrocław : program , streszczenia  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2013  
**Opis fizyczny:** s.17-18  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie zjazdowe  
**Data wprowadzenia:** 2013/10

43

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Porównanie rozkładu temperatury powierzchniowej ciała kobiet i mężczyzn za pomocą termowizji  
**Tytuł równoległy:** The comparison of surface body temperature distribution between men and women by means of thermovision  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna  
**Szczegóły:** 2012 : vol.18, nr 1, s.25-30, ryc. tab. bibliogr. 31 poz. streszcz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 4.000  
**Data wprowadzenia:** 2012/03

44

**Autorzy:** Ratajczak Barbara, Boerner Ewa, Demidaś Aneta, Tomczyk Kinga, Dębiec-Bąk Agnieszka, Hawrylak Arletta.  
**Tytuł oryginalny:** Comparison of skin surface temperatures after ultrasounds with use of paraffin oil and ultrasounds with use of gel  
**Czasopismo:** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry  
**Szczegóły:** 2012 : vol. 109, nr 1, s. 387-393, ryc., tab., bibliogr. 19 poz.  
**Charakt. formalna:** zagraniczny artykuł  
**Impact Factor:** 1.982  
**Punktacja MEiN:** 25.000  
**Data wprowadzenia:** 2011/06; 2012/07

45

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Badania termowizyjne zmian powierzchniowej temperatury ciała pod wpływem kriostymulacji  
**Tytuł całości:** W: Zastosowanie niskich temperatur w biomedycynie / red. Halina Podbielska, Anna Skrzek  
**Adres wydawniczy:** Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2012  
**Opis fizyczny:** s. 103-118 : ryc., bibliogr. 72 poz.  
**Charakt. formalna:** polski rozdział w monografii  
**Punktacja MEiN:** 4.000  
**Data wprowadzenia:** 2012/11

46

**Autorzy:** Ptak Anna, Konieczny Grzegorz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Kuciel Natalia.  
**Tytuł oryginału:** Wpływ *kinesiology taping* na zmianę rozkładu temperatury okolicy mięśnia prostego brzucha : doniesienie wstępne  
**Tytuł równoległy:** The influence of kinesiology taping on the temperature distribution within the *rectus abdominis* muscle area : preliminary report  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna  
**Szczegóły:** 2011 : vol.17, nr 3, s.191-193, ryc. tab. bibliogr. 18 poz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 4.000  
**Data wprowadzenia:** 2011/10

47

**Autorzy:** Malicka Iwona, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pawłowska Katarzyna, Skrzek Anna, Woźniewski Marek.  
**Tytuł oryginału:** Analiza temperatury powierzchniowej i obwodów kończyn górnych u kobiet po leczeniu raka piersi : badania pilotażowe  
**Tytuł równoległy:** Analysis of body surface temperature and upper limbs circumference for recording oedema volume in women after breast cancer treatment : pilot research  
**Czasopismo:** Fizjoterapia  
**Szczegóły:** 2010 : t.18, supl., s.15-16  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie w czasopiśmie  
**Data wprowadzenia:** 2010/11

48

**Autorzy:** Mraz Małgorzata, Nowacka Urszula, Skrzek Anna, Mraz Maciej, Dębiec-Bąk Agnieszka, Sidorowska Marta.  
**Tytuł oryginału:** Stabilność posturalna kobiet i dziewcząt w wieku 8-22 lat w świetle badań posturograficznych  
**Tytuł równoległy:** Postural stability of women and girls in the age of 8-22 on the basis of posturographic examinations  
**Czasopismo:** Fizjoterapia  
**Szczegóły:** 2010 : t.18, nr 2, s.35-43, ryc. bibliogr. 31 poz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2011/02

49

**Autorzy:** Sobiech Krzysztof Andrzej, Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Gruszka Katarzyna, Socha Małgorzata, Jonak Wiesława.  
**Tytuł oryginału:** Dynamika zmian temperatury ciała u kobiet pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej : doniesienie wstępne  
**Tytuł równoległy:** Dynamics of body temperature changes in women due to the whole-body cryotherapy : preliminary communication  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna  
**Szczegóły:** 2009 : vol.15, nr 4, s.315-318, ryc. tab. bibliogr. 12 poz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2009/12

50

**Autorzy:** Kielnar Renata, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Oleksy Łukasz, Dębiec-Bąk Agnieszka, Chantsoulis Marzena.  
**Tytuł oryginalny:** Ocena stabilności postawy ciała na podstawie badania przedniego i tylnego marginesu stabilności u osób ze stwardnieniem rozsianym po fizjoterapii  
**Tytuł równoległy:** Evaluation of postural stability based on a front and back stability margin of people with multiple sclerosis after rehabilitation  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna  
**Szczegóły:** 2009 : vol.15, nr 3, s.226-229, ryc. bibliogr. 13 poz. streszcz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2009/10

51

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Skrzek Anna, Jonak Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica, Inżynieria Biomedyczna  
**Szczegóły:** 2009 : vol.15, nr 4, s.322-327, ryc. tab. bibliogr. 18 poz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2009/12

52

**Autorzy:** Skrzek Anna, Dębiec-Bąk Agnieszka, Jonak Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research  
**Czasopismo:** Postępy Rehabilitacji  
**Szczegóły:** 2009 : t.23, nr 2, s.210-211  
**Charakt. formalna:** polskie streszczenie w czasopiśmie  
**Data wprowadzenia:** 2009/12

53

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Skrzek Anna.  
**Tytuł oryginalny:** Jakościowa i ilościowa ocena chodu osób po udarze mózgu  
**Tytuł równoległy:** Qualitative and quantitative evaluation of gait in patients after stroke  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica  
**Szczegóły:** 2007 : vol.13, nr 2, s.97-100, ryc. bibliogr. 30 poz. sum.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2007/07

54

**Autorzy:** Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pilch Urszula.  
**Tytuł oryginalny:** Rozkład temperatury na powierzchni ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych  
**Tytuł równoległy:** Thermovision examinations of body temperature distribution after systemic cryotherapy application  
**Czasopismo:** Acta Bio-Optica et Informatica Medica  
**Szczegóły:** 2007 : vol.13, nr 2, s.141-146, ryc. tab. bibliogr. 23 poz.  
**Charakt. formalna:** polski artykuł  
**Punktacja MEiN:** 6.000  
**Data wprowadzenia:** 2007/07

55

**Autorzy:** Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pilch Urszula.

**Tytuł oryginalny:** Analiza czynników wpływających na zmienność temperatury ciała w badaniach termograficznych

**Czasopismo:** Fizjoterapia

**Szczegóły:** 2007 : t.15, supl.1, s.11

**Charakt. formalna:** polskie streszczenie w czasopiśmie

**Data wprowadzenia:** 2007/07

56

**Autorzy:** Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pilch Urszula.

**Tytuł oryginalny:** Analiza czynników wpływających na zmienność temperatury ciała w badaniach termograficznych

**Tytuł równoległy:** Analysis of factors impacting body temperature variability in thermographic research

**Czasopismo:** Fizjoterapia

**Szczegóły:** 2007 : t.15, nr 3, s.23-33, ryc. tab. bibliogr. 21 poz. sum.

**Charakt. formalna:** polski artykuł

**Punktacja MEiN:** 6.000

**Data wprowadzenia:** 2008/05

57

**Autorzy:** Dębiec-Bąk Agnieszka, Mraz Małgorzata, Mraz Maciej, Skrzek Anna.

**Tytuł oryginalny:** Jakościowa i ilościowa ocena chodu osób po udarze mózgu

**Czasopismo:** Fizjoterapia

**Szczegóły:** 2007 : t.15, supl.1, s.27

**Charakt. formalna:** polskie streszczenie w czasopiśmie

**Data wprowadzenia:** 2007/07

58

**Autorzy:** Skrzek Anna, Anwajler Joanna, Dudek Krzysztof, Dębiec-Bąk Agnieszka, Pilch Urszula.

**Tytuł oryginalny:** Zmienność temperatury ciała pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u pacjentów z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa w badaniach termowizyjnych

**Tytuł równoległy:** Body temperature variability in thermal examinations under the influence of whole body cryotherapy (WBC) in patients with spinal pain

**Czasopismo:** Fizjoterapia Polska

**Szczegóły:** 2007 : vol.7, nr 3, s.308-319, ryc. tab. bibliogr. 23 poz. sum.

**Charakt. formalna:** polski artykuł

**Punktacja MEiN:** 6.000

**Data wprowadzenia:** 2007/10

59

**Autorzy:** Skrzek Anna, Jagusz Anna, Rutkowska-Kucharska Alicja, Dziubek Violetta, Dębiec Agnieszka.

**Tytuł oryginalny:** Ocena wpływu ćwiczeń aerobowych na narząd ruchu 15-letnich dziewcząt

**Czasopismo:** Fizjoterapia

**Szczegóły:** 2003 : t. 11, nr 2, supl. 1, s. 15

**Charakt. formalna:** polskie streszczenie w czasopiśmie

**Autorzy:** Skrzek Anna, Jagusz Anna, Rutkowska-Kucharska Alicja, Dziubek Violetta, Dębiec Agnieszka.

**Tytuł oryginału:** Ocena wpływu ćwiczeń aerobowych na narząd ruchu 15-letnich dziewcząt

**Tytuł równoległy:** Evaluation of the influence of aerobic exercises on motion organ in 15 years old girls

**Czasopismo:** Fizjoterapia

**Szczegóły:** 2003 : t.11, nr 2, s.88-95, ryc. tab. bibliogr. 15 poz.

**Charakt. formalna:** polski artykuł

**Punktacja MEiN:** 3.000

Ośrodek Informacji Naukowej  
AWF Wrocław





# Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention

Agnieszka Dębiec-Bąk<sup>1</sup> · Anna Skrzek<sup>1</sup> · Halina Podbielska<sup>2</sup> · Olga Golubnitschaja<sup>3</sup> · Małgorzata Stefańska<sup>1</sup>

Received: 20 October 2021 / Accepted: 27 October 2021 / Published online: 5 November 2021  
© The Author(s) 2021, corrected publication 2022

## Abstract

**Background** Thermoregulation is highly individual and predictive for potentially cascading pathologies. Altered and deficient thermoregulation is considered an important diagnostic indicator which can be of great clinical utility for specialized screening programs and individualized prediction and prevention of severe pathologies triggered early in life.

**Working hypothesis** Individual thermoregulation can be objectively assessed by thermovision camera before and after exercises in school children stratified by age and gender that may be of great clinical utility for personalized training early in life in the framework of 3P medicine.

**Study design** In this study, 60 female and male primary school children were exposed to physical exercises in the form of 45-min general fitness training. The subjects under examination were stratified by age: group 1 (7-year-olds), group 2 (9-year-olds), and group 3 (12-year-olds). Superficial body temperature patterns were measured by means of thermovision camera before and immediately after exercises, as well as after the 15-min recovery time. Temperature patterns were analyzed in 12 areas of the body front and back, covering trunk and upper and lower limbs.

**Results** The obtained results revealed an individual and age-dependent difference in response of the body to exercises. *The first measurement prior to exercise (measurement 1)* revealed no statistically significant differences in the mean surface temperature of all analyzed areas between 7- and 9-year-old children. Further, 7- and 9-year-old children did not differ significantly in the mean temperature recorded in the trunk compared to the 12-year-old children. However, in 12-year-old children, statistically significant higher values of the mean temperature of the upper and lower limbs, were observed compared to the group of 7-year-olds and significantly higher values of the mean temperature of the lower limbs compared to the group of 9-year-olds. *Immediately after exercises (measurement 2)*, a statistically significant decrease in the temperature was noted in all groups and in all areas of the body. The greatest temperature change was observed in 12-year-olds, while the least one was measured in the youngest subjects. The statistically significant relation between the average trunk temperature of 7-year-old and 12-year-old children was observed: lower values of the mean temperature of the front and back of the trunk were noted in the group of 12-year-old children compared to the group of 7-year-olds. A significantly lower average temperature of the back of the trunk compared to the youngest group was also recorded in 9-year-old children. *The study performed after the 15-min recovery time (measurement 3)* showed an increase in the average temperature of all analyzed areas. In all subjects, the mean temperature recorded in measurement 3 did not differ significantly from the initial ones (measurement 1, prior to exercises). Only the mean temperature of the trunk back of 12-year-old children was significantly lower after the rest period compared to the initial examination. In all groups, the temperatures after exercises followed by a 15-min recovery returned to the initial ones, except of the trunk backs of 12-year-old children, where the temperature was lower than before exercises.

**Conclusions and expert recommendations in the framework of 3PM** Thermovision analysis is an effective tool to assess individual thermoregulation and to stratify school children for personalized exercise coaching. Body exercise-based disease prevention early in life is effective when tailored to the person: multi-parametric guidance for prescribing exercises individually is needed. Contextually, proposed individualized training approach should be adapted to the age-dependent particularities and individual thermoregulation.

**Keywords** Predictive preventive personalized medicine (PPPM/3PM) · Thermoregulation · Thermography · Age-dependent · Body temperature · Physical activity · Patterns · Body mass · Height · Fatigue · Indicator · Personalized coaching · Multi-factorial · Thermovision analysis · Stratification · Assessment tool · School children · 7–12 years old · Fitness training · Innovative approach · Socioeconomic disparity · Healthcare policy

## Introduction

### Physical activity is highly effective for disease prevention

The physical activity is in focus of many national and global recommendations, pointing out its great potential of diseases prevention [1–4]. Regular participation in physical exercises of children and youth have many health benefits, as, e.g., enhancing muscular strength, promoting bones healthiness, and positively influencing cardio-respiratory system [5, 6]. Positive impacts towards mental health are also observed [7]. Physical activity in children should be specially promoted as it is a good prevention tool of adolescent obesity [8–10].

However, the optimal doses of health-enhancing physical activity of an individual are difficult to determine. During physical activity, numerous changes in the human body are observed. Activation of the sympathetic nervous system speeds up the transport of blood and, consequently, oxygen. Temperature increase is one of the signals sent to the brain informing about the body fatigue [11].

### Thermoregulation is indicative for health status and adaptive mechanisms' functionality

Thermoregulation processes determine the heat balance and ensures thermal homeostasis of the living organisms. This ability develops along with other systems in the process of human ontogenesis. Maintaining thermoregulatory processes at the appropriate level depends on the degree of thermoregulatory efficiency of each person and capacity of the circulatory and respiratory systems. The production of heat in the body influences numerous metabolic processes in cells and muscle activity. Metabolism, regulated by hormones (e.g., thyroxine, testosterone, adrenaline, noradrenaline), also affects the temperature changes. A healthy human maintains almost constant inner organs temperature. The changes are small and oscillate around 0.6 °C. The situation is different for superficial skin temperature. This parameter reflects numerous factors, as inner temperature and efficacy of skin microcirculation, but also depends on the ambient temperature and physical activity. When performing strenuous exercises, human skin may reach the temperature even up to 38.3–40 °C. When the body is subjected to cold, it reduces the skin temperature to 35.5 °C or even lower.

The ability to maintain a constant inner body temperature is determined by the metabolic and thermoregulatory efficiency [12, 13].

The hypothalamus is responsible for integrating incoming information from thermos-detectors located in the skin, in the spinal cord, in other parts of the brain, and from receptors in the hypothalamus itself [14]. The stability of maintaining body temperature depends on the balance between the processes of heat generation and dispersion. Thermal balance is a dynamic process that requires the continuous adjustment of individual thermoregulatory mechanisms to environmental conditions [15].

### Body temperature patterns are instrumental for individualized physical activity

There are some reports on the relationship between physical performance and the tolerance of body temperature increase. McLellan's [16] research indicates that regular physical exercises have a positive effect on the efficiency of the circulatory system, which translates into the possibility of a greater increase in internal temperature until the body feels tired. Drust et al. [17] revealed that body fatigue does not occur as a result of the accumulation of exercise metabolites, but as a result of a significant increase of internal temperature, which has an adverse effect on brain work. Improving the ability to efficiently remove heat from the body is important, e.g., to athletes as it allows them to continue strenuous exercises [18].

In children, as the entire body still develops, the thermoregulatory abilities change progressively. Biological maturation of each system occurs individually. Thermal control in children is not yet fully developed, which means that their resistance to thermal stress is much weaker compared to adults [19].

### Thermoregulation and individualized physical activity early in life: application of 3PM concepts

Children and the elderly react differently to changes in ambient temperature. Their thermoregulatory processes cope with excessive increase or decrease of ambient temperature in a less effective way. Noteworthy, newborns have undeveloped resistance against cold provocation and therefore demonstrate deficient thermoregulation [20]. Therefore, analyzing age-stratified thermoregulation in children in response to individualized physical activity is a very important issue.



Children employ different thermoregulatory strategies than adults [21]. Regarding heat-dissipation, child body engages more dry heat exchange, while in adults, it is evaporative heat loss; thus, children have limited ability to lose heat through evaporation. Promoting physical activity early in life is crucial for maintaining physically and mentally vibrant throughout the life. Therefore, research activities dedicated to functioning children's thermoregulatory processes in response to physical effort are of great importance. To this end, thermographic approach is instrumental in the area. The analysis of surface body temperature through thermography provides useful information on the efficiency of thermoregulatory processes [22]. Infrared thermography, as a non-invasive non-contact method, found some applications in contemporary medicine. It can be used for detection of different diseases like, i.e., tumors [23]. Thermal temperature mapping has also been applied for skin lesion differentiation [24–26]. The distribution of superficial temperature is a significant parameter in the assessment of various medical physiotherapeutic procedures, as well as in sports medicine [27–30].

## Working hypothesis

Individual thermoregulation can be objectively assessed by thermovision camera before and after exercises in school children stratified by age and gender that may be of great clinical utility for personalized training early in life in the framework of 3P medicine.

## Study design

### Study participants

The research group consisted of 60 pupils of both sexes of primary school. The subjects were divided into three age groups, each of 20 persons. Group 1 consisted of first-grade students at the age of 7 years, with an average body weight

of 25 kg ( $\pm 3.7$ ) and a height of 124.2 cm ( $\pm 5.2$ ); group 2 included third-grade students at the age of 9 years, with an average body weight of 34.5 kg ( $\pm 5$ ) and a height of 141.6 cm ( $\pm 6.5$ ); group 3 comprised sixth-grade students, 12 years, with an average body weight of 40.3 kg ( $\pm 5.5$ ) and a height of 148.4 cm ( $\pm 6.4$ ). The inclusion criteria were age matching one of these three groups, good general health of the child, no injuries that would prevent from training, and consent of a parent or legal guardian. The exclusion criteria included poor general health of the pupil and doctor's recommendation excluding the child from the active participation in physical education classes. The group characteristics are depicted in Table 1.

## Methods

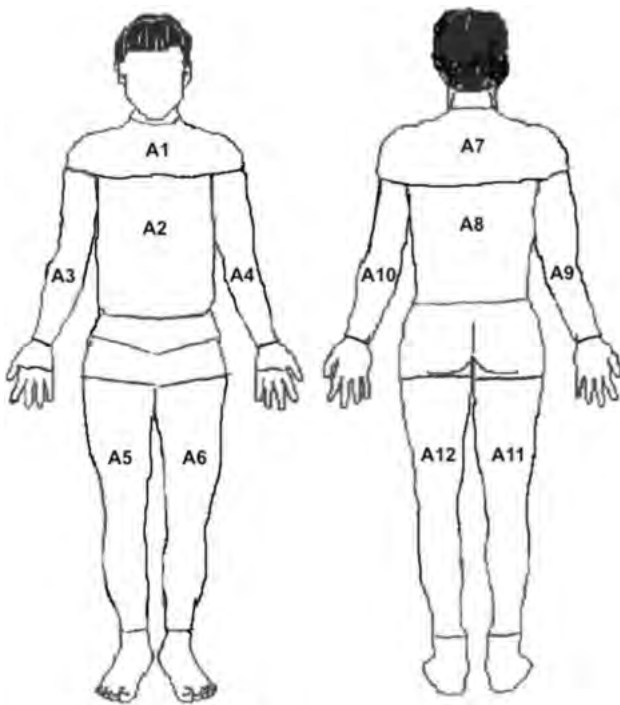
The general physical exercises for primarily school kids are organized routinely 3 times per week, and lessons' duration is 45 min. The research project included three thermographic measurements of the superficial body temperature of the front and back of the body related to one 45-min long lesson. The thermal images were recorded in identical research conditions, in a research room with an ambient temperature of 21–22 °C and relative humidity of 34–35%. During the thermal recording in research room, only one child and one researcher with thermal camera were present. The research protocol was the same for each group.

Measurement 1 was performed before general physical exercises, and measurement 2 was taken immediately after the exercises while measurement 3 after 15 min of recovery time period. For each measurement, the thermal images were captured by means of ThermoVision FLIR SYSTEM T335 infrared camera (320×240 pixel resolution, a 50mK NETD/0.05 °C thermal sensitivity and an extended temperature measurement range of -20 °C to 650 °C).

The average temperature was analyzed in the front and back of trunk and upper and lower limbs, according to the schema presented in Fig. 1. The ThermoCAM Researcher Pro 2.10 software developed by FLIR Systems AB was exploited for image analysis. The average temperature

**Table 1** Body mass and height in the examined groups

Group 1	Group 2	Group 3
Groups characteristics; body mass and height		
25 kg ( $\pm 3.6$ )	34.5 kg ( $\pm 5$ )	40.3 kg ( $\pm 5.5$ )
124.2 cm ( $\pm 5.2$ )	141.6 cm ( $\pm 6.5$ )	148.4 cm ( $\pm 6.4$ )
Girls characteristics; body mass and height		
24.6 kg ( $\pm 3.9$ )	34.1 kg ( $\pm 4.8$ )	39.0 kg ( $\pm 5.2$ )
122.8 cm ( $\pm 5.0$ )	140.8 cm ( $\pm 7$ )	150.4 cm ( $\pm 5.0$ )
Boys characteristics; body mass and height		
25.4 kg ( $\pm 3.4$ )	34.9 kg ( $\pm 5$ )	41.6 kg ( $\pm 5.3$ )
125.6 cm ( $\pm 4.8$ )	142.5 cm ( $\pm 5.7$ )	146.4 cm ( $\pm 6.9$ )



**Fig. 1** Schema presenting the parts of the body in which the average superficial temperature recorded by the thermographic camera was analyzed

changes in the following 12 body regions were determined: trunk area: front part (A1, A2), back part (A7, A8), upper limbs (A3, A4, A9, A10), lower limbs (A5, A6, A11, A12) (Fig. 1).

The training unit performed by the subjects was a modification of the seven fundamental movement patterns of the FMS (the functional movement screen) [31, 32]. The exercises were preceded by a warm-up consisting of marching on the spot, trotting, and exercises activating the shoulder and hip joints in all planes of mobility. The duration of the initial part of the exercise was 10 min. Next, the main part of the training with progressive effort was used, which consisted of a modification of the seven fundamental movement patterns tests of the FMS. Its duration was 30 min. Each movement pattern was repeated ten times. The following elements were included:

- Shoulder girdle exercises in all planes and with a load (0.5–1 kg) above the head (overhead squats): they improve central stability and stability of shoulder joints and upper limbs strength.
- Dumbbell overhead squats, squat jumps, squats with a cane in front or on the shoulders: they activate the gluteal muscles, biceps, quadriceps femoris, and muscles of the trunk.

- Single leg squats: they develop leg strength and have a strong stabilizing effect on the ankle and knee.
- Split squats: they increase flexibility, balance, and strength of the leg.
- Stabilization exercises on a stable and unstable ground (Bobath balls and mats):
- Supported kneel with uplifts of opposing limbs, e.g., upper right limb–bottom left limb
- Front holds on the forearms, i.e., the so-called forearm plank
- Front and back holds with the rise of one of the lower limbs
- Side plank with the rise of one of the lower limbs

The following equipment was used to carry out the training unit: TheraBand tape with low resistance level, exercise canes, medicine and gym balls, balance soft disks, dumbbells, and exercise benches.

The part of the training unit in the form of recovery time after physical activity consisted of a slow march, reducing the movement amplitude until stop, and breathing exercises in a standing position. Its duration was 5–7 min.

The temperature changes determined from thermographic images were analyzed by statistical methods using Statistica software version 13.1 from StatSoft with a license for the University of Physical Education in Wrocław. The Shapiro–Wilk test was used to check the normality of the distribution of the analyzed parameters. Statistical variables were described using the arithmetic mean and standard deviation. The assessment of differences between the analyzed variables for girls and boys was based on the results of multivariate analysis of variance. In the case of obtaining statistically significant mean differences between the compared groups, Scheffe’s post-hoc test was used. The significance of the mean differences between the results obtained for boys and girls was checked by the Student’s *t*-test for independent samples. In all used statistical analyses, test, and coefficients, values at the level of  $p < 0.05$  were considered statistically significant.

The research was approved by the Senate Committee of Ethics of Scientific Research at the University School of Physical Education (Permission 28.06.2007). The research participants and their parents or guardians were informed about the purpose and course of the study. Informed and voluntary consent was obtained for conducting the thermos- vision recordings.

## Results

For each person, for each body area, the temperature distribution was recorded three times, as it was described above. Figures 2, 3, 4, and 5 represent exemplary recorded

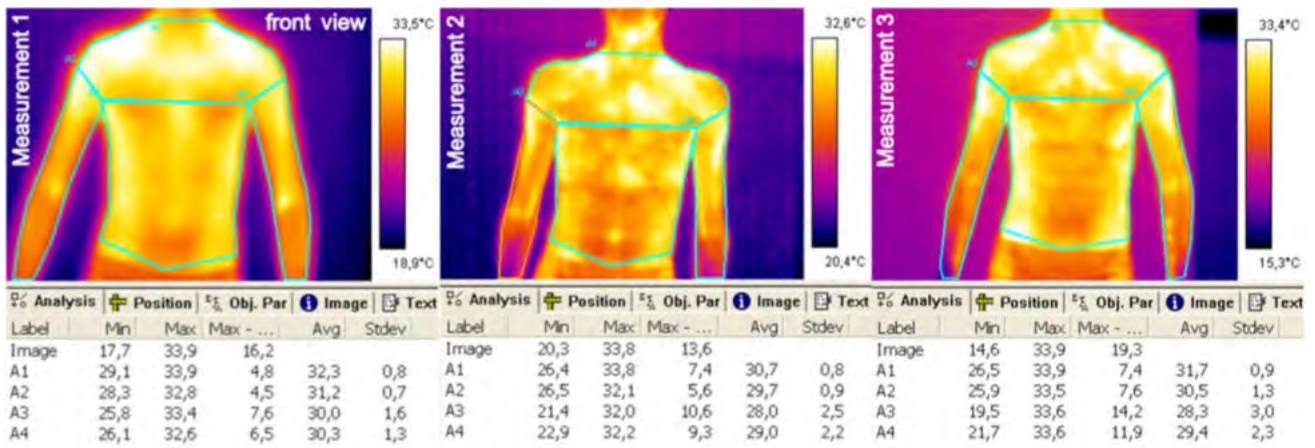


Fig. 2 Exemplary thermal images of the trunk and upper limbs, front view

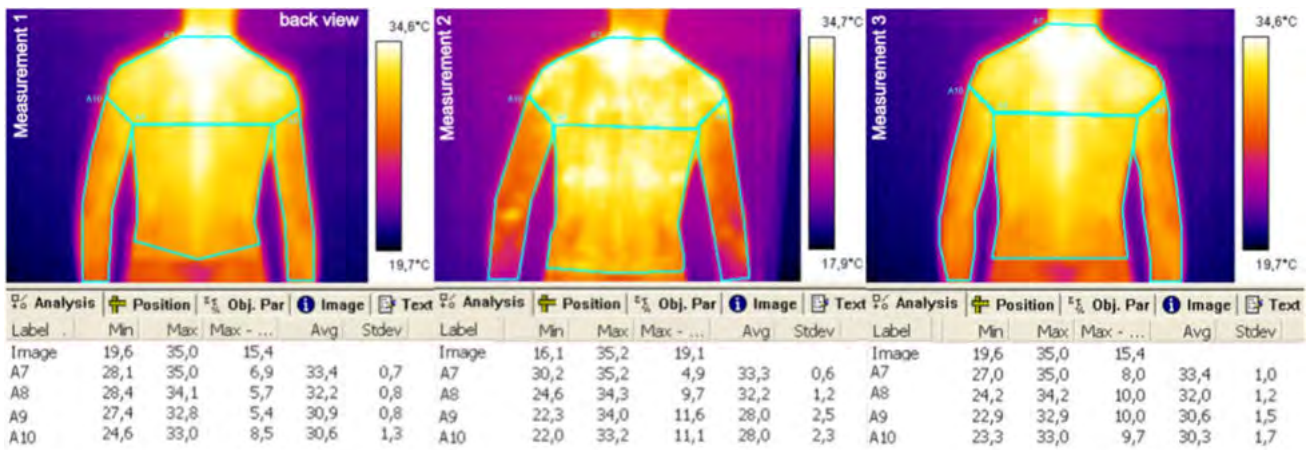


Fig. 3 Exemplary thermal images of the trunk and upper limbs, back view

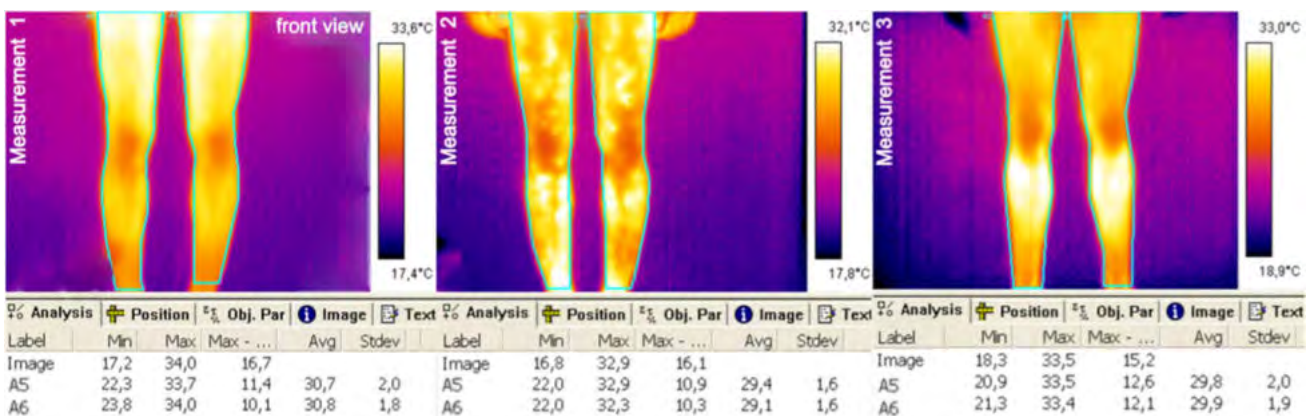


Fig. 4 Exemplary thermal images of the lower limbs, front view

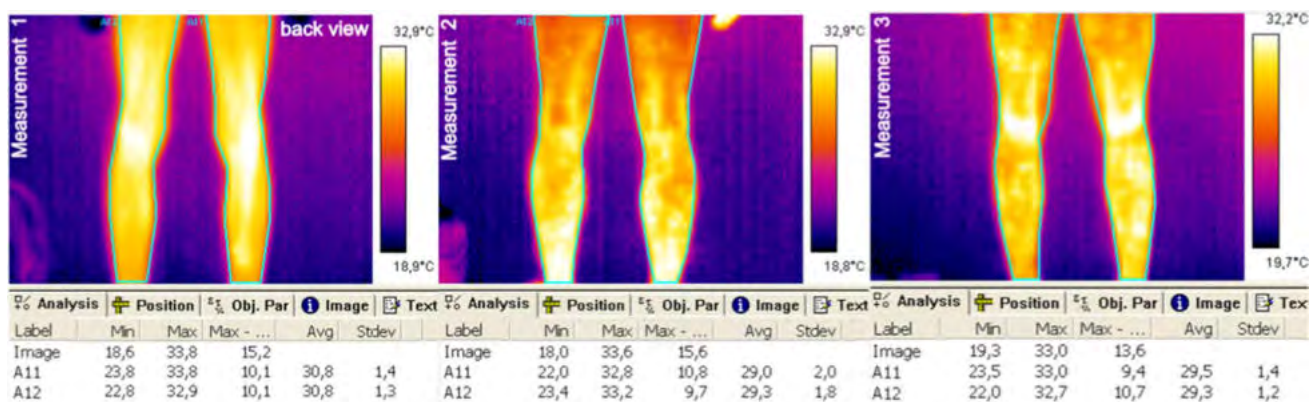


Fig. 5 Exemplary thermal images of the trunk and upper limbs, back view

Table 2 Age-depended temperature differences in boys and girls, results of Student’s *t*-test

Body part	Differences between girls and boys		
	Group 1	Group 2	Group 3
<i>p</i> -value			
Measurement 1—before exercises			
Trunk-front	0,6830	0,6444	0,6762
Trunk-back	0,5351	0,1656	0,8885
Upper limbs	0,8689	0,5474	0,2452
Lower limbs	0,4974	0,1055	0,1021
Measurement 2—after exercises			
Trunk-front	0,2281	0,5516	0,4914
Trunk-back	0,1128	0,0223*	0,8776
Upper limbs	0,2750	0,0996	0,5595
Lower limbs	0,1007	0,0963	0,2506
Measurement 3—after recovery time			
Trunk-front	0,2489	1,0000	0,0423*
Trunk-back	0,4403	0,1419	0,6870
Upper limbs	0,0198*	0,7354	0,5337
Lower limbs	0,3543	0,4301	0,8031

\*Statistically significant value (*p* < 0.05)

thermal images of analyzed body areas before general physical exercises (measurement 1), immediately after the exercises (measurement 2), and then after 15 min of recovery time (measurement 3).

The performed Student’s *t*-test for repeated measurements for both sexes did not show differences at the level of statistical significance (Table 2). Therefore, in further analyses, only age differentiations were considered.

In the next step, the average temperatures and standard deviations were calculated for examined body areas for measurements 1, 2, and 3 (Figs. 6, 7, 8, and 9).

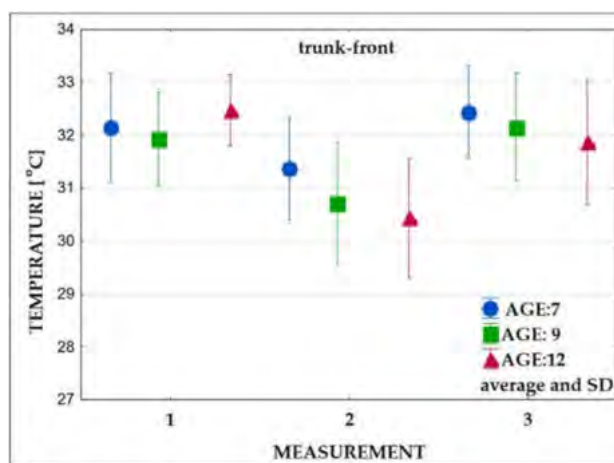


Fig. 6 Changes in the superficial temperature of the trunk’s front part in three age groups (measurements: 1, 2, and 3)

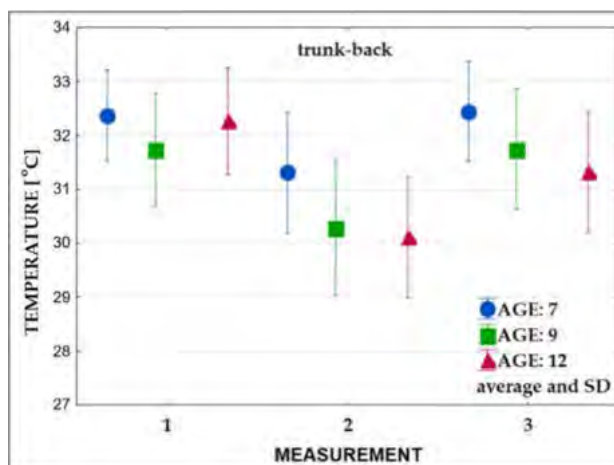
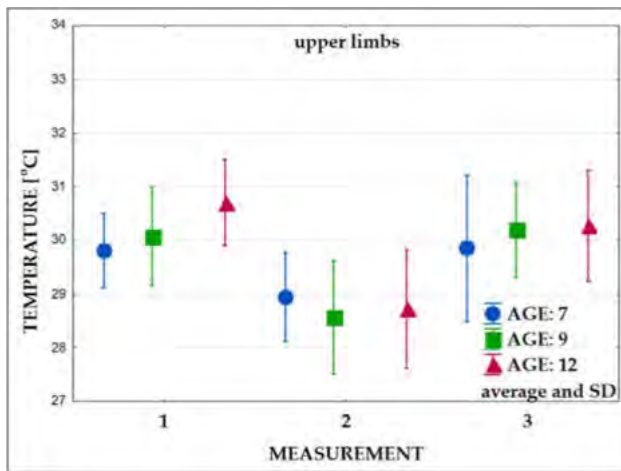
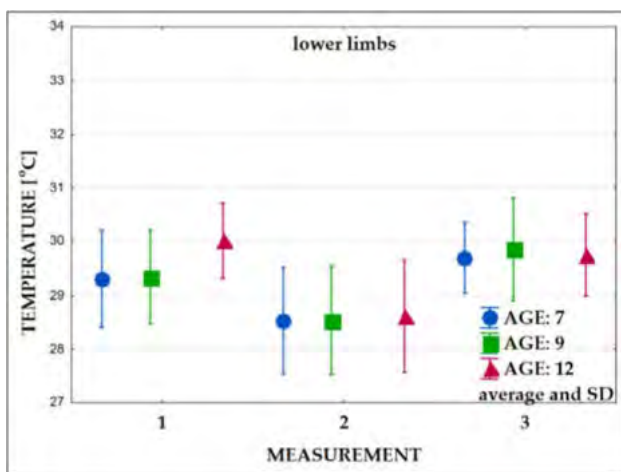


Fig. 7 Changes in the surface temperature of the trunk’s back part in three age groups (measurements: 1, 2, and 3)



**Fig. 8** Changes in the superficial temperature of the upper limbs in three age groups (measurements: 1, 2, and 3)



**Fig. 9** Changes in the surface temperature of the upper limbs in three age groups (measurements: 1, 2, and 3)

### Mean surface temperature prior to exercises

Measurements carried out before the exercises (Table 3, measurement 1) showed no significant differences in the mean surface temperature of all analyzed areas between 7- and 9-year-old children. Further, 7- and 9-year-old children did not differ significantly in the mean temperature recorded in the trunk compared to the 12-year-old ones. On the other hand, in 12-year-old children, statistically significant higher values of the mean temperature of the upper and lower limbs were observed compared to the group of 7-year-olds and significantly higher values of the mean temperature of the lower limbs compared to the group of 9-year-olds.

### Mean surface temperature immediately after exercises

Immediately after exercise (Table 3, measurement 2), a temperature decrease in all groups was observed (Figs. 6, 7, 8, and 9). Significantly lower values of the mean temperature of the front and back of the trunk were recorded in the group of 12-year-old children compared to the group of 7-year-olds. A significantly lower average temperature of the back of the trunk compared to the youngest group was also recorded in 9-year-old children.

### Mean surface temperature after the 15-min recovery time

The study performed after the 15-min recovery time (measurement 3) showed an increase in the average temperature of all analyzed areas (Figs. 6, 7, 8, and 9). In all subjects, the mean temperature recorded in measurement 3 did not differ significantly from the initial temperature (Table 3, measurement 2). Only the mean temperature of the trunk back of 12-year-old children was significantly lower after rest compared to the initial examination (Figs. 8 and 9, Table 3).

*The obtained results revealed an individual and age-dependent difference in response of the body to exercises.* Immediately after physical exertion (measurement 2), the surface temperature of the whole body decreased in all subjects. The largest drop was recorded in the group of 12-year-olds. The changes ranged from 1.3 to 2.4 °C. Compared to measurement 1, smaller differences were noted in 7-year-olds (from 0.7 to 1.2 °C).

Scheffe's post-hoc test was conducted to perform a detailed analysis of the differentiation of the results. The regression of the examined parameters in the trunk area showed statistically significant differentiation in each age group. A statistically significant difference between measurements 1 and 2 was observed in each age group for the average trunk temperature and lower limbs and upper limbs in the group of children aged 9 and 12 (Table 4).

## Data interpretation and discussion

### Thermoregulation mechanisms in children are under development

Compared to adults, thermoregulation mechanisms in children are under development [33], so the resistance to thermal stress associated with physical activity could be lower than in adults. The efficiency of thermoregulation depends on the proper functioning of other systems, e.g., the respiratory, circulatory, and endocrinal. It should also be noted that

**Table 3** Significance of differences in surface temperature values between the groups of comparison (measurements: 1, 2, and 3)

	Group 1 vs group 2	Group 1 vs group 3	Group 2 vs group 3
Measurement 1—before exercises			
Trunk-front	0.7450	0.5100	0.1627
Trunk-back	0.1285	0.9377	0.2426
Upper limbs	0.6062	<b>0.0041*</b>	0.0544
Lower limbs	0.9890	<b>0.0312*</b>	<b>0.0442*</b>
Measurement 2—after exercises			
Trunk-front	0.1689	<b>0.0295*</b>	0.7140
Trunk-back	<b>0.0281*</b>	<b>0.0078*</b>	0.8856
Upper limbs	0.4969	0.7806	0.8894
Lower limbs	0.9999	0.9644	0.9674
Measurement 3—after recovery time			
Trunk-front	0.6869	0.2349	0.6959
Trunk-back	0.1249	<b>0.0060*</b>	0.4513
Upper limbs	0.6308	0.4981	0.9752
Lower limbs	0.8177	0.9764	0.9168

\*Statistically significant value ( $p < 0.05$ )

**Table 4** The significance of differences in surface temperature values obtained in each age group between the subsequent measurements (measurements: 1, 2, and 3)

	Group 1	Group 2	Group 3
Trunk-front			
1 vs 2	<b>0.0276*</b>	<b>0.0000*</b>	<b>0.0000*</b>
1 vs 3	0.9576	0.9932	0.2415
Trunk-back			
1 vs 2	<b>0.0006*</b>	<b>0.0000*</b>	<b>0.0000*</b>
1 vs 3	0.9999	1.0000	<b>0.0049*</b>
Upper limbs			
1 vs 2	0.1518	<b>0.0001*</b>	<b>0.0000</b>
1 vs 3	1.0000	1.0000	0.9316
Lower limbs			
1 vs 2	<b>0.0082*</b>	<b>0.0043*</b>	<b>0.0000*</b>
1 vs 3	0.7018	0.3152	0.9584

\*Statistically significant value ( $p < 0.05$ )

1, 2, 3—measurements 1, 2, and 3

the ability to adapt to strenuous exercise is lower in children compared to adults, which is why the energy cost of physical work performed by the child is higher.

### Thermography as an important diagnostic tool

The use of thermography as a diagnostic tool for the analysis of thermal patterns in the superficial body layers after physical activity enables to assess indirectly the thermoregulatory mechanisms and its differences between children of 7, 9, and 12 years of age. Certain tendencies in the temperature distribution patterns could be observed in thermal images. The

highest values were observed around the shoulder belt and in the trunk, whereas the lower extremities showed the lowest temperature. Such thermal distribution was also observed in other studies, e.g., by Debiec-Bąk et al. in football players [34]. The reason for that is the vasculature system and the presence of inner organs. Our research showed a reduction in average temperature values in all subjects, immediately after physical exercises. The highest drop could be observed in the group of 12-year-olds. It may indicate the highest level of development of the body cooling processes in the group of the oldest subjects. Effective sweating mechanisms facilitate the removal of excess heat from the body during exercise. Inbar et al. [35] compared thermoregulatory processes due to physical effort in three age groups: boys, young men, and older men. The analysis of the results showed that the highest level of sweat secretion, which consequently cools down the body during exercise, is observed in young men. The oldest subjects were characterized by low efficiency of the sweating process, whereas the youngest boys had the lowest sweating levels.

### Particularities of thermoregulation in children

The thermoregulation center gains the full independence between the age of 1 and 2 years. This capacity is lost again around the sixth decade of life, which results in similar, somehow impaired, thermoregulatory effectiveness of children and the elderly. Inoue et al. [36] in their research investigated how the ability to lose excess heat changes depending on age. Their results exhibited that children have low capacity to sweat in comparison with adults. Elimination of excess heat occurs by vasodilation of the skin vasculature. However, a high surface area to weight ratio can expose a

child to excessive heat absorption in a hot climate. They also observed that due to the processes of involution, thermoregulatory abilities are again reduced in the elderly. Leites et al. [37] conducted an analysis of thermoregulatory processes in men and 10-year-old boys taking into account the body mass in both groups. The subjects performed 80 min of physical exercises in the form of cycling in four 20-min units. The lower production of sweat and heat energy per unit of body surface area in boys were observed. In addition, it was noted that men produced more mechanical energy of muscle work compared to younger subjects. Similar results were obtained by Shibasaki et al. [38], who compared the thermoregulatory response of the body in boys (10–11 years of age) and young men (21–25 years) performing moderate-intensity exercise. The differences between the groups concerned the amount of sweat secretion, which were higher in older subjects. These observations mentioned above and confirmed in our study indicate the existence of a relationship between the degree of body cooling after exercises and age.

### **Thermoregulation is efficient adapting human body to physical exercises**

An efficient thermoregulation mechanism enables the adaptation of the human body to physical exercises [39]. It is also vital to avoid the negative impact of heat on health and productivity, e.g., during physical work [40]. Cholewka et al. [41] examined by means of thermography the correlation between recorded thermal parameters during endurance effort and the generated power. Strong correlation between these parameters was recorded. This proves the usefulness of thermography as a method for analyzing energy expenditure and also for designing the tests performed during the training cycle.

In the research presented by Duffield et al. [42], it was shown that people undertaking regular physical activity have better efficiency of maintaining thermal balance. Their defense mechanisms operate more efficiently than in non-training people. Regular physical activity affects thermoregulatory processes. This research and our examination may be a hint for parents, demonstrating that a systematic and well-chosen form of training can have a positive impact on the development of their child's thermoregulatory processes.

### **Interpretation of temperature patterns after exercise and recovery time**

In our research, after the recovery time (measurement 3), temperature values in children aged 7 and 9 were close to initial ones. However, the group of 12-year-olds was the only one which, after recovery time, did not reach the parameters recorded before exercises. This may be due to the fact that the oldest subjects showed the largest

decreases in body temperature after general fitness training. The increase of the body surface temperature after the recovery time has also been demonstrated in studies by Chudecka and Lubkowska [43] using thermal recording. Having analyzed the temperature values in a group of volleyball players after a 90-min workout and a 10-min recovery time, they observed a drop of temperature immediately after physical exercise, while an increase in surface body temperatures followed the recovery time. These researchers conducted an analogous research in a group of handball players. The analysis of surface body temperature after a 10-min recovery time showed an increase in the temperature of the examined areas in all participants. In another study, Chudecka and Lubkowska [44] noted that a return to the initial temperature after a recovery time is more effective in people with a higher value of maximum oxygen uptake. The human body during physical activity has a higher body temperature, due to the increased metabolism of the individual systems. In physiological response to such stimulus as training, cooling mechanisms protecting against hyperthermia are activated, mainly due to increased sweating and vasodilation. Efficient thermoregulation processes are also responsible for returning to pre-exercise temperature. The ability to maintain the thermal balance during daily physical activities and exercises is crucial for the proper functioning of the body [445]. The performed in our group analysis revealed that after physical exercises, a statistically significant decrease in temperature was noted in all age groups, in all areas of the body. The largest temperature reduction was observed in 12-year-olds, while the smallest temperature drop was recorded in the youngest subjects (7-year-olds). After a given recovery time, the temperature did not return to the initial values only in the group of 12-year-olds. The observed significant differences in the body surface temperature between the group of 7-year-olds and 12-year-olds indicate the need to differentiate the level of exercise intensity depending on the age.

When planning training load and physical activity in school curricula, one should take into account individual reactions of thermoregulatory mechanisms in children, as well as the criterion of children's age. Trainers and teachers of sports activities in schools should be acquainted of the thermoregulatory efficiency of the child's body what may constitute the basis for prevention against injuries and strain of the locomotory system in school children.

## Concluding remarks and expert recommendations in the framework of 3P medicine

### Thermoregulation is highly individual and predictive for potentially cascading pathologies

Well-controlled thermoregulation is crucial for physical and mental human health. A relatively narrow body temperature range of 36.5–37 °C is rigorously kept allowing for timely enzymatic reactions by the optimal kinetic window and, therefore, an effective performance of all physiological processes. To this end, feeling cold is a normal response towards changing external temperatures, in order to win back the thermal comfort by physical activity and energy supply based on well-concerted regulation mechanisms. At low temperatures, an adaptive vasoconstriction and an increase in blood pressure and heart rates synergistically result in heat production and conservation for maintaining the optimal body temperature [46]. Maintaining thermal comfort is energetically costly [47] and demands well-organized mitochondrial functionality. Mitochondriopathies causing dysfunction of the mitochondrial respiratory chain are characteristic for several pathologic conditions such as cancerous Warburg transformation and neurodegenerative disabilities [48–50].

For example, abnormal thermoregulation has been demonstrated for breast cancer patients, who are frequently deficient in achieving thermal comfort [51]. They feel excessively hot or cold, when disease-free attenders are well comfortable with ambient temperature conditions [46]. To this end, pro-inflammatory cytokines (IL-1, IL-6, TNF- $\alpha$ ) regulating the immune reactions [52] are frequently overexpressed by cancer patients [53] affecting thermoregulation by activating the cyclooxygenase 2 and production of prostaglandins [54].

Another example: detectable brain temperature disturbances and brain-systemic temperature decoupling are involved in the stroke pathology [55]. Consequently, an altered brain thermoregulation may serve as a neuroimaging biomarker in CNS injury.

In conclusion, altered and deficient thermoregulation is considered an important diagnostic indicator which can be of great clinical utility for specialized screening programs and individualized prediction of pathologies by individualized patient profiling [56]. Contextually, altered thermoregulation patterns are instrumental for specific phenotypes useful for detection of suboptimal health conditions that can be exemplified by the Flammer syndrome phenotype and associated cascading pathologies [51, 57, 58].

### Body exercise-based disease prevention is effective when adapted individually: multi-parametric guidance for prescribing exercises is needed

As stated above, physiologic versus abnormal thermoregulation is functionally linked with regular physical activities and optimal energy supply. These individual components are well-concerted together via systemic effects being therefore highly indicative for individual healthcare status and prediction of associated pathologies. In this context, individually adapted physical activities are crucial for the targeted disease prevention as stated in both *EPMA Position Paper 2021* [59] and a *joint position paper of the Suboptimal Health Study Consortium and European Association for Predictive, Preventive and Personalised Medicine EPMA J. 2021* [60]. To this end, topic-dedicated research groups emphasize an importance of diversified physical activities in early childhood. Thus, most recently performed studies indicate that diversified physical activity at age six is important for developing optimal physical activities in general and, in particular, motor competence in adolescence. The authors do emphasize the point that not only the amount and intensity but specifically an increased diversity of children's daily physical activities is decisive for optimal behavioral patterns and health promotion later on in life [61].

Noteworthy, socioeconomic status was demonstrated to be inversely associated with outcomes related to the intensity and quality of youth physical and sports activity. To this end, a cross-sectional survey with 1038 students in 5–12th grades in the USA (King County and Washington including 50% girls, 58% non-White, and 32% from homes where languages other than English are spoken) was conducted. Responders described their physical activity and sports experiences as well as demographic factors such as family affluence categorized as low, medium, and high [62]. For children from low-affluence families, lower intensity of physical activity and rates of ever playing sports were reported. The barriers to sports these children described are “don't feel welcome on teams” and “too expensive,” among others. The disparity results in three times higher odds of meeting physical activity recommendations as well as three times higher odds of ever participating in sports reported for middle school children from high-affluence families compared to peers from low-affluence families. Consequently, socioeconomic particularities have to be taken into consideration for coaching individually adapted physical activities to reach satisfactory health promoting benefits.

American College of Sports Medicine position stand stated that although general recommendations for physical exercises have been elaborated, *the exercise program should be modified according to an individual's habitual physical activity, physical function, health status, exercise responses, and stated goals* [63]. Further, *behaviorally based exercise interventions, the use of behavior change strategies,*



*supervision by an experienced fitness instructor, and exercise that is pleasant and enjoyable can improve adoption and adherence to prescribed exercise programs.*

Body temperature measurements are instrumental for personalized coaching towards regular physical activities in school children as demonstrated in this article.

**Author contribution** Study concept: ADB

PPPM analysis concepts: OG.

Experimental work: ADB, MS, AS, and HP.

Validation: AS, HP, and OG.

Analysis: ADB, MS, AS, and HP.

Investigation and data interpretation: ADB, MS, HP, and OG.

Original draft preparation: ADB.

Review and editing: HP and OG.

Visualization: ADB, HP, and MS.

Coordination: AS and HP.

**Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL. This research was funded by statutory funds of the University School of Physical Education in Wrocław and the Wrocław University of Science and Technology.

**Availability of data and material** All study relevant data are presented in the manuscript.

**Code availability** Not applicable.

## Declarations

**Ethics approval and consent to participate** The study was conducted under the permission of the Senate Committee of Ethics of Scientific Research at the University School of Physical Education (Permission 28.06.2007).

**Consent for publication** The authors declare that they agree with the publication.

**Competing interests** The authors declare no competing interests.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

- Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, George SM, Olson RD. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA*. 2018;320(19):2020–8. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.14854>.
- Giroir BP, Wright D. Physical activity guidelines for health and prosperity in the United States. *JAMA*. 2018;320(19):1971–2. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.16998>.
- Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol*. 2017;32(5):541–56. <https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000437>.
- Chaput JP, Willumsen J, Bull F, Chou R, Ekelund U, Firth J, Jago R, Ortega FB, Katzmarzyk PT. 2020 WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour for children and adolescents aged 5–17 years: summary of the evidence. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2020;17(1):141. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-01037-z>.
- Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32(1):1–11. <https://doi.org/10.1038/sj.jco.0803774>.
- Ruiz JR, Castro-Piñero J, Artero EG, Ortega FB, Sjöström M, Suni J, Castillo MJ. Predictive validity of health-related fitness in youth: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2009;43(12):909–23. <https://doi.org/10.1136/bjsem.2008.056499>.
- Pascoe M, Bailey AP, Craike M, Carter T, Patten R, Stepto N, Parker A. Physical activity and exercise in youth mental health promotion: a scoping review. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2020;6(1): e000677. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000677>.
- Pate RR, Flynn JI, Dowda M. Policies for promotion of physical activity and prevention of obesity in adolescence. *J Exerc Sci Fit*. 2016;14(2):47–53. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2016.07.003>.
- Graf C. Preventing and treating obesity in pediatrics through physical activity. *EPMA J*. 2011;2(3):261–70. <https://doi.org/10.1007/s13167-011-0091-0>.
- Brown T, Moore TH, Hooper L, Gao Y, Zayegh A, Ijaz S, Elwenspoek M, Foxen SC, Magee L, O'Malley C, Waters E, Summerbell CD. Interventions for preventing obesity in children. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;7(7):CD001871. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001871.pub4>.
- Wendt D, van Loon LJ, Lichtenbelt WD. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. *Sports Med*. 2007;37(8):669–82. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737080-00002>.
- Osilla EV, Marsidi JL, Sharma S. Physiology, temperature regulation. 2021. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021. PMID: 29939615.
- Lim CL, Byrne C, Lee JK. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singap*. 2008;37(4):347–53.
- Knobel RB, Guenther BD, Rice HE. Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease. *Biol Res Nurs*. 2011;13(3):274–82. <https://doi.org/10.1177/1099800411403467>.
- Kasprzyk T, Cholewka A, Kuciewicz M, Sieron K, Sillero-Quintana M, Morawiec T, Stanek A. A quantitative thermal analysis of cyclists' thermo-active base layers. *J Therm Anal Calorim*. 2019;136:1689–99. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7775-9>.
- McLellan TM. The importance of aerobic fitness in determining tolerance to uncompensable heat stress. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2001;128(4):691–700. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(01\)00275-6](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00275-6).
- Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, Nybo L. Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol Scand*. 2005;183(2):181–90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-201X.2004.01390.x>.
- Chudecka M, Lubkowska A, Leźnicka K, Krupecki K. The use of thermal imaging in the evaluation of the symmetry of muscle activity in various types of exercises (symmetrical and

- asymmetrical). *J Hum Kinet.* 2015;49:141–7. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0116>.
19. Gomes LH, Carneiro-Júnior MA, Marins JC. Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *Rev Paul Pediatr.* 2013;31(1):104–10. <https://doi.org/10.1590/s0103-05822013000100017> (English, Portuguese).
  20. Székely M, Garai J. Thermoregulation and age. *Handb Clin Neurol.* 2018;156:377–95. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00023-0>.
  21. Falk B, Dotan R. Temperature regulation and elite young athletes. *Med Sport Sci.* 2011;56:126–49. <https://doi.org/10.1159/000320645> (Epub 2010 Dec 21 PMID: 21178371).
  22. Hunold S, Mietzsch E, Werner J. Thermographic studies on patterns of skin temperature after exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65(6):550–4. <https://doi.org/10.1007/BF00602364>.
  23. Etehadtavakol M, Ng EYK, Chandran V, Rabbani H. Separable and non-separable discrete wavelet transform based texture features and image classification of breast thermograms. *Infrared Phys Technol.* 2013;61:274–86. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2013.08.009>.
  24. Ramirez Valladolid S, Chiwo F, Osorino Martinez C, Cabrera Alonso R, Moncada B, Gonzalez CF. 488 Thermal pattern determination in patients with rosacea using infrared thermography. *J Invest Dermatol.* 2018;138(5):S83. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.03.495>.
  25. Bauer J, Hoq MN, Mulcahy J, Tofail SAM, Gulshan F, Silien C, Podbielska H, Akbar MM. Implementation of artificial intelligence and non-contact infrared thermography for prediction and personalized automatic identification of different stages of cellulite. *EPMA J.* 2020;11(1):17–29. <https://doi.org/10.1007/s13167-020-00199-x>.
  26. Lin YH, Chen YC, Cheng KS, Yu PJ, Wang JL, Ko NY. Higher Periwound Temperature Associated with Wound Healing of Pressure Ulcers Detected by Infrared Thermography. *J Clin Med.* 2021;10(13):2883. <https://doi.org/10.3390/jcm10132883>.
  27. Lubkowska A, Dudzińska W, Bryczkowska I, Dołęgowska B. Body Composition, lipid profile, adipokine concentration, and antioxidant capacity changes during interventions to treat overweight with exercise programme and whole-body cryostimulation. *Oxid Med Cell Longev.* 2015;2015: 803197. <https://doi.org/10.1155/2015/803197>.
  28. Boerner E, Bauer J, Ratajczak B, Dereń E, Podbielska H. Application of thermovision for analysis of superficial temperature distribution changes after physiotherapy comparison of infrared irradiation and cryotherapy. *J Therm Anal Calorim.* 2015;120(1):261–7. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-4026-6>.
  29. Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors (Basel).* 2010;10(5):4700–15. <https://doi.org/10.3390/s100504700>.
  30. Costello J, Stewart I, Selve J, Kärki A, Donnelly A. Use of thermal imaging in sports medicine research: a short report. *International Sportmed J.* 2013;14: 94–98. <http://www.ismj.com/Pages/311417173/ISMJ/journals/Vol-14-No2-2013.asp>. <https://doi.org/10.10520/EJC138120>.
  31. Teyhen DS, Shaffer SW, Lorenson CL, Halfpap JP, Donofry DF, Walker MJ, Dugan JL, Childs JD. The functional movement screen: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(6):530–40. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3838>.
  32. Bonazza NA, Smuin D, Onks CA, Silvis ML, Dhawan A. Reliability, validity, and injury predictive value of the functional movement screen: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2017;45(3):725–32. <https://doi.org/10.1177/0363546516641937>.
  33. Smith CJ. Pediatric thermoregulation: considerations in the face of global climate change. *Nutrients.* 2019;11(9):2010. <https://doi.org/10.3390/nu11092010>.
  34. Dębiec-Bąk A, Pawik Ł, Skrzek A. Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography. *J Therm Anal Calorim.* 2016;126:1633–44. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5623-3>.
  35. Inoue Y, Kuwahara T, Araki T. Maturation- and aging-related changes in heat loss effector function. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2004;23(6):289–94. <https://doi.org/10.2114/jpa.23.289>.
  36. Inbar O, Morris N, Epstein Y, Gass G. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp Physiol.* 2004;89(6):691–700. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2004.027979>.
  37. Leites GT, Cunha GS, Obeid J, Wilk B, Meyer F, Timmons BW. Thermoregulation in boys and men exercising at the same heat production per unit body mass. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(7):1411–9. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3400-4>.
  38. Shibasaki M, Inoue Y, Kondo N, Iwata A. Thermoregulatory responses of prepubertal boys and young men during moderate exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75(3):212–8. <https://doi.org/10.1007/s004210050150>.
  39. Yeargin SW, Casa DJ, Judelson DA, McDermott BP, Ganio MS, Lee EC, Lopez RM, Stearns RL, Anderson JM, Armstrong LE, Kraemer WJ, Maresh CM. Thermoregulatory responses and hydration practices in heat-acclimated adolescents during pre-season high school football. *J Athl Train.* 2010;45(2):136–46. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.136>.
  40. Foster J, Hodder SG, Lloyd AB, Havenith G. individual responses to heat stress: implications for hyperthermia and physical work capacity. *Front Physiol.* 2020;11: 541483. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.541483>.
  41. Cholewka A, Kasprzyk T, Stanek A, et al. May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests? *J Therm Anal Calorim.* 2016;123:1973–9. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4662-5>.
  42. Duffield R, Bird SP, Ballard RJ. Field-based pre-cooling for on-court tennis conditioning training in the heat. *J Sports Sci Med.* 2011;10(2):376–84.
  43. Chudecka M, Lubkowska A. The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature. *Human Movement.* 2012;13(1):33–9. <https://doi.org/10.2478/v10038-012-0002-9>.
  44. Chudecka M, Lubkowska A. Temperatures changes of selected boys surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *J Therm Biol.* 2010;35:379–85. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>.
  45. Rowland T. Thermoregulation during exercise in the heat in children: old concepts revisited. *J Appl Physiol (1985).* 2008;105(2):718–24. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01196.2007>.
  46. Kokolus KM, Hong CC, Repasky EA. Feeling too hot or cold after breast cancer: is it just a nuisance or a potentially important prognostic factor? *Int J Hyperthermia.* 2010;26(7):662–80. <https://doi.org/10.3109/02656736.2010.507235>.
  47. Frank SM, Raja SN, Bulcao CF, Goldstein DS. Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans. *J Appl Physiol (1985).* 1999;86(5):1588–93. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1588>.
  48. Liskova A, Samec M, Koklesova L, Kudela E, Kubatka P, Golubnitschaja O. Mitochondriopathies as a clue to systemic disorders-analytical tools and mitigating measures in context of predictive,

- preventive, and personalized (3P) Medicine. *Int J Mol Sci.* 2021;22(4):2007. <https://doi.org/10.3390/ijms22042007>.
49. Koklesova L, Samec M, Liskova A, Zhai K, Büsselberg D, Giordano FA, Kubatka P, Golubnitschaja O. Mitochondrial impairments in aetiopathology of multifactorial diseases: common origin but individual outcomes in context of 3P medicine. *EPMA J.* 2021;12(1):1–14. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00237-2>.
  50. Samec M, Liskova A, Koklesova L, Samuel SM, Zhai K, Buhrmann C, Varghese E, Abotaleb M, Qaradakh T, Zulli A, Kello M, Mojzis J, Zubor P, Kwon TK, Shakibaei M, Büsselberg D, Sarria GR, Golubnitschaja O, Kubatka P. Flavonoids against the Warburg phenotype-concepts of predictive, preventive and personalised medicine to cut the Gordian knot of cancer cell metabolism. *EPMA J.* 2020;11(3):377–98. <https://doi.org/10.1007/s13167-020-00217-y>.
  51. Golubnitschaja O. Feeling cold and other underestimated symptoms in breast cancer: anecdotes or individual profiles for advanced patient stratification? *EPMA J.* 2017;8(1):17–22. <https://doi.org/10.1007/s13167-017-0086-6>.
  52. Gordon CJ. Temperature and toxicology: an integrative, comparative, and environmental approach (1st ed.). CRC Press. 2005. <https://doi.org/10.1201/9781420037906>
  53. Kurzrock R. The role of cytokines in cancer-related fatigue. *Cancer.* 2001;92(6 Suppl):1684–8. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(20010915\)92:6+%3c1684::aid-cnrc1497%3e3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/1097-0142(20010915)92:6+%3c1684::aid-cnrc1497%3e3.0.co;2-z).
  54. Netea MG, Kullberg BJ, Van der Meer JW. Circulating cytokines as mediators of fever. *Clin Infect Dis.* 2000;31(Suppl 5):S178–84. <https://doi.org/10.1086/317513> (PMID: 11113021).
  55. Dehkharghani S, Fleischer CC, Qiu D, Yepes M, Tong F. Cerebral temperature dysregulation: MR thermographic monitoring in a nonhuman primate study of acute ischemic stroke. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2017;38(4):712–20. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5059>.
  56. Torres Crigna A, Link B, Samec M, Giordano FA, Kubatka P, Golubnitschaja O. Endothelin-1 axes in the framework of predictive, preventive and personalised (3P) medicine. *EPMA J.* 2021;12(3):1–41. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00248-z>.
  57. Polivka J Jr, Polivka J, Pesta M, Rohan V, Celedova L, Mahajani S, Topolcan O, Golubnitschaja O. Risks associated with the stroke predisposition at young age: facts and hypotheses in light of individualized predictive and preventive approach. *EPMA J.* 2019;10(1):81–99. <https://doi.org/10.1007/s13167-019-00162-5>.
  58. Kucera R, Pecen L, Topolcan O, Dahal AR, Costigliola V, Giordano FA, Golubnitschaja O. Prostate cancer management: long-term beliefs, epidemic developments in the early twenty-first century and 3PM dimensional solutions. *EPMA J.* 2020;11(3):399–418. <https://doi.org/10.1007/s13167-020-00214-1>.
  59. Golubnitschaja O, Liskova A, Koklesova L, Samec M, Biringer K, Büsselberg D, Podbielska H, Kunin AA, Evseyeva ME, Shapira N, Paul F, Erb C, Dietrich DE, Felbel D, Karabatsiakos A, Bubnov R, Polivka J, Polivka J Jr, Birkenbihl C, Fröhlich H, Hofmann-Apitius M, Kubatka P. Caution, “normal” BMI: health risks associated with potentially masked individual underweight - EPMA Position Paper 2021. *EPMA J.* 2021;12(3):1–22. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00251-4>.
  60. Wang W, Yan Y, Guo Z, Hou H, Garcia M, Tan X, Anto EO, Mahara G, Zheng Y, Li B, Kang T, Zhong Z, Wang Y, Guo X, Golubnitschaja O; Suboptimal health study consortium and european association for predictive, preventive and personalised medicine. All around suboptimal health - a joint position paper of the Suboptimal Health Study Consortium and European Association for Predictive, Preventive and Personalised Medicine. *EPMA J.* 2021. <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00253-2>.
  61. Melby PS, Elsborg P, Nielsen G, Lima RA, Bentsen P, Andersen LB. Exploring the importance of diversified physical activities in early childhood for later motor competence and physical activity level: a seven-year longitudinal study. *BMC Public Health.* 2021;21(1):1492. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11343-1>.
  62. Tandon PS, Kroshus E, Olsen K, Garrett K, Qu P, McCleery J. Socioeconomic Inequities in youth participation in physical activity and sports. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(13):6946. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136946>.
  63. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1334–59. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>.

**Publisher's note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

## Authors and Affiliations

Agnieszka Dębiec-Bąk<sup>1</sup> · Anna Skrzek<sup>1</sup> · Halina Podbielska<sup>2</sup> · Olga Golubnitschaja<sup>3</sup> · Małgorzata Stefańska<sup>1</sup>

✉ Halina Podbielska  
halina.podbielska@pwr.edu.pl

✉ Olga Golubnitschaja  
olga.golubnitschaja@ukbonn.de

Agnieszka Dębiec-Bąk  
agnieszka.debiec-bak@awf.wroc.pl

Anna Skrzek  
anna.skrzek@awf.wroc.pl

Małgorzata Stefańska  
malgorzata.stefanska@awf.wroc.pl

and Sport Sciences, al. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

<sup>2</sup> Department of Biomedical Engineering, Faculty of Fundamental Problems of Technology, Wrocław University of Science and Technology, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland

<sup>3</sup> Predictive, Preventive and Personalised (3P) Medicine, Department of Radiation Oncology, University Hospital Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 53127 Bonn, Germany

<sup>1</sup> Department of Physiotherapy in Motor Organ Dysfunctions, Faculty of Physiotherapy, Wrocław University of Health



# Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography

Agnieszka Dębiec-Bąk<sup>1</sup> · Tomasz Kuligowski<sup>1</sup>  · Anna Skrzek<sup>1</sup>

Received: 14 April 2019 / Accepted: 15 September 2019 / Published online: 25 September 2019  
© The Author(s) 2019

## Abstract

The research assessed thermoregulation processes in early school-age children. Thermal maps of the subjects' bodies were compared before and after general physical exercise and after post-exercise restitution to establish differences between the sexes. The research involved 40 students aged 7, including 20 boys. The subjects participated in interval training which maintained the pulse at 60–80% HRmax. Measurements of body surface temperatures were taken in 12 fields with ThermoVision FLIR SYSTEM T335 camera before exercise, immediately after exercise and after 15 min of restitution. Statistical analysis was based on the Shapiro–Wilk test to verify the normality of variables, multivariate analysis of variance, Student's *t* test for independent samples and Duncan's post hoc test. The level of statistical significance was established at  $p < 0.05$ . Analysis of the results showed a difference in the distribution of surface body temperatures in boys and girls depending on the studied area. The highest values were recorded in the trunk area, and the lowest in the lower-limb area. Statistical analysis demonstrated that in both groups there was a statistically significant decrease in post-exercise temperatures. The results revealed greater efficiency of thermoregulation processes during restitution in girls, because the values obtained in all measurement fields in Test 3 were higher than the pre-exercise values. In Tests 2 and 3, differences between the sexes were reported mainly in the upper-limb area.

**Keywords** Thermoregulation · Thermogenesis · Children · Thermography · Training

## Introduction

Regular physical activity is crucial in adolescence because it brings numerous health benefits. If it is insufficient, it may cause irregularities in motor organs, obesity, type 2 diabetes and increased susceptibility to infection. Any deviations in the musculoskeletal system are typically corrected by kinesiotherapy in the form of therapeutic exercises. During the exercises, metabolic changes occur in the locomotor system and thermoregulation processes are activated, whose aim is to decrease the body temperature of the exerciser to enable the continuation of physical activity without hazard to the body. Changes reflected by the emissivity of surface body temperature provide

information about temperature variations and achieving post-workout homeostasis of the body [1].

The human body strives to maintain equilibrium regardless of the surrounding environment. This process is known as homeostasis. In order to maintain physiological thermal balance, a number of factors conditioning its proper functioning are activated. Man is a homeotherm, i.e., an organism that maintains constant body core temperature of about 36.7 °C, and its fluctuations are estimated at 0.6 °C [2]. The body temperature is conditioned by two opposite processes—the removal of heat and its production. An important role is played by thermoregulation, which is defined as the ability to maintain a relatively constant body temperature. The main source of heat is the metabolism of the human body, which is determined by basal metabolic rate, the work of skeletal muscles and of hormones thyroxine, adrenaline and noradrenaline, and specific dynamic action of food. Most of the heat is generated in the internal organs, particularly the liver, brain and skeletal muscles during physical activity [3].

✉ Tomasz Kuligowski  
tomasz.kuligowski@awf.wroc.pl

<sup>1</sup> Department of Physiotherapy in Motor Organ Dysfunctions,  
Faculty of Physiotherapy, University School of Physical  
Education in Wrocław, Wrocław, Poland

Among the processes responsible for removing heat, and consequently reducing the body temperature, are evaporation, conduction, convection and radiation [4]. Thermoregulation mechanisms differ with respect to the percentage of heat removal, depending on whether the body is currently at rest or performing physical activity. While at rest, 60% of heat is removed through radiation, whereas during physical exertion 80% of heat is removed through sweat evaporation [5].

Maintaining the proper thermal equilibrium is also affected by the efficiency of chemical thermoregulation. It is based on the ratio of calcium and sodium ions in the posterior hypothalamus. When the amount of sodium ions increases, processes preventing heat loss and stimulating its production are triggered, which result in a higher body temperature. However, increasing the concentration of calcium ions leads to a decrease in body temperature [6].

Depending on which part of the thermoregulatory center is stimulated, feedback processes will begin to lower or increase the body temperature. The anterior hypothalamus is responsible for triggering heat removal mechanisms, whereas its posterior part stimulates heat production and maintenance. Sweat glands also serve an important function because evaporation accounts for significant heat losses [2].

During physical activity, metabolic processes are intensified in order to provide the energy necessary for muscle contraction. These processes result in increased human body temperature. The temperature of relaxed muscles oscillates between 34 and 36 °C, but during moderate training it grows by several degrees in a few minutes. The produced heat is transferred to the blood, and through the circulatory system, it spreads to the entire body. Importantly, during prolonged physical effort, the body temperature does not rise throughout it. After about 30 min, it reaches a level that is maintained until physical exertion finishes. In order to remove excess heat from the surface of the skin, evaporation processes intensify to enable prolonged muscle work. The thermoregulatory response during physical exercise depends on external conditions, body hydration, blood volume, ion concentration in body fluids and physical fitness [7].

Physical activity in a hot environment leads to blood distribution imbalance. The body of an adult person directs part of the blood to the skin, which results from the stimulation of the thermoregulation system, thus reducing the amount transported to the muscles. Venous return is also reduced, thereby lowering the heart's ejection fraction. These changes lead to an accelerated heart rate, which ensures a constant level of cardiac output per minute. A child's body is characterized by worse thermoregulation in high external temperatures. The processes of heat removal through evaporation are less efficient, and the time of

thermal adjustment is longer than in the case of an adult [3, 8].

Physical capacity is subject to significant fluctuations in ontogeny. It is conditioned by many factors, including energy transformation, efficient functioning of the nervous and muscular systems, body size, fluid and electrolyte balance and thermoregulation [9]. Children's physical capacity is lower due to the ongoing maturation processes and the development of the muscular, cardiovascular and nervous systems. Boys' muscle mass during puberty is higher compared to girls due to the production of androgen. The secretion of estrogens in females increases the amount of subcutaneous fat. As age increases, so does the degree of myelination of nerve fibers, the ejection fraction of the heart, the maximum cardiac output per minute and all lung ventilation volumes [10].

The efficiency of the thermoregulation system changes in ontogeny. With age, the human body is characterized by different adaptability and efficiency levels of thermoregulation processes. Dimorphic differences in the thermoregulatory reaction of the body begin to appear in adolescence. An analysis of these changes by means of thermography can provide information about how quickly the body returns to thermal homeostasis after physical exertion by mapping body heat production in the wake of physical exertion. Thermography can also be used in the prevention of injuries and controlling the progression of motor features [11, 12].

The aim of this research was to assess thermoregulation processes in girls and boys in early school age by means of thermographic analysis of surface temperatures in various areas of the body. A comparison of body heat maps of the subjects before and after general physical exercise and after post-exercise restitution was made for both sexes.

## Methods

### Subjects

The study included 40 schoolchildren at the age of 7 attending Primary School number 9 in Opole. The group consisted of 20 boys with a mean body mass of 25.8 kg ( $\pm 3.19$ ) and an average height of 126.5 cm ( $\pm 5.81$ ) and 20 girls with a mean body mass of 24.6 kg ( $\pm 3.06$ ) and average height of 123.2 cm ( $\pm 4.46$ ).

The research was approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the University School of Physical Education (28 June 2007). Informed consent was obtained from all individual participants included in the study. The authors of the research obtained consent from the persons examined with the probe to participate in the research.

The criteria for including the subjects in the research were:

- good health confirmed by the current medical examination of the child (performed by the school nurse and a local primary care health center),
- permission of the head of school to conduct the research,
- consent of parents or legal guardians of the subjects to participate in the research.

The criteria for excluding from the research were a child's ill health or exemption from physical education classes.

## Research methods

Surface body temperatures were recorded using the FLIR SYSTEM T335 thermal imaging camera. The measurements were taken in the physical education teacher's office in the 1:1 system. (Only the researcher and the subject were present in the room.) The research consisted of taking three pictures of the child without outerwear, from the front and back, standing in the standard anatomical position at a distance of 2 meters from the camera. After the first thermogram (Test 1), the children took part in a unit of physical exercise.

Training followed a pattern of general physical exercises which maintained the pulse at 60–80% HR<sub>max</sub>. Heart rate values were measured using Polar FT7 heart rate monitors. The training protocol was similar to the exercise model included in the Functional Movement Screen (FMS) training.

After the end of the exercise, Test 2 was performed, and then after 15 min of restitution, the third thermal image was taken (Test 3).

The subjects had been informed about the test protocol and the proper behavior during the thermal imaging process. The obtained curves were analyzed using the ThermoCAM Researcher 2.10 Pro program, by means of which 12 measurement fields were marked out on the body of the subjects, from the front and back, in a standing position (Figs. 1, 2). Fields A1, A2, A7, A8 show temperature changes in the trunk area, fields A3, A4, A9, A10 represent the area of upper limbs, and fields A5, A6, A11, A12 cover the lower limbs.

## Training unit protocol

The study was based on physical activities similar to the fundamental movement patterns in the FMS training. However, the training unit performed by the subjects was a

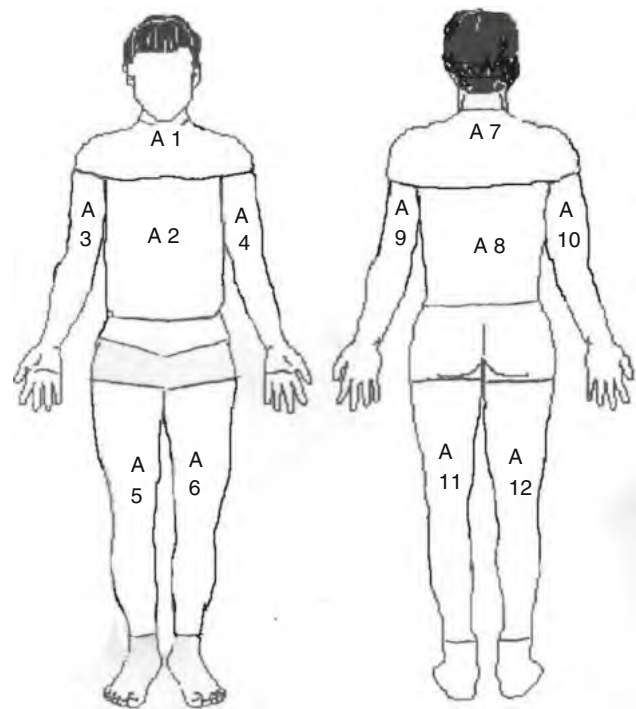


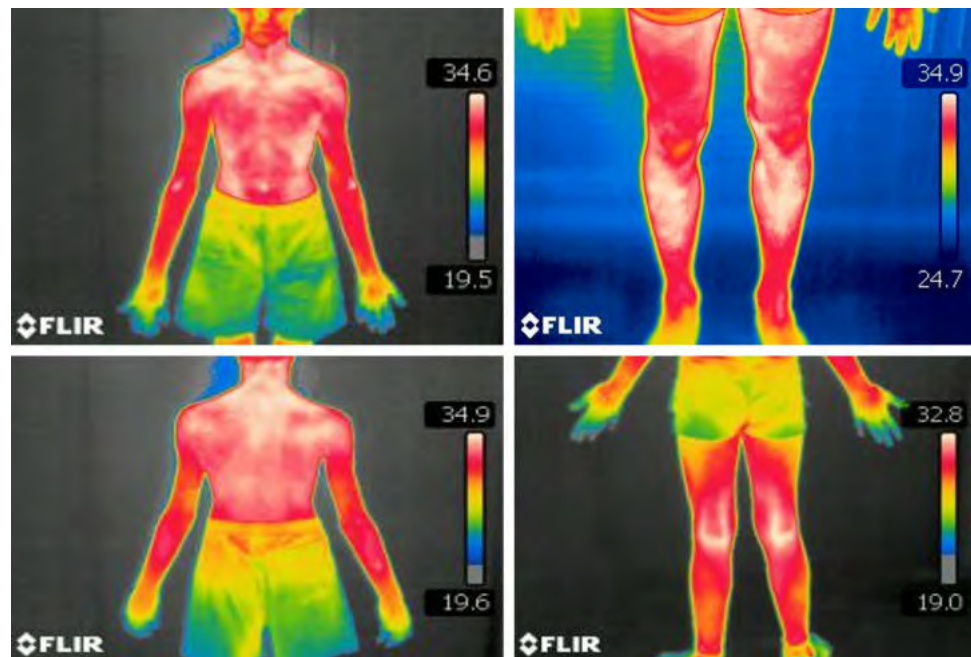
Fig. 1 Measurement fields in 12 body areas

modification of the seven fundamental movement patterns of the FMS. The exercises were preceded by a warm-up consisting of marching on the spot, trotting and exercises activating the shoulder and hip joints in all planes of mobility. The duration of the initial part of the exercise was 10 min. Next, the main part of the training with progressive effort was used, which consisted of a modification of the seven fundamental movement patterns tests of the FMS. Its duration was 30 min.

Each movement pattern was repeated ten times:

- shoulder girdle exercises in all planes and with a load (0.5–1 kg) above the head (overhead squats): they improve central stability, stability of shoulder joints and upper-limb strength,
- dumbbell overhead squats, squat jumps, squats with a cane in front or on the shoulders: they activate the gluteal muscles, biceps, quadriceps femoris, muscles of the torso,
- single-leg squats: they develop leg strength and have a strong stabilizing effect on the ankle and knee,
- split squats: they increase flexibility, balance and strength of the leg,
- stabilization exercises on stable and unstable ground (Bobath balls and mats):
  - supported kneel with uplifts of opposing limbs, e.g., upper right limb—bottom left limb;
  - front holds on the forearms, i.e., the so-called forearm plank;

**Fig. 2** Description of measurement areas (A1–A12)



- front and back holds with the rise of one of the lower limbs;
- side plank with the rise of one of the lower limbs.

The following equipment was used to carry out the training unit: TheraBand tape with low resistance level, exercise canes, medicine and gym balls, balance soft disks, dumbbells and exercise benches.

The part of the training unit in the form of restitution after physical activity consisted of a slow march, reducing the movement amplitude until stop and breathing exercises in a standing position. Its duration was 5–7 min.

## Statistical methods

For statistical calculations, Statistica version 13.0 PI was used. The normality of the analyzed variables was verified by the Shapiro–Wilk test. The arithmetic mean, maximum and minimum values and standard deviation were used to analyze the selected values and describe statistical variables. To test the differences in temperatures between the sex groups, Student's *t* test was carried out. The assessment of differences between the analyzed variables was based on the results of a multivariate analysis of variance (MANOVA) followed by the post hoc Duncan's test. All verified tests and coefficients at the level of  $p < 0.05$  were considered statistically significant.

## Results

An analysis of average temperature values of specific body areas revealed their differentiation. The highest mean values were recorded in the rear view of the A7 field of the shoulder belt (32.9 °C) and the A1 frontal area (32.7 °C). The lowest average values were recorded in the area of the lower limbs in frontal views A5 (28.5 °C) and A6 (29.3 °C).

The difference in mean temperatures of individual body regions in girls was lower than that in boys. The lowest and highest values oscillated between 32.5 °C and 29.1 °C. Similarly to boys, the highest mean temperatures were measured within the shoulder belt in the A7 rear view (32.5 °C) and A1 from the front (32.3 °C). The lowest mean temperatures were recorded in the area of the lower limbs, A5 (29.2 °C) and A6 (29.1 °C). After statistical analysis, no statistically significant differences between the groups were found in any of the areas measured in Test 1 (Table 1).

A statistical analysis carried out with Student's *t* test for independent samples in Test 2 showed statistically significant differences with respect to sexual dimorphism mainly in the area of upper limbs (A9, A10), in the back view of the shoulder belt (A7) and of the lower left limb (A11) (Table 2).

An analysis of the obtained results revealed that sexual dimorphism in the period of post-exercise restitution, i.e., in Test 3, manifested itself only in the upper-limb area in frontal view (Table 3), where the differences were statistically significant.

**Table 1** Temperature differentiation analysis for all measurement fields in girls and boys in Test 1 (Student's *t* test for independent samples)

Measurement field	Average temperature/°C		SD M	Average temperature/°C		<i>t</i>	<i>p</i>
	M	F		M	F		
A1	32.75		1.100	32.35	0.632	1.393	0.172
A2	32.34		1.414	31.87	0.803	1.279	0.209
A3	30.51		0.969	30.49	0.918	0.067	0.947
A4	30.43		0.963	30.34	0.729	0.333	0.741
A5	29.43		0.935	29.25	0.843	0.622	0.538
A6	29.31		1.042	29.12	0.867	0.610	0.545
A7	32.96		0.958	32.58	0.654	1.484	0.146
A8	32.47		1.139	32.22	0.734	0.809	0.424
A9	29.56		0.782	29.35	0.737	0.874	0.387
A10	29.49		0.908	29.28	0.792	0.780	0.441
A11	29.78		1.110	29.42	0.475	1.333	0.190
A12	29.73		1.147	29.38	0.532	1.220	0.230

**Table 2** Temperature differentiation analysis for all measurement fields in girls and boys in Test 2 (Student's *t* test for independent samples)

Measurement field	Average temperature/°C		SD M	Average temperature/°C		<i>t</i>	<i>p</i>
	M	F		M	F		
A1	31.90		1.01	31.34	0.80	1.95	0.06
A2	31.47		1.01	30.87	0.87	1.93	0.06
A3	29.34		0.90	28.97	0.87	1.32	0.19
A4	29.25		0.87	28.76	0.89	1.77	0.09
A5	28.56		0.90	28.51	1.09	0.18	0.86
A6	28.52		0.86	28.33	1.05	0.64	0.52
A7	32.15		1.03	31.38	0.92	2.51	0.02
A8	31.41		1.19	30.78	1.02	1.81	0.08
A9	29.05		0.91	28.39	0.89	2.34	0.03
A10	28.98		0.90	28.22	0.95	2.58	0.01
A11	29.38		1.13	28.68	0.69	2.35	0.02
A12	29.19		1.05	28.73	0.64	1.68	0.11

**Table 3** Temperature differentiation analysis for all measurement fields in girls and boys in Test 3 (Student's *t* test for independent samples)

Measurement field	Average temperature/°C		SD M	Average temperature/°C		<i>t</i>	<i>p</i>
	M	F		M	F		
P1	32.73		0.96	32.83	0.61	- 0.39	0.70
P2	32.42		1.19	32.49	0.67	- 0.25	0.81
P3	30.38		1.05	31.03	0.70	- 2.31	0.03
P4	30.29		1.03	30.87	0.62	- 2.14	0.04
P5	29.69		1.04	30.16	0.69	- 1.68	0.10
P6	29.53		0.98	30.01	0.58	- 1.89	0.07
P7	32.87		0.98	32.86	0.65	0.06	0.95
P8	32.31		1.07	32.46	0.65	- 0.54	0.60
P9	29.71		0.65	30.00	0.76	- 1.27	0.21
P10	29.78		0.77	29.90	0.65	- 0.56	0.58
P11	30.47		2.30	30.02	0.59	0.84	0.41
P12	29.89		1.13	29.97	0.50	- 0.29	0.77

By analyzing the average temperature values of individual body regions, differences in response to physical effort were observed between both sex groups. To illustrate

these changes, the temperature of measurement fields A1, A2, A7, A8 was averaged as a temperature in the area of the torso. The temperature of measurement fields A3, A4,



A9, A10 was averaged and shown as the temperature representing the area of upper limbs, and the average temperature in fields A5, A6, A11, A12 referred to the lower limbs. Immediately after physical activity, temperatures in boys and girls decreased in the area of the trunk (Fig. 3), upper limbs (Fig. 4) and lower limbs (Fig. 5). The changes were greater in girls and oscillated between 0.6 °C and 1.6 °C, while in boys the biggest difference was 1.2 °C.

The differences between the analyzed variables were assessed taking into account the two groups of subjects and the three subsequent tests, based on MANOVA and post hoc Duncan’s test.

In Test 2, the recorded decrease in average temperatures in the trunk area in both groups reached the level of statistical significance (Table 4). The temperature of upper and lower limbs in Test 2 also revealed statistically significant lower values than that in Test 1 (Tables 5, 6).

In Test 3, average body surface temperatures in boys in most of the analyzed areas oscillated close to the initial values. It was observed that only in the area of the lower limbs the temperature exceeded the values recorded during Test 1 in a statistically significant way (Table 3). On the other hand, in Test 3 surface body temperatures in girls in all the measurement fields exceeded the baseline values (Table 3). Statistically significant differences between Test 1 and Test 3 in girls were found in the area of the trunk as well as upper and lower limbs (Tables 4–6).

### Discussion

The correct development of a child is influenced by many factors, including those responsible for the mental state and those connected with the physical sphere. Young people’s physical capacity and fitness are subject to positive changes

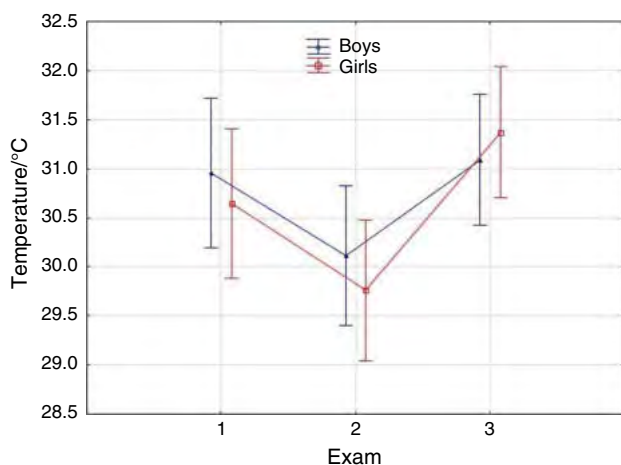


Fig. 3 Change dynamics of average body surface temperatures in both groups in the trunk area

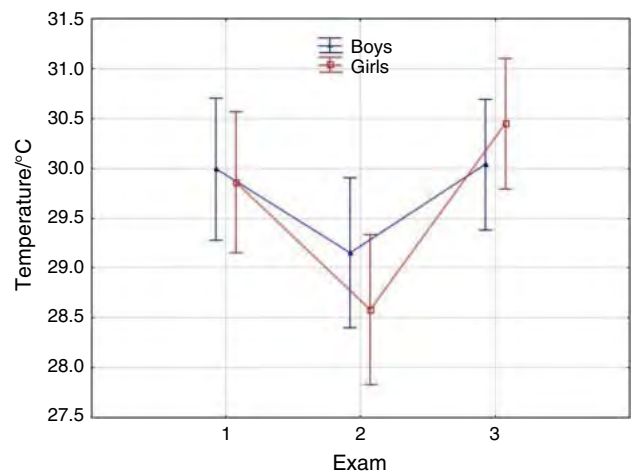


Fig. 4 Change dynamics of average body surface temperatures in both groups in the upper-limb area

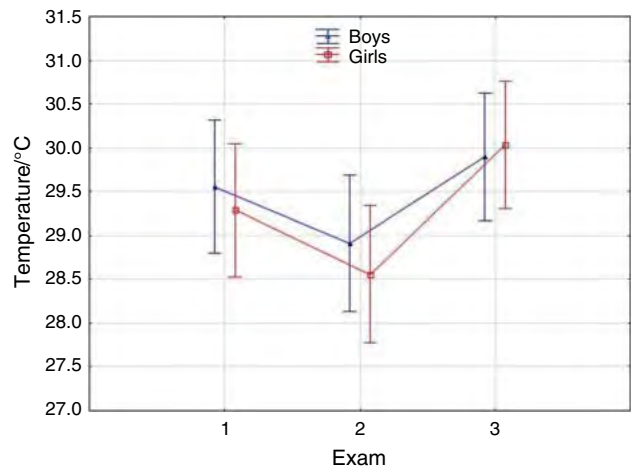


Fig. 5 Change dynamics of average body surface temperatures in both groups in the lower-limb area

Table 4 Detailed presentation of average surface temperatures of the trunk area using Duncan’s test

Sex	Exam	1	2	3	4	5	6
		32.63	31.73	32.58	32.25	31.09	32.66
M	1		0.00	0.76	0.21	0.00	0.91
M	2	0.00		0.00	0.07	0.03	0.00
M	3	0.76	0.00		0.25	0.00	0.80
F	1	0.21	0.07	0.25		0.00	0.01
F	2	0.00	0.03	0.00	0.00		0.00
F	3	0.91	0.00	0.80	0.01	0.00	

in accordance with the principles of ontogeny. In order to assess physical capacity, biological age should be taken into account because the difference between people who are of the same chronological age may reach up to 3 years in terms of biological development. Cardiopulmonary

**Table 5** Detailed presentation of average surface temperatures of the upper-limb area using Duncan's test

Sex	Exam	1 29.99	2 29.15	3 30.04	4 29.86	5 28.584	6 30.447
M	1		0.00	0.81	0.59	0.00	0.08
M	2	0.00		0.00	0.00	0.02	0.00
M	3	0.81	0.00		0.50	0.00	0.10
F	1	0.59	0.01	0.50		0.00	0.00
F	2	0.00	0.02	0.00	0.00		0.00
F	3	0.08	0.00	0.10	0.00	0.00	

**Table 6** Detailed presentation of average surface temperatures of the lower-limb area using Duncan's test

Sex	Exam	1 29.557	2 28.911	3 29.893	4 29.291	5 28.560	6 30.039
M	1		0.00	0.02	0.32	0.00	0.09
M	2	0.00		0.00	0.16	0.19	0.00
M	3	0.02	0.00		0.03	0.00	0.58
F	1	0.32	0.16	0.03		0.00	0.00
F	2	0.00	0.19	0.00	0.00		0.00
F	3	0.09	0.00	0.58	0.00	0.00	

parameters, muscle strength, fluid and electrolyte management, development of the central and peripheral nervous system and the efficiency of thermoregulation processes determine physical capacity. Changes in the individual systems occur at various stages of development and with varying intensity. The development of the nervous system is the fastest, whereas the reproductive system matures most slowly.

Children's physical capacity is influenced by properly conducted training. Physical activity should be encouraged regardless of age and not only to improve capacity, but also to ensure that body mass and the amount of fat are at the correct reference level [10]. However, it is necessary to make certain that physical activity is appropriately matched to children's motor abilities and physical capacity. This is a form of prevention against the risk of injury and excessive burden to the motor organ [8].

Increased blood supply to muscles during physical exercise, their overload due to the influence of physical activity and lack of post-exercise restitution affect changes in the thermogenesis of the body. By measuring the surface body temperature of athletes with back pain, Badza [11] was able to determine the exact location and advancement of dysfunction. As a result, the athletes received special

local cooling treatment as part of the physiotherapeutic procedure.

In this research, differences in surface body temperatures were observed between boys and girls in the individual measurement fields. The highest average temperature values were measured in the shoulder belt and the trunk area. Lower values were recorded in the lower-limb area. A similar distribution of temperatures was described by Chudecka and Lubkowska [13], who examined a group of healthy men and women aged 20–23. The differences in the anatomical structure of the lower limbs and torso can be the reason for variation in the distribution of surface body temperatures.

The torso contains organs that constitute the main source of heat in humans, which is additionally distributed through large blood vessels. Heat generated in lower-limb muscles is distributed through small capillaries [14]. The fact that the surface of the lower limbs is larger in relation to their volume results in easier heat transfer, which may be the reason for the observed differences in the distribution of surface body temperatures. Another element that could explain the differences in the obtained measurements is the amount of adipose tissue. Because it is a poor conductor of heat, lower body temperatures are recorded in areas of its high accumulation [15]. Similar conclusions were drawn by Sobiech et al. [16], whose research showed that the temperature of body areas with a higher content of adipose tissue is lower.

The energy generated by the human body (about 60%) is released as infrared radiation (IR), which makes it possible to measure the distribution of temperatures on human skin. Thermal energy emitted from the core of the body is mainly supplied by blood flow. Heat transfer also occurs on the skin surface through sweating and evaporation, convection and conduction. All these processes that are performed to maintain thermal homeostasis are controlled by the hypothalamus—it is responsible for controlling blood flow and monitoring thermoregulatory mechanisms. If the human thermostat is not stimulated, thermoregulation processes result from a specific pattern. Heat transfer is closely related to the temperature gradient between the body surface and the environment. At rest, thermal energy is transported to skeletal muscles from the core of the body. The proximity of large body cavities and the internal organs inside them affects the surface temperature distribution; hence, the thermal map of the body can present the distribution of the warmest regions in the trunk, corpus and then upper and lower limbs [15, 20].

This research has shown a statistically significant decrease in the surface body temperature in the area of the trunk, upper limbs and lower limbs after general physical training in both girls and boys. Similar results were obtained by Chudecka and Lubkowska, whose research

was conducted on a group of volleyball players. The players did a 90-min workout. Thermographic measurements were taken before, immediately after and 10 min after the completion of the workout. The measurements taken immediately after the exercises showed a statistically significant decrease in temperature. The efficiency of the athletes' thermoregulation system enabled them to continue physical effort without increasing their core body temperature [17]. Systematic training improves physical capacity. Thanks to this, during physical exertion there is a smaller increase in core temperature, whereas the amount of sweat excretion increases. These processes decrease the temperatures recorded on the body surface [18].

Korman et al. [19] observed in their analysis that body temperatures in a group of Polish runners decreased as a response to physical activity. This change was noticed immediately after the warm-up, and measurements taken after the main part of the exercise showed that the temperatures remained at a very similar level. Such a rapid response of the body to physical effort indicates the proper functioning of the thermoregulation system. Research by Kasprzyk et al. [20], which analyzed the efficiency of thermoregulatory processes in cyclists, demonstrated an analogous reaction of the body thermostat in response to physical activity in the form of cycloergometer exercise.

Having analyzed the thermoregulatory response of the human body to cycling endurance test, Cholewka et al. [21] demonstrated a decrease in body surface temperature at the beginning of the test. It is connected with the movement of blood in the cutaneous vasculature to the muscles, where the work is done and oxygen is needed. In fact, blood circulation is very important in the transport of body heat. However, the exchange of heat on the surface of the body will not take place immediately because of the time needed for microcirculation changes in the capillaries, which are responsible for the temperature of the skin. These processes are dependent on each other. Heat transport takes time, which is a consequence of body core thermoregulation inertia. The mechanism of heat exchange is activated when information about body and blood temperature change is delivered to the hypothalamus.

The literature on the subject contains works that emphasize differences in the process of thermoregulation between children and adults during exercise. Falk and Dotan [7] highlight metabolic, morphological and cardiovascular differences and above all less effective perspiration as the biggest physiological discrepancy between the two groups. Due to the above, the amount of sweat produced in children is small [22]. The results of research carried out by Bar-Or et al. [23] emphasize that the reduced production of sweat in children compared to adults is more pronounced in boys than in girls. When analyzing the results of the research described in this paper, lower body

temperatures in the torso and upper-limb areas were observed in girls directly after the physical activity. This may indicate that the sweating and cooling process is more developed in girls than in boys.

By analyzing surface body temperature distribution after post-workout restitution in boys and girls, it was possible to determine that temperature values increased in both groups, although there were intergroup differences. In Test 3, an increase in the initial temperatures was observed in all the measured areas in girls, whereas in boys this parameter increased only in the area of the lower limbs. It should be noted that thermographic measurements in Test 2 showed a greater reduction in temperature in girls than in boys, and yet after 15 min of restitution the girls' body surface temperatures exceeded the temperatures measured in Test 1. The obtained results may suggest that the thermoregulation system in 7-year-old girls included in this research functioned more efficiently than in boys.

The results of this research are similar to the conclusions of Cholewka et al. who, by analyzing the surface body temperatures of cyclists, showed a similar relationship in the athletes' thermal map gradient during the training unit and in the restitution process. The authors observed temperature distributions similar to the results obtained in this research and also demonstrated the usefulness of thermal imaging as a diagnostic tool in sport and as a useful method in assessing sports performance [21].

Hunold et al. [24] also studied how surface body temperatures change in response to physical effort. The research subjects underwent cycloergometer exercise at 100 W. Curves of the thighs and forearms were taken before, during (5 min) and after 10 min of exercise. The initial temperature was 31.9 °C, and after 5 min a regression of 0.4 °C was recorded. The body temperature after 10 min was greater than that at the beginning (32.4 °C). The researchers explained the increase in temperature in the third measurement as the beginning of the widening of blood vessels, i.e., vasodilatation.

In order to observe the efficiency of thermoregulatory processes both while performing physical activity and during restitution, Merla et al. [25] studied a group of 15 runners. The subjects ran on a treadmill until each of them achieved individually determined maximum heart rate. As it was the case in Korman's study, a reduction of surface body temperatures already occurred after the warm-up. The obtained values were 3–5 °C lower than those at the beginning of the test. During restitution, an increase in body temperatures was measured in all the studied areas (forearm, torso, thighs), but this process was observed first in peripheral parts.

Due to their noninvasiveness and ease of conducting, thermographic tests are becoming increasingly often used to assess the efficiency of thermoregulation processes and

consequently to assess the physical capacity of human beings.

This research was conducted in order to evaluate thermoregulation processes in early school-age girls and boys as a way of monitoring the load of training or therapeutic exercise in children and preventing musculoskeletal injuries.

## Conclusions

1. Thermographic tests showed that the distribution of body surface temperature differed in boys and girls depending on the measurement field. The thermal map of the body of the examined children presented a similar gradient of the tested parameter.
2. After general physical exercise, a statistically significant decrease in temperature in all the measurement fields was recorded in both groups, although it was higher in the group of girls.
3. The results of this thermographic study demonstrated a greater efficiency of thermoregulation processes in girls, whose body temperatures changed faster in response to physical effort. During post-exercise restitution in girls, it was observed that temperature values returned to and exceeded the baseline values in all the measurement areas.

**Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

## References

1. Dębiec-Bąk A, Pawik Ł, Skrzek A. Monitoring the training process in thermovision studies. In: Podbielska H, Skrzek A, editors. Biomedical applications of thermovision. Wrocław: Wrocław University of Technology Publishing House; 2014.
2. Falk B, Dotan R. Temperature regulation and elite young athletes. *Elit Young Athl.* 2010;56:126–49.
3. Székely M, Garai J. Thermoregulation and age. *Handb Clin Neurol.* 2018;156:377–95.
4. Ganong WF. Central regulation of visceral activities. *Physiology.* Warsaw: Medical Publisher PZWL; 2009.
5. Davis JK, Baker LB, Barnes K, Ungaro C, Stofan J. Thermoregulation, fluid balance, and sweat losses in American football players. *Sport Med.* 2016;46:1391–405.
6. Dębiec-Bąk A, Skrzek A. Comparison of the body surface temperature distribution of men and women using thermovision. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2012;18(1):25–30.
7. Falk B, Dotan R. Children's thermoregulation during exercise in the heat—a revisit. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33:420–7.
8. Sinclair WH, Crowe MJ, Spinks WL, Leicht AS. Pre-pubertal children and exercise in hot and humid environments: a brief review. *J Sport Sci Med.* 2007;6:385–92.
9. Pham DD, Lee JH, Park ES, Baek HS, Kim GY, Lee YB, Ku BC, Kim JY, Leem CH. Thermoregulatory responses to graded exercise differ among Sasang types. *Evidence Based Complement Altern Med.* 2015;2015:1–10.
10. Yeargin SW, Casa DJ, Judelson DA, McDermott BP, Ganio MS, Lee EC, Lopez RM, Stearns RL, Anderson JM, Armstrong LE. Thermoregulatory responses and hydration practices in heat-acclimatized adolescents during preseason high school football. *J Athl Train.* 2010;45:136–46.
11. Badza V, Jovancević V, Fratrić F, Roglić G, Sudarov N. Possibilities of thermovision application in sport and sport rehabilitation. *Vojnosanit Pregl.* 2012;69(10):904–7.
12. Luis HL, Gomes S, Carneiro-Júnior MA, Carlos JB, Marins S. Thermoregulatory responses of children exercising in a hot environment. *Rev Paul Pediatr.* 2013;31(1):104–10.
13. Chudecka M, Lubkowska A. Thermal maps of young women and men. *Infrared Phys Technol.* 2015;69:81–7.
14. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Jonak A. Differentiation of surface temperature of the body under the influence of various stimuli in thermovision studies. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2009;15(4):322–7.
15. Skrzek A, Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Sobiech KA. Analysis of variability of body surface temperature distribution in thermovision studies. Wrocław: In Biomedical applications of thermovision. Wrocław University of Technology Publishing House; 2014.
16. Sobiech K, Skrzek A, Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Socha M, Jonak W. Dynamics of body temperature changes in women under the influence of systemic cryotherapy. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2009;15(4):315–8.
17. Chudecka M, Lubkowska A. The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature. *Hum Mov.* 2012;13(1):33–9.
18. Chudecka M, Lubkowska A. Thermovision assessment of temperature changes of the basketball body surface after training. *Acta Bio Opt Inform Med.* 2011;17(4):271–4.
19. Korman P, Straburzyńska-Lupa A, Kusy K, Kantanista A, Zieliński J. Changes in body surface temperature during speed endurance work-out in highly-trained male sprinters. *Infrared Phys Technol.* 2016;78:209–13.
20. Kasprzyk T, Cholewka A, Kucwicz M, Sieroń K, Sillero-Quintana M, Morawiec T, Stanek A. A quantitative thermal analysis of cyclists' thermo-active base layers. *J Therm Anal Calorim.* 2019;136:1689–99.
21. Cholewka A, Kasprzyk T, Stanek A, Sieroń-Stożny K, Drzazga Z. May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests? *J Therm Anal Calorim.* 2016;123(3):1973–9.
22. Janiec I, Werner B. Treadmill tests in children. *Pediatr Pol.* 2012;87(1):58–64.
23. Bar-Or O. Thermoregulation in females from a life span perspective. In: Lamb DR, Clarkson PM, editors. Exercise and the female: a life span approach. Traverse City: Cooper Publishing Group; 1996.
24. Hunold S, Mietzsch E, Werner J. Thermographic studies on patterns of skin temperature after exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1992;65:550–4.
25. Merla A, Mattei PA, Di Donato L, Romani GL. Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. *Ann Biomed Eng.* 2010;38(1):158–63.

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

# Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography

Agnieszka Dębiec-Bąk<sup>1</sup> · Łukasz Pawik<sup>1</sup> · Anna Skrzek<sup>1</sup>

Received: 9 January 2016 / Accepted: 11 June 2016  
© Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary 2016

**Abstract** The aim of the study was to assess the impact of cryotherapy on changes of surface body temperature and efficiency of thermoregulatory processes in relation to the intensity of cryogenic stimuli. The study included 30 football players and 30 students. Intervention: both groups were divided into three subgroups treated with cryostimulation at  $-100$ ,  $-120$  and  $-140$  °C. Body surface temperature was measured at baseline (before cryostimulation), 5 and 30 min after the treatment. Regions of trunk, lower limbs and upper limbs were examined. The difference of baseline raw curves and raw curves performed directly and 30 min after cryotherapy at the three levels of temperature in both studied groups. Baseline surface body temperature was lower in athletes than in student. Decrease in surface temperature observed after cryotherapy was significant and greater in football players than in students. The drop in surface temperature in athletes by  $4.87^{\circ}$  in the regions of upper limbs, trunk by  $5.9$  °C and lower limbs by  $7.81$  °C was reported. After 30-min restitution, the surface temperature restored to baseline in all subjects in all examined regions with greater dynamics in athletes. The study results indicate better effectiveness of thermoregulatory processes in football players. In this group, the greatest changes in temperature occurred after cryostimulation at temperature  $-120$  °C.

Further research is required to assess recommended values of thermal stimuli.

**Keywords** Sport · Thermography · Whole-body cryotherapy

## Introduction

Rapid advances in cryogenics became a basis for the development of methods of the use of low temperatures in biological regeneration of athletes from various sports disciplines. Scientific researches are performed in order to analyse efficacy of methods that improve body adaptation to effort during intensive training process influencing physical endurance of an athlete.

The whole-body stimulation by extremely low temperatures aims at cooling the whole organism in order to achieve positive physiological effects. Intensity of whole-body cooling depends on temperature of cryostimulation and its duration. Precise parameters of this procedure are recommended in numerous papers. The body adaptation takes place in a pre-chamber in temperature range from  $-50$  to  $-60$  °C and lasts tens of seconds. In a cryochamber, the temperature ranges from  $-110$  to  $-160$  °C and the duration of therapy does not exceed three minutes [1]. Review of the research papers, which analyse the use of extremely low temperatures in sports, shows popularity of this physical method in improving regeneration after training effort as well as facilitating and enhancing efficacy of rehabilitation after injuries [2, 3]. Studies on the application of cryostimulation treatments proved beneficial effect of extremely low temperatures on trained body of an athlete resulting in increase in pain threshold, reactivation of antioxidants and reduction in inflammation metabolites

---

✉ Łukasz Pawik  
lukaszpawik@gmail.com  
Agnieszka Dębiec-Bąk  
agnieszka.debiec-bak@awf.wroc.pl  
Anna Skrzek  
anna.skrzek@awf.wroc.pl

<sup>1</sup> Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education in Wrocław, Al. I. J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

[4]. Cooling the whole body by extremely low temperatures is regarded as a “method of recovery” in biological regeneration. Combining cryostimulation with specialised training enables obtaining a high level of efficiency by an athlete and simultaneously reduces the risk of injuries [5].

Capabilities of performing intensive efforts and obtaining good sports results are the basis and crucial part of training work of an athlete. Motor activity increases metabolism. It has an effect on acceleration of blood flow, which causes the faster oxygen transport. It also elevates body temperature, which is additionally affected by the work of the muscles. A very important physiological reaction in sports is an increased capability to remove heat from the organism through the ability to quick perspiration and mechanisms limiting the increase in the internal temperature [6].

Changes observed in skin surface temperature largely provide information about the efficiency of thermoregulatory processes. They have a great impact on the return of the body to homeostasis after effort. Efficiency of the thermoregulatory system is an important element of body adaptation to physical effort. Thermoregulation is the ability of an organism to keep constant body temperature. Athletes in relation to regular trainings and a high level of sports performance are probably better prepared to cope with physical effort. Their defence mechanisms should function better in comparison with people who do not practice sports [7].

Thermography is a non-invasive and safe diagnostic method. Thermography is a non-invasive and safe diagnostic method. It is used for diagnostics and monitoring in several fields such as electrical components [8], thermal comfort [9], buildings [10], artworks [11], security [12], ceramics [13] and composite materials [14]. Thermographic examinations allow to analyse thermoregulatory reactions and enable to locate various types of inflammatory processes, which may later cause injuries. With thermography, physiological status of examined tissues or organs may be determined on the basis of non-visible infrared radiation emitted by them. Thermography is a very sensitive and extremely precise examination, which enable to create a thermal map presenting the temperature distribution on the skin surface [15, 16].

The analysis of raw curves is mainly based on comparison of surface temperature distribution registered from different parts of the body. It enables morphological and functional imaging of selected body surface. This is possible thanks to the fact that human body emits a large spectrum of infrared radiation and thermography allows us to visualise the signal emitted by it. Many studies have revealed considerable differences in thermographic examinations of body surface temperature among athletes practicing various sports disciplines. This indicates

differentiation of factors which are not yet fully known. It may be only assumed that they are related to age, type of physical activity and changes in peripheral circulation [17].

A wide range of cryostimulation treatments suggested by many authors, frequently scientifically unjustified, do not provide a clear basis for the recommended dosage in biological regeneration of athletes.

Our proposed research experiment allowed us to demonstrate the action of extremely low temperatures on changes of surface body temperature and efficiency of thermoregulatory processes in athletes practicing football professionally and volunteers who do not practice sport professionally. The analysis of changes of body temperature in relation to applied cryostimulation ( $-100$ ,  $-120$ ,  $-140$  °C) allows the authors to define these that have the greatest impact on the body of examined subjects. Obtained results may be used in clinical practice as they help to optimise the use of extremely low temperatures in biological regeneration.

## Materials and methods

A group of 60 young males aged between 19 and 25 years (mean age  $21.9 \pm 1.96$ ) took part in the research experiment. All of them gave their written informed consent for participation in the study after being informed about the study procedures. The research was approved by the local Commission of Ethics. One of the research groups (*F*) encompassed 30 athletes—football players (mean age  $21.58 \pm 1.55$ ) from class III team league from Lower Silesian Voivodeship, volunteers regularly training football. The other group (*S*) consisted of 30 volunteers (mean age  $22.22 \pm 1.64$ )—students, who were qualified to this research experiment by a specialised physician on the basis of valid control tests. In each of the study groups (football players—*F*; students—*S*), participants were randomly assigned to the three subgroups (1–3) of 10 subjects each and subjected to treatments in cryochamber in the following temperatures:  $-100$ ,  $-120$  and  $-140$  °C. The study procedure for the subgroups is presented in Table 1.

## The study protocol

The examinations were performed in Cryotherapy Laboratory of Prevention and Rehabilitation Centre.

Examination I was performed at baseline before cryostimulation and included blood pressure parameters measurement and registration of body surface temperature by a thermal camera directly before treatment. Next, the research experiment was conducted. The study volunteers were subjected to exposure to extremely low temperatures in cryochamber according to parameters presented in

**Table 1** Procedure of cryogenic treatments in subgroups

Subgroups	Pre-chamber		Cryochamber	
	Temperature/°C	Duration/min	Temperature/°C	Duration/min
1F, 1S	-60	1	-100	3
2F, 2S	-60	1	-120	3
3F, 3S	-60	1	-140	3

F group of football players, S group of students

Table 1. Treatments were performed in the cryochamber type CR-2002/05/E covered by patent no 193363 certified by the CE Certificate (CREATOR Sp. z o.o., Wrocław, Poland). This cryogenic chamber is designed to perform systemic cryotherapy and biological regeneration treatments by application of short-term exposure to temperatures from  $-100$  to  $-160$  °C. The structure of the cryochamber consists of a vestibule (pre-chamber) and treatment chamber. To meet the safety conditions of systemic cryotherapy treatment, with each participant blood pressure was measured before entering the cryochamber. According to the rules of Cryotherapy Laboratory, blood pressure may not exceed 150/100 mmHg. All participants had the same treatment attire including a T-shirt, sports shorts, socks, gloves, ear muffs or a cap made of natural materials. Additional equipment consisted of a mask and shoes with wooden soles as protective footwear was provided for all participants.

After cryostimulation, surface body temperature was registered with thermal camera on Examination II—5 min after cryotherapy, and Examination III—30 min after cryotherapy.

### Hemodynamic parameters measurement

To meet the safety conditions of performing systemic cryotherapy treatment, blood pressure (mmHg) was measured before each entering to the cryochamber. The measurement was taken with the use of BIG BEN sphygmomanometer with measuring scale from 0 to 300 mmHg and maximum error tolerance  $\pm 3$  mmHg. Before the readings, examined person rested for 15 min in sitting position. The cuff was located on the left arm of the subject who stayed in sitting position with his arm resting on a firm surface. Hemodynamic measurements were taken by the same person in the same, repeatable conditions at the same time of the day in the afternoon (16.00 h), including circadian rhythm.

### Surface body temperature registration

Surface body temperature was registered with the use of thermal camera—ThermoVision A20 M Researcher (Technical

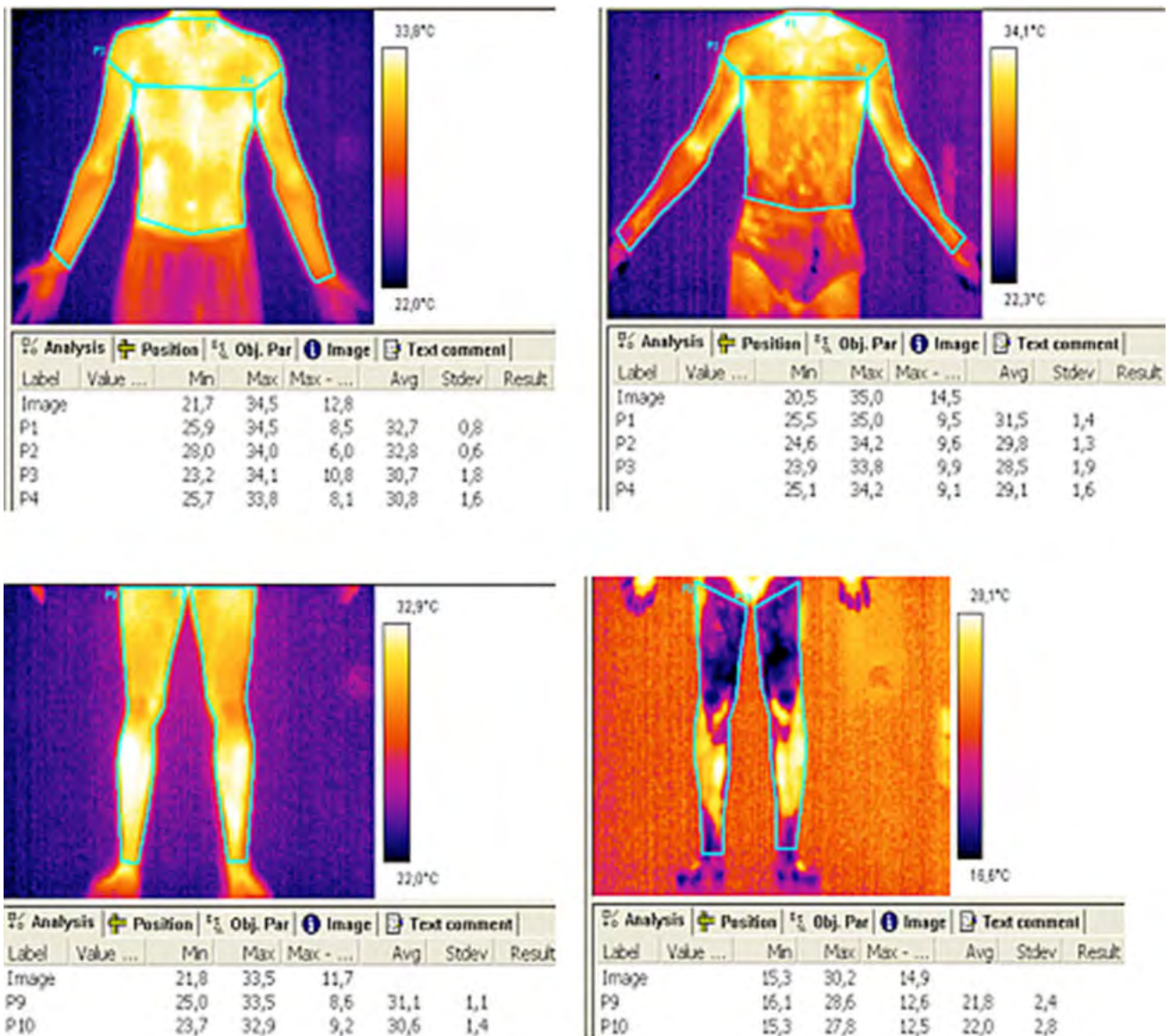
Specifications — field of view/min focus distance:  $19^\circ \times 14^\circ$  0.3 m; spectral range 7.5–13  $\mu\text{m}$ ; spatial resolution [IFOV] 2.7 mrad; and automatic emissivity correction: variable from 0.1 to 1.0) and transmitted to personal computer type PC with the Therma CAM Researcher Professional 2.9 software installed. The body temperature registration took place in dedicated laboratory. Examinations were performed three times: directly before cryostimulation (Examination I), five (Examination II) and 30 min (Examination III) after the treatment. Measurements of minimal, maximum and mean temperature from selected body regions were taken in standing position. The thermal images were captured from both the front and the back side of the body from the distance of 2 m (Figs. 1, 2). Before capturing raw curves, the subjects remained without outerwear (only in underwear) for about 10 min in order to equalise body temperature. Qualitative and quantitative analysis of thermal images was performed in 10 regions of the body: trunk area, left and right upper limb as well as left and right lower limb (captured from the front and from the back).

For the purpose of statistical analysis, results of raw curves were averaged as follows: the front and the back side measurements were averaged, and measurements from left and right extremities were averaged. Finally, three areas (upper extremities, trunk and lower extremities) were compared.

### Statistical analysis

Statistical analysis was carried out with the use of Statistica PL software v.9 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, USA). The examined variables were tested by Shapiro–Wilk test, which showed no evidence to reject the hypothesis of normal distribution.

Statistical analysis of examined parameters is presented by means of arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variation and 95 % confidence intervals. In order to assess differences between parameters in the group of football players (F) and students (S), the analysis of variance (ANOVA) was applied along with the post hoc comparison with the use of the least significant differences (LSD) method. In all applied statistical methods, values of tests and coefficients on the level of  $p \leq 0.05$  were regarded statistically significant.



**Fig. 1** Sample thermal images, showing temperature differences in the tested areas of the body, before and after cryostimulation ( $-120\text{ }^{\circ}\text{C}/3\text{ min}$ ) in case of football player

**Results**

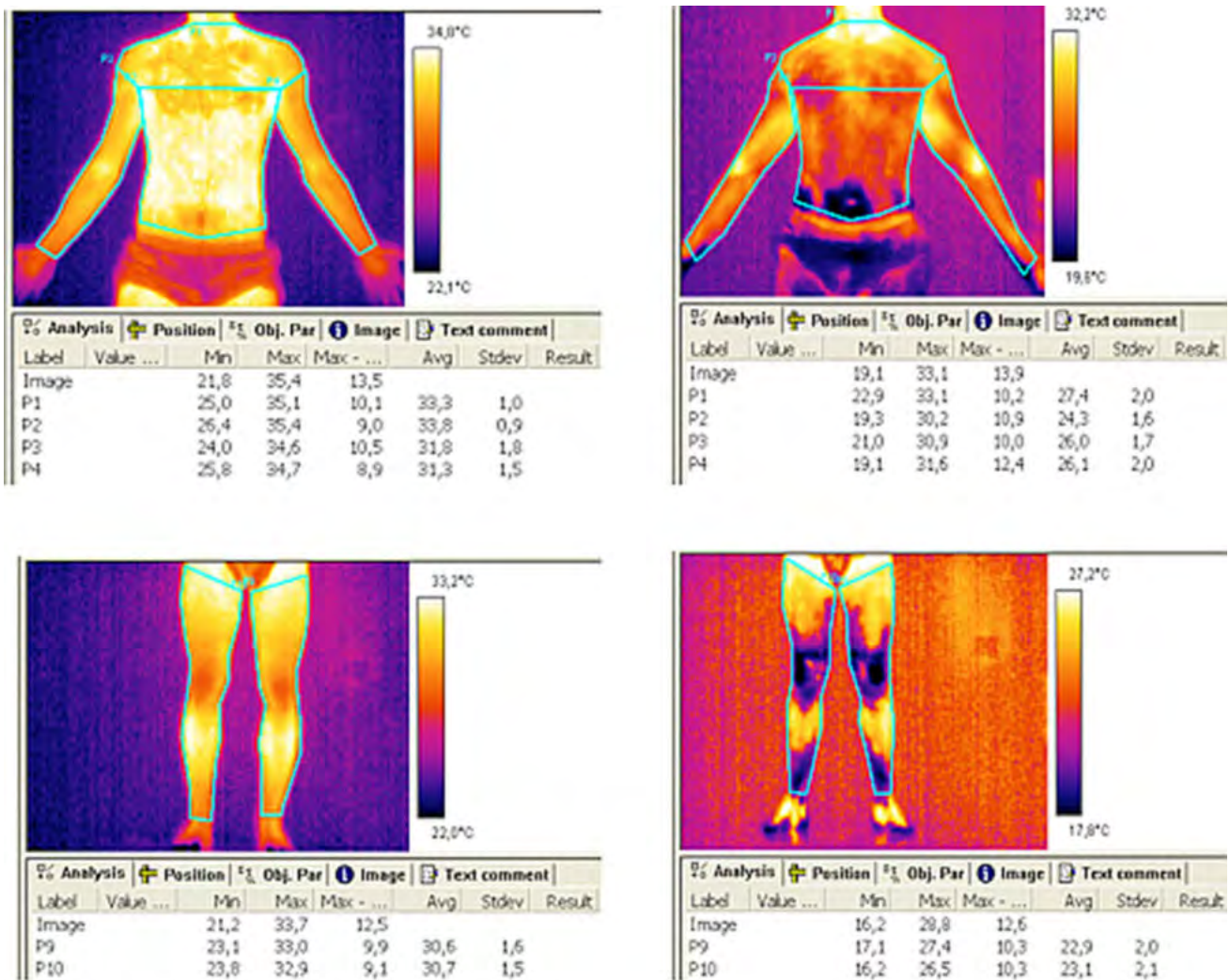
There is no significant statistical difference between both investigated groups in terms of weight and height of the body and the BMI index (Table 2). All subjects constituted a homogeneous group in terms of basic somatic characteristics; therefore, no additional detailed body composition research, for example with the bioimpedance method, was performed.

Analysing significance of differences between body temperature values before cryostimulation (Examination I) and directly after its application (Examination II) statistically significant differences with  $p$  value below 0.001 was

found, both in the group of students and in the group of football players. Such changes were observed in all examined regions that is in the upper limbs (Table 3), trunk (Table 4) and in the lower limbs (Table 5).

Analysing significance of differences between mean body temperature in the group of students after 30-min restitution (Examination III) statistically significant differences was found in comparison with the baseline values in all examined regions except lower limbs ( $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). This indicates that in the group of student temperature level did not return to baseline values after 30 min after cryostimulation treatment in nearly any of the analysed regions. On the other hand, in the group of football players, the





**Fig. 2** Sample thermal images, showing temperature differences in the tested areas of the body, before and after cryostimulation ( $-120\text{ }^{\circ}\text{C}/3\text{ min}$ ) in case of students

**Table 2** The BMI index variation between the examined groups (LSD method)

Group	Mean	Athlete $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 23.588	Athlete $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 23.739	Athlete $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 24.127
Student $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$	24.727	0.336857	0.404312	0.612287
Student $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$	23.256	0.782849	0.688513	0.469826
Student $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$	23.717	0.913017	0.985275	0.728403

temperature did not return to baseline values only in three regions: trunk ( $-140$  and  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and in the region of lower limbs ( $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) after 30 min after cryostimulation treatment, presenting significant differentiation in relation

to baseline temperature (Examination I). In the remaining six out of nine regions, the temperature returned to baseline values and did not show significant differentiation.

Confirmation of conducted analyses of differentiation between the group of athletes and students is the graphical presentation of surface temperature changes in selected regions of the body in consecutive examinations (Figs. 3–5). All intergroup comparisons reveal that mean surface temperature was lower in the group of athletes. Significantly greater body reaction to extremely low temperatures in Examination II and fast return to baseline values in Examination III is observed in athletes. The dynamics of these changes is much lower in the group of students.

In case of application of cryostimulation at temperature  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figs. 3–5), significant differences between baseline temperature (Examination I) in students and football players were not found. Directly after the treatment, the differences of mean values of temperature

**Table 3** Comparison of means of the surface body temperature in the region of upper limbs (probabilities for post hoc tests with LSD method)

No.	Group	<i>T</i>	<i>E</i>	1 31.604	2 27.910	3 30.490	4 32.983	5 30.208	6 31.921	7 32.400	8 29.883	9 31.081
1	Student	-140	I		<b>0.0000</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0005</b>	0.4202	<b>0.0399</b>	<b>0.0000</b>	0.1754
2	Student	-140	II	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
3	Student	-140	III	<b>0.0012</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	0.4731	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>	0.1157	0.1264
4	Student	-120	I	<b>0.0006</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0028</b>	0.1389	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
5	Student	-120	II	<b>0.0005</b>	<b>0.0000</b>	0.4731	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.4076	<b>0.0275</b>
6	Student	-120	III	0.4202	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0028</b>	<b>0.0000</b>		0.2236	<b>0.0000</b>	<b>0.0337</b>
7	Student	-100	I	<b>0.0399</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.1389	<b>0.0000</b>	0.2236		<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>
8	Student	-100	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.1157	<b>0.0000</b>	0.4076	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0005</b>
9	Student	-100	III	0.1754	<b>0.0000</b>	0.1264	<b>0.0000</b>	<b>0.0275</b>	<b>0.0337</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0005</b>	
10	Athlete	-140	I	0.2751	<b>0.0000</b>	0.1101	<b>0.0000</b>	<b>0.0257</b>	0.0688	<b>0.0029</b>	<b>0.0024</b>	0.8620
11	Athlete	-140	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0040</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
12	Athlete	-140	III	<b>0.0066</b>	<b>0.0000</b>	0.9606	<b>0.0000</b>	0.5337	<b>0.0007</b>	<b>0.0000</b>	0.1560	0.1403
13	Athlete	-120	I	0.2233	<b>0.0000</b>	0.1410	<b>0.0000</b>	<b>0.0350</b>	0.0521	<b>0.0019</b>	<b>0.0036</b>	0.9628
14	Athlete	-120	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
15	Athlete	-120	III	<b>0.0031</b>	<b>0.0000</b>	0.7660	<b>0.0000</b>	0.7049	<b>0.0003</b>	<b>0.0000</b>	0.2412	0.0854
16	Athlete	-100	I	0.4620	<b>0.0000</b>	0.0512	<b>0.0001</b>	<b>0.0101</b>	0.1408	<b>0.0084</b>	<b>0.0007</b>	0.5955
17	Athlete	-100	II	<b>0.0000</b>	0.2742	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
18	Athlete	-100	III	<b>0.0133</b>	<b>0.0000</b>	0.8423	<b>0.0000</b>	0.3867	<b>0.0016</b>	<b>0.0000</b>	0.0961	0.2192
No.	10 31.153	11 26.708	12 30.470	13 31.100	14 26.230	15 30.368	16 31.300	17 27.458	18 30.572			
1	0.2751	<b>0.0000</b>	<b>0.0066</b>	0.2233	<b>0.0000</b>	<b>0.0031</b>	0.4620	<b>0.0000</b>	<b>0.0133</b>			
2	<b>0.0000</b>	<b>0.0040</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.2742	<b>0.0000</b>			
3	0.1101	<b>0.0000</b>	0.9606	0.1410	<b>0.0000</b>	0.7660	0.0512	<b>0.0000</b>	0.8423			
4	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>			
5	<b>0.0257</b>	<b>0.0000</b>	0.5337	<b>0.0350</b>	<b>0.0000</b>	0.7049	<b>0.0101</b>	<b>0.0000</b>	0.3867			
6	0.0688	<b>0.0000</b>	<b>0.0007</b>	0.0521	<b>0.0000</b>	<b>0.0003</b>	0.1408	<b>0.0000</b>	<b>0.0016</b>			
7	<b>0.0029</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0019</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0084</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>			
8	<b>0.0024</b>	<b>0.0000</b>	0.1560	<b>0.0036</b>	<b>0.0000</b>	0.2412	<b>0.0007</b>	<b>0.0000</b>	0.0961			
9	0.8620	<b>0.0000</b>	0.1403	0.9628	<b>0.0000</b>	0.0854	0.5955	<b>0.0000</b>	0.2192			
10		<b>0.0000</b>	0.0765	0.9048	<b>0.0000</b>	0.0750	0.7368	<b>0.0000</b>	0.1875			
11	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.2774	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.0888	<b>0.0000</b>			
12	0.0765	<b>0.0000</b>		0.1524	<b>0.0000</b>	0.8153	0.0599	<b>0.0000</b>	0.8153			
13	0.9048	<b>0.0000</b>	0.1524		<b>0.0000</b>	0.0575	0.6487	<b>0.0000</b>	0.2304			
14	<b>0.0000</b>	0.2774	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0057</b>	<b>0.0000</b>			
15	0.0750	<b>0.0000</b>	0.8153	0.0575	<b>0.0000</b>		<b>0.0348</b>	<b>0.0000</b>	0.6405			
16	0.7368	<b>0.0000</b>	0.0599	0.6487	<b>0.0000</b>	<b>0.0348</b>		<b>0.0000</b>	0.0592			
17	<b>0.0000</b>	0.0888	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0057</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>			
18	0.1875	<b>0.0000</b>	0.8153	0.2304	<b>0.0000</b>	0.6405	0.0592	<b>0.0000</b>				

*E* examination (I baseline, II directly after cryotherapy, III 30 min after cryotherapy); *p* values less than 0.05 denote statistically significant—marked in bold; *T* temperature

between groups were statistically significant in all examined regions. Mean temperature values directly after action of cryogenic stimuli in the area of upper limbs accounted for 27.91 °C in students and 26.71 °C in football players, in the area of trunk 29.36 and 26.98 °C, and in the area of

lower limbs 24.04 and 22.29 °C in students and athletes, respectively. After 30-min restitution (Examination III), the temperature returned to values similar to baseline results in all comparisons and did not present statistically significant intergroup differentiation.

**Table 4** Comparison of means of the surface body temperature in the region of trunk (probabilities for post hoc tests with LSD method)

No.	Group	<i>T</i>	<i>E</i>	1 32.646	2 29.356	3 31.846	4 33.887	5 31.525	6 33.231	7 33.508	8 31.254	9 32.421
1	Student	-140	I		<b>0.0000</b>	<b>0.0108</b>	<b>0.0050</b>	<b>0.0109</b>	0.1802	<b>0.0449</b>	<b>0.0014</b>	0.5978
2	Student	-140	II	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
3	Student	-140	III	<b>0.0108</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	0.4608	<b>0.0018</b>	<b>0.0002</b>	0.1662	0.1789
4	Student	-120	I	<b>0.0050</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0436</b>	0.3833	<b>0.0000</b>	<b>0.0010</b>
5	Student	-120	II	<b>0.0109</b>	<b>0.0000</b>	0.4608	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.5334	<b>0.0410</b>
6	Student	-120	III	0.1802	<b>0.0000</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0436</b>	<b>0.0000</b>		0.5255	<b>0.0000</b>	0.0643
7	Student	-100	I	<b>0.0449</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	0.3833	<b>0.0000</b>	0.5255		<b>0.0000</b>	<b>0.0006</b>
8	Student	-100	II	<b>0.0014</b>	<b>0.0000</b>	0.1662	<b>0.0000</b>	0.5334	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0002</b>
9	Student	-100	III	0.5978	<b>0.0000</b>	0.1789	<b>0.0010</b>	<b>0.0410</b>	0.0643	<b>0.0006</b>	<b>0.0002</b>	
10	Athlete	-140	I	0.7826	<b>0.0000</b>	0.1421	<b>0.0038</b>	<b>0.0340</b>	0.1281	<b>0.0322</b>	<b>0.0063</b>	0.8288
11	Athlete	-140	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
12	Athlete	-140	III	<b>0.0380</b>	<b>0.0000</b>	0.7327	<b>0.0000</b>	0.7229	<b>0.0012</b>	<b>0.0001</b>	0.3408	0.1114
13	Athlete	-120	I	0.9236	<b>0.0000</b>	0.0666	<b>0.0110</b>	<b>0.0134</b>	0.2460	0.0754	<b>0.0020</b>	0.5567
14	Athlete	-120	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
15	Athlete	-120	III	0.0977	<b>0.0000</b>	0.9323	<b>0.0000</b>	0.4396	<b>0.0044</b>	<b>0.0005</b>	0.1689	0.2421
16	Athlete	-100	I	0.9457	<b>0.0000</b>	0.0943	<b>0.0070</b>	<b>0.0204</b>	0.1869	0.0525	<b>0.0034</b>	0.6716
17	Athlete	-100	II	<b>0.0000</b>	0.1795	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
18	Athlete	-100	III	0.3245	<b>0.0000</b>	0.4459	<b>0.0004</b>	0.1515	<b>0.0274</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0411</b>	0.6209
No.	10 32.520	11 26.977	12 31.690	13 32.690	14 26.793	15 31.885	16 32.615	17 28.740	18 32.195			
1	0.7826	<b>0.0000</b>	<b>0.0380</b>	0.9236	<b>0.0000</b>	0.0977	0.9457	<b>0.0000</b>	0.3245			
2	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.1795	<b>0.0000</b>			
3	0.1421	<b>0.0000</b>	0.7327	0.0666	<b>0.0000</b>	0.9323	0.0943	<b>0.0000</b>	0.4459			
4	<b>0.0038</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0110</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>			
5	<b>0.0340</b>	<b>0.0000</b>	0.7229	<b>0.0134</b>	<b>0.0000</b>	0.4396	<b>0.0204</b>	<b>0.0000</b>	0.1515			
6	0.1281	<b>0.0000</b>	<b>0.0012</b>	0.2460	<b>0.0000</b>	<b>0.0044</b>	0.1869	<b>0.0000</b>	<b>0.0274</b>			
7	<b>0.0322</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	0.0754	<b>0.0000</b>	<b>0.0005</b>	0.0525	<b>0.0000</b>	<b>0.0047</b>			
8	<b>0.0063</b>	<b>0.0000</b>	0.3408	<b>0.0020</b>	<b>0.0000</b>	0.1689	<b>0.0034</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0411</b>			
9	0.8288	<b>0.0000</b>	0.1114	0.5567	<b>0.0000</b>	0.2421	0.6716	<b>0.0000</b>	0.6209			
10		<b>0.0000</b>	<b>0.0201</b>	0.7265	<b>0.0000</b>	0.1928	0.8450	<b>0.0000</b>	0.5040			
11	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.7035	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>			
12	<b>0.0201</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0412</b>	<b>0.0000</b>	0.6883	0.0587	<b>0.0000</b>	0.2998			
13	0.7265	<b>0.0000</b>	<b>0.0412</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0241</b>	0.8774	<b>0.0000</b>	0.3094			
14	<b>0.0000</b>	0.7035	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>			
15	0.1928	<b>0.0000</b>	0.6883	<b>0.0241</b>	<b>0.0000</b>		0.1348	<b>0.0000</b>	0.5239			
16	0.8450	<b>0.0000</b>	0.0587	0.8774	<b>0.0000</b>	0.1348		<b>0.0000</b>	0.2358			
17	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>			
18	0.5040	<b>0.0000</b>	0.2998	0.3094	<b>0.0000</b>	0.5239	0.2358	<b>0.0000</b>				

*E* examination (I baseline, II directly after cryotherapy, III 30 min after cryotherapy); *p* values less than 0.05 denote statistically significant—marked in bold; *T* temperature

In the groups of students and football players, who were treated with cryostimulation at temperature equal to -120 °C (Figs. 3–5), statistically significant intergroup differences of baseline temperature in the region of upper limbs, trunk and lower limb (Figs. 3–5) occurred. Mean

temperature values in students were 32.98, 33.89 and 31.82 °C, respectively, while in football players 31.10, 32.69 and 30.18 °C, respectively. Directly after cryostimulation (Examination II) the temperature of examined body regions decreased to 30.21, 31.53 and 27.36 °C, respectively, while

**Table 5** Comparison of means of the surface body temperature in the region of lower limbs (probabilities for post hoc tests with LSD method)

No.	Group	<i>T</i>	<i>E</i>	1 30.767	2 24.040	3 29.402	4 31.819	5 27.356	6 31.081	7 31.852	8 27.275	9 30.110
1	Student	-140	I		<b>0.0000</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0487</b>	<b>0.0000</b>	0.5540	<b>0.0381</b>	<b>0.0000</b>	0.2066
2	Student	-140	II	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
3	Student	-140	III	<b>0.0023</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0018</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	0.1743
4	Student	-120	I	<b>0.0487</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	0.1092	0.9501	<b>0.0000</b>	<b>0.0015</b>
5	Student	-120	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.8782	<b>0.0000</b>
6	Student	-120	III	0.5540	<b>0.0000</b>	<b>0.0018</b>	0.1092	<b>0.0000</b>		0.1474	<b>0.0000</b>	0.0683
7	Student	-100	I	<b>0.0381</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.9501	<b>0.0000</b>	0.1474		<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>
8	Student	-100	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	0.8782	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>
9	Student	-100	III	0.2066	<b>0.0000</b>	0.1743	<b>0.0015</b>	<b>0.0000</b>	0.0683	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	
10	Athlete	-140	I	0.1752	<b>0.0000</b>	0.2759	<b>0.0017</b>	<b>0.0000</b>	0.0603	<b>0.0011</b>	<b>0.0000</b>	0.8581
11	Athlete	-140	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
12	Athlete	-140	III	<b>0.0012</b>	<b>0.0000</b>	0.3949	<b>0.0000</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0351</b>
13	Athlete	-120	I	0.2905	<b>0.0000</b>	0.1651	<b>0.0043</b>	<b>0.0000</b>	0.1124	<b>0.0030</b>	<b>0.0000</b>	0.9030
14	Athlete	-120	II	<b>0.0000</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
15	Athlete	-120	III	<b>0.0332</b>	<b>0.0000</b>	0.7595	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0085</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0001</b>	0.3356
16	Athlete	-100	I	0.4760	<b>0.0000</b>	0.0837	<b>0.0114</b>	<b>0.0000</b>	0.2109	<b>0.0085</b>	<b>0.0000</b>	0.6403
17	Athlete	-100	II	<b>0.0000</b>	0.6180	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>
18	Athlete	-100	III	0.0699	<b>0.0000</b>	0.5294	<b>0.0004</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0202</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	0.5217
No.	10 30.010	11 22.290	12 28.928	13 30.177	14 22.373	15 29.573	16 30.370	17 23.762	18 29.752			
1	0.1752	<b>0.0000</b>	<b>0.0012</b>	0.2905	<b>0.0000</b>	<b>0.0332</b>	0.4760	<b>0.0000</b>	0.0699			
2	<b>0.0000</b>	<b>0.0020</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0031</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.6180	<b>0.0000</b>			
3	0.2759	<b>0.0000</b>	0.3949	0.1651	<b>0.0000</b>	0.7595	0.0837	<b>0.0000</b>	0.5294			
4	<b>0.0017</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0043</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0114</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0004</b>			
5	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0062</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>			
6	0.0603	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>	0.1124	<b>0.0000</b>	<b>0.0085</b>	0.2109	<b>0.0000</b>	<b>0.0202</b>			
7	<b>0.0011</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0030</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0085</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>			
8	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>			
9	0.8581	<b>0.0000</b>	<b>0.0351</b>	0.9030	<b>0.0000</b>	0.3356	0.6403	<b>0.0000</b>	0.5217			
10		<b>0.0000</b>	<b>0.0325</b>	0.7773	<b>0.0000</b>	0.4605	0.5435	<b>0.0000</b>	0.6638			
11	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	0.8892	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0138</b>	<b>0.0000</b>			
12	<b>0.0325</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0361</b>	<b>0.0000</b>	0.2770	<b>0.0158</b>	<b>0.0000</b>	0.1649			
13	0.7773	<b>0.0000</b>	<b>0.0361</b>		<b>0.0000</b>	0.2292	0.7452	<b>0.0000</b>	0.4734			
14	<b>0.0000</b>	0.8892	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0200</b>	<b>0.0000</b>			
15	0.4605	<b>0.0000</b>	0.2770	0.2292	<b>0.0000</b>		0.1794	<b>0.0000</b>	0.7612			
16	0.5435	<b>0.0000</b>	<b>0.0158</b>	0.7452	<b>0.0000</b>	0.1794		<b>0.0000</b>	0.2198			
17	<b>0.0000</b>	<b>0.0138</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0200</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>		<b>0.0000</b>			
18	0.6638	<b>0.0000</b>	0.1649	0.4734	<b>0.0000</b>	0.7612	0.2198	<b>0.0000</b>				

*E* examination (I baseline, II directly after cryotherapy, III 30 min after cryotherapy); *p* values less than 0.05 denote statistically significant—marked in bold; *T* temperature

in the group of football players to 26.23, 26.79 and 22.37 °C, respectively. All intergroup comparisons after performing the treatment showed statistically significant differentiation of parameters. After 30-min relaxation (Examination III), values of tested parameters approached baseline values;

however, they still differed significantly in all analysed regions while compared between groups. Mean temperature values in students increased to 31.92, 33.23 and 31.08 °C, respectively, while in football players increased to 30.37, 31.89 and 29.57 °C, respectively.

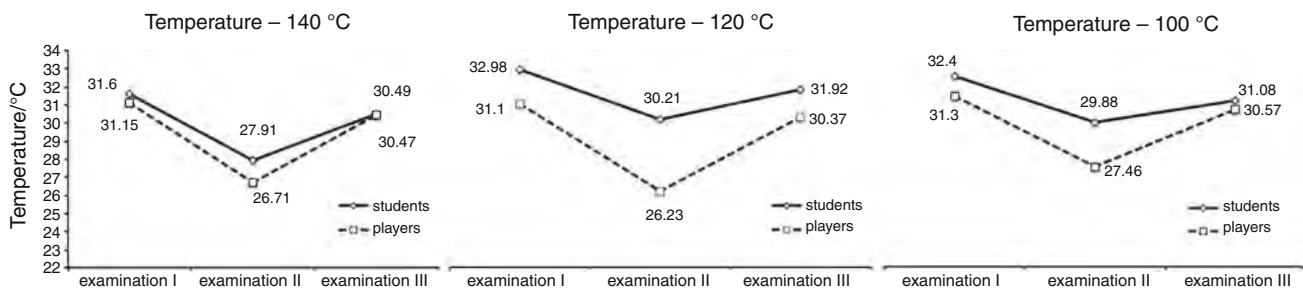


Fig. 3 Changes in surface body temperature in the region of upper limbs

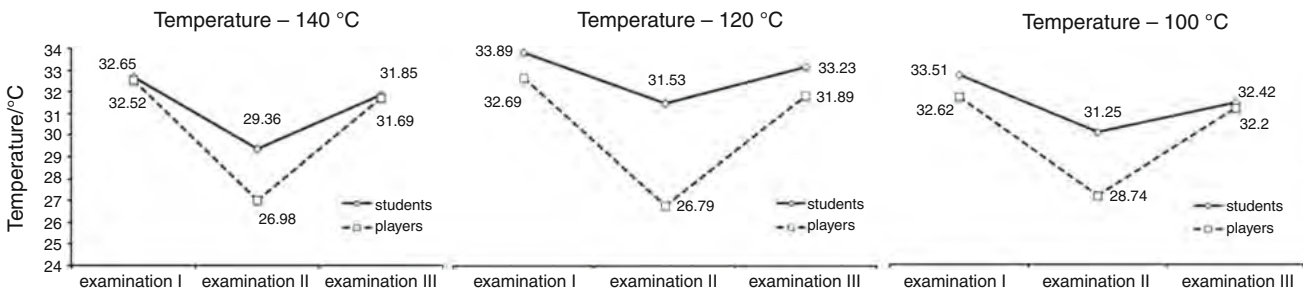


Fig. 4 Changes in surface body temperature in the region of trunk

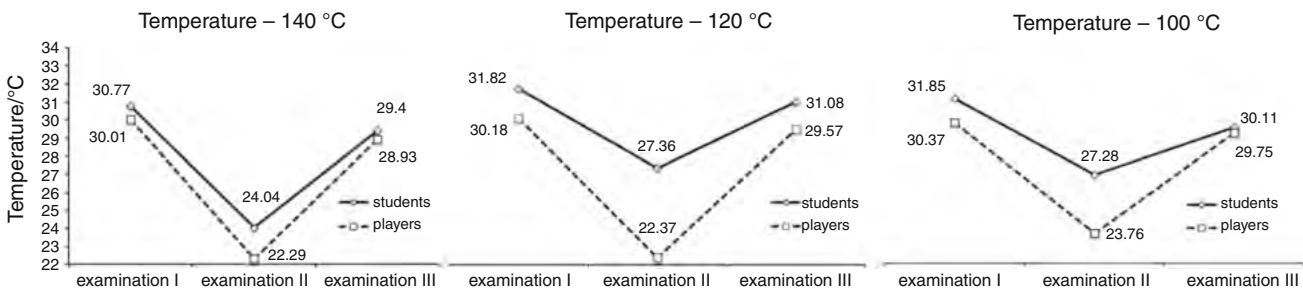


Fig. 5 Changes in surface body temperature in the region of lower limbs

The analysis of difference significance between groups exposed to temperature of  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figs. 3–5) revealed statistically significant differences. The baseline temperature (Examination I) differed significantly between students and football players in the upper limbs region (mean values in students  $32.40\text{ }^{\circ}\text{C}$  and athletes  $31.30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) as well as in the region of lower limbs (mean values in students  $31.85\text{ }^{\circ}\text{C}$  and athletes  $30.37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Baseline temperature obtained in Examination I did not differ significantly in the trunk region, where its value accounted for  $33.51\text{ }^{\circ}\text{C}$  in students, while  $32.62\text{ }^{\circ}\text{C}$  in football players. After systemic cryostimulation by stimuli of  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Examination II), the analysis revealed statistically significant differences between students groups and football players groups in all regions. In the region of upper limbs, trunk and lower limbs, mean temperature in students groups was  $29.88$ ,  $31.25$  and  $27.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively, while in football players

groups  $27.46$ ,  $28.74$  and  $23.76\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively. After 30-min restitution (Examination III), the temperature in all comparisons restored to baseline values and did not show statistically significant differences between groups of students and football players.

Observation of studied groups revealed similar temperature distribution. Both in students and in football players, the lowest values occurred in the region of lower limbs in comparison with upper limbs and trunk area.

Moreover, analysing the decrease in body surface temperature directly after cryostimulation showed that a stimulus of  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  is the most effective in the group of athletes. Body temperature in athletes dropped by  $4.87\text{ }^{\circ}\text{C}$  in the regions of upper limbs, trunk by  $5.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  and lower limbs by as much as  $7.81\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Summarising conducted comparative analyses, it can be stated that the group of athletes with a high level of sports

performance is more sensitive to exposure to low temperatures in the cryochamber than the group of students. Athletes displayed greater decrease in body surface temperature after cryostimulation treatments and more dynamic return to baseline status after 30 min than students. Moreover, it was observed that mean baseline temperature in athletes was lower than in students in all groups subjected to different treatment parameters.

## Discussion

Systemic cryostimulation becomes increasingly available and more often used by athletes practising various sports disciplines. Extremely low temperatures decrease the body temperature, reduce inflammatory process and possible muscle pain as well as improve regeneration of the body directly after training. In sports medicine, cryotherapy is applied mainly as an element of analgesic action and also as a supplement of the whole training process [18]. It is believed that cooling action on the body of an athlete increases tissue metabolism, physical endurance, and a level of adaptation to pain occurring during or directly after performed effort [19–21]. Generally, cryotherapy should be started within the first 24 h after an effort and can be repeated even several times per week. Despite increasing popularity of this method, further scientific investigations including examination of physiological reactions and clinical results are recommended in order to confirm validity of its use [22].

Cryotherapy is premised on heat removal from tissues of the body in order to achieve various clinical effects. To optimise effects of activity of this process, a critical level of tissue cooling must be achieved [23]. General assumption exists that systemic cryotherapy allows greater cooling effect in relation to local forms of cryotherapy. Although in recent years a considerable number of reports on comparison of various forms of cryotherapy and their impact on human body were published, studies relating efficacy of thermoregulatory process as a response to differentiated cryogenic stimuli are still sparse [1, 7, 20].

In physiological conditions, the temperature inside the body cavity is constant ( $37 \pm 0.5$  °C). It depends on mechanisms responsible for thermoregulatory process that is capability of preserving the temperature in optimal range for an organism. In contrast, the surface body temperature ranges from 36.2 to 37.8 °C and depends on a segment of the body. Any form of physical activity increases tissue metabolism, which accelerates oxygen transport due to increased blood flow leading to elevation of body temperature caused by heat production by working muscles [24, 25]. In case of professional sport, the increase in capability of heat removal from the body is important

(limitation of increase in inner temperature and dynamics acceleration of sweat secretion) which as a consequence allows for continuation of exercise [25]. Efficiency of thermoregulatory mechanism is therefore an important element of adaptation of athlete's body to physical effort in professional sport. Changes in surface body temperature after application of thermal stimulus as a part of biological regeneration reflect velocity of removal the endogenous heat generated during exercise, as well as thermoregulatory response of the system in order to maintain temperature regulation.

Proper management of training process of every athlete and care of his health status requires application of non-invasive and safe diagnostic methods [26, 27]. In the recent years, non-invasive diagnostic tools of body temperature imaging become increasingly popular [28, 29]. They include thermography. Already in the 1970s of the last century, thermographic analysis was used in thermal monitoring in athletes. It aimed at measure and analyse increase or decrease in body temperature in terms of observation of reaction rate of thermoregulatory processes [17].

In the own studies, the authors attempted to perform analysis of the impact of extremely low temperature activity on changes in surface body temperature and effectiveness of thermoregulatory processes in athletes who practice football professionally and volunteers who do not practice sport professionally. Creating a thermal map of examined segments of the body delivered information about differentiation of mean temperature values in relation to localisation of examined body region. Thermographic registration before application of cryogenic temperature revealed characteristic temperature distribution. The study revealed that the trunk regions were the warmest, while lower limb the coolest. The skin covering the areas of the body which have dense vasculature manifests a higher temperature than this directly covering the areas of bone. Such temperature distribution may be caused by the shape of examined surface as well as its thermal inertia. Moreover, internal organs located in the abdominal cavity within trunk produce heat due to metabolic processes and contribute to maintain higher constant temperature in this region [1]. Similar temperature distribution was reported by Chudecka et al. and Zalewski et al., and such distribution indicates differentiated thermal map in selected body parts and is consistent with physiological thermal inertia [30, 31]. When analysing thermoregulatory reaction to applied stimulus of systemic cryostimulation in the present study, the authors observed that the temperature decreased significantly after treatments in all examined subjects. Observation of study groups revealed the lowest temperatures in the region of lower limbs in comparison with upper limbs and trunk region as well. Similar findings were

reported by Cholewska et al. [19] who showed significant decrease in surface body temperature after systemic cryotherapy in a group of 22 participants in all examined regions of the body. The lowest temperatures occurred in the region of lower limbs while the highest in the region of trunk and head. In the study performed by Dębiec-Bąk et al. [1], the temperatures were distributed similarly. The lowest temperatures were observed in the region of lower limbs, particularly in the area of knee joints.

In the present study, the comparison of both study groups revealed greater changes after application of all cryogenic stimuli ( $-100$ ,  $-120$ ,  $-140$  °C) in the group of football players than in the group of subjects who do not practice intensive effort. The greatest cooling of the body occurred in the group of athletes in all examined regions at temperature  $-120$  °C. Thermoregulatory efficiency is an important element of body adaptation to physical effort. Athletes are better prepared to cope with the physical effort due to regular trainings and a high level of physical performance. Their defence mechanisms function better in comparison with those who do not practice sport. Physical exercise improves effectiveness of thermoregulatory processes, which may also have an influence on reaction velocity after application of thermal stimuli. This element of biological regeneration is often complement to training [32, 33].

Thermal effects after cryostimulation are observed also during restitution (rest after cryostimulation). It is described as so-called after-effect phenomenon, consisting in the fact that further lowering of temperature of examined region, despite cessation of cooling, may contribute to prolongation of restitution after the treatment and at the same time foster beneficial reactions after stimulation [34, 35]. Short-term temperature elevation in comparison with values before treatment is often observed during restitution. This is due to warming of skin caused by increase in blood flow in body regions treated with cryostimulation [36].

In the present study, after 30-min restitution after the treatment body temperature restored to baseline values in all participants in all examined regions. However, its restoration was more dynamic in subjects with a high level of sports performance, which may attest faster physiological response to applied thermal stimulus and may influence effectiveness of biological regeneration based on cryostimulation [37–40]. In the study, Tanda [40], assessing the efficiency of the thermoregulatory processes in athletes, indicates the reduction in a body temperature to the relative minimum at the training effort with a constant load, as well as the incremental load. Over time, after the effort, the author observed a gradual increase in the temperature of the surface of a body associated with the vasodilatation, which is the sign of the efficiency of the

thermoregulatory reaction in response to the load of effort and the speed of achieving homeostasis after the effort.

## Conclusions

Surface body temperature in the study subjects confirms differentiation in relation to examined region of the body. The regions of lower limbs were the coolest, while the trunk the warmest. Body temperature directly after cryostimulation treatment decreased significantly in all studied subjects. Greater changes were observed in the group of football players than in students. The greatest changes in temperature occurred after cryostimulation at  $-120$  °C in the group of athletes. In all studied subjects, the temperature restored to baseline values in 30 min after cryostimulation treatment. Greater dynamics of these changes found in the groups of football players. The study results may confirm better effectiveness of thermoregulatory processes in athletes, who react more dynamically to applied thermal stimuli. This fact may give the rationale for the use of cryotherapy in biological regeneration in athletes.

## Compliance with ethical standards

**Conflict of interest** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H. Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy. *J Therm Anal Calorim.* 2013;111:1853–9.
2. Bleakley CM, Bieuzen F, Davison GW, et al. Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access J Sports Med.* 2014;5:25–36.
3. Pritchard KA, Saliba SA. Should athletes return to activity after cryotherapy? *J Athl Train.* 2014;49:95–6.
4. Sutkowy P, Augustynska B, Wozniak A, et al. Physical exercise combined with whole-body cryotherapy in evaluating the level of lipid peroxidation products and other oxidant stress indicators in kayakers. *Oxid Med Cell Longev.* 2014;2014:402631.
5. Ziemann E, Olek RA, Kujach S, et al. Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *J Athl Train.* 2012;47:664–72.
6. Simmons GH, Wong BJ, Holowatz LA, et al. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: Where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Exp Physiol.* 2011;96:822–8.
7. Maughan RJ. Thermoregulatory aspects of performance. *Exp Physiol.* 2012;97:325–6.
8. Huda A, Taib S, Ghazali K, et al. A new thermographic NDT for condition monitoring of electrical components using ANN with confidence level analysis. *ISA Trans.* 2014;53(3):717–24.
9. Nardi I, Sfarra S, Ambrosini D. Quantitative thermography for the estimation of the u-value: state of the art and a case study. *J Phys Conf Ser.* 2014;547(1):1–8.

10. Bisegna F, Ambrosini D, Paoletti D, et al. A qualitative method for combining thermal imprints to emerging weak points of ancient wall structures by passive infrared thermography—a case study. *J Cult Herit.* 2014;15(2):199–202.
11. Sfarra S, Ibarra-Castanedo C, Paoletti D, et al. Infrared vision inspection of cultural heritage objects from the city of L'Aquila, Italy and its surroundings. *Mater Eval.* 2013;71(5):561–70.
12. El-Maadi A, Gregorie V, St-Laurent L, et al. Visible and infrared imagery for surveillance applications: software and hardware considerations. *QIRT J.* 2007;4(1):25–40.
13. Sfarra S, Perilli S, Paoletti D, et al. Ceramics and defects. Infrared thermography and numerical simulations—a wide-ranging view for quantitative analysis. *J Therm Anal Calorim.* 2016;123:43–62.
14. Bendada A, Sfarra S, Genest M, et al. How to reveal subsurface defects in Kevlar composite materials after an impact loading using infrared vision and optical NDT techniques? *Eng Fract Mech.* 2013;108:195–208.
15. Garagiola U, Giani E. Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Med.* 1990;10:267–72.
16. Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors (Basel).* 2010;10:4700–15.
17. Coh M, Sirok B. The use of telethermography in the management of sport injuries. *Phys Educ Sport.* 2007;5:85–94.
18. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, et al. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med.* 2010;40:509–17.
19. Cholewka A, Drzazga Z, Sieron A, et al. Some applications of thermal imaging in medicine. In: Drzazga Z, Ślósarek K, editors. *Some aspects of medical physics—in vivo and in vitro studies.* Olsztyn: HARD; 2010. p. 51–8.
20. Cholewka A, Stanek A, Sieron A, et al. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Res Technol.* 2012;18:180–7.
21. Sieron A, Cieślak G, Stanek A. *Cryotherapy. Theoretical bases, biological effects, clinical applications.* Bielsko-Biała: Alfa-medica Press; 2010.
22. Bleakley CM, Hopkins J. Is it possible to achieve optimal levels of tissue cooling in cryotherapy? *Phys Ther Rev.* 2010;15:344–50.
23. Bleakley CM, Glasgow P, Webb MJ. Cooling an acute muscle injury: can basic scientific theory translate into the clinical setting? *Br J Sports Med.* 2012;46:296–8.
24. Badza V, Jovancevic V, Fratric F, et al. Possibilities of thermovision application in sport and sport rehabilitation. *Vojnosanit Pregl.* 2012;69:904–7.
25. Chudecka M, Lubkowska A. Evaluation of the body surface temperature changes in the basketball players' after training. *Acta Bio Opt Inf Med.* 2011;17:271–4.
26. Davidovits P. *Physics in biology and medicine.* Cambridge: Academic Press; 2013.
27. Winsor T, Winsor D. The noninvasive laboratory: history and future of thermography. *Int Angiol.* 1985;4:41–50.
28. Akimov EB, Son'kin VD. Skin temperature and lactate threshold during muscle work in sportsmen. *Fiziol Cheloveka.* 2011;37:120–8.
29. Ferreira JJ, Mendonca LC, Nunes LA, et al. Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects. *Ann Biomed Eng.* 2008;36:1420–7.
30. Chudecka M, Lubkowska A, Klimek A, et al. The impact of systemic erythrotherapy on the distribution and the dynamics of temperature changes in the selected parts of body. *Acta Bio Opt Inf Med.* 2008;14:129–1232.
31. Zalewski P, Buszko K, Klawe J, et al. Short-term thermovision analysis of whole body cryotherapy effects in healthy subjects. *Acta Bio Opt Inf Med.* 2008;4:272–7.
32. Chudecka M, Lubkowska A, Kempirńska-Podhorodecka A. Evaluation of temperature changes in upper extremities of waterpolo players by thermovision. *Acta Bio Opt Inf Med.* 2010;16:334–8.
33. Duffield R, Bird SP, Ballard RJ. Field-based pre-cooling for on-court tennis conditioning training in the heat. *J Sports Sci Med.* 2011;10:376–84.
34. Meeusen R, Lievens P. The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Med.* 1986;3:398–414.
35. Pournot H, Bieuzen F, Louis J, et al. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PLoS ONE.* 2011;6:e22748.
36. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Jonak A. Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research. *Acta Bio Opt Inf Med.* 2009;15:322–7.
37. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, et al. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS ONE.* 2011;6:e27749.
38. Minett GM, Duffield R, Marino FE, et al. Duration-dependant response of mixed-method pre-cooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:3655–66.
39. Marino FE. Thermoregulation and human performance. *Physiological and biological aspects.* *Med Sport Sci.* 2008;53:98–103.
40. Tanda G. Skin temperature measurements by infrared thermography during running exercise. *Exp Therm Fluid Sci.* 2016;71:103–13.





# Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise

Agnieszka Dębiec-Bąk<sup>1</sup> · Dorota Wójtowicz<sup>1</sup>  · Łukasz Pawik<sup>1</sup> · Agnieszka Ptak<sup>1</sup> · Anna Skrzek<sup>1</sup>

Received: 28 December 2017 / Accepted: 29 April 2018 / Published online: 15 May 2018  
© The Author(s) 2018

## Abstract

The ability to maintain thermal homeostasis is one of the key criteria for the proper functioning of the organism in response to physical exercise. The aim of this work was to analyze the variations in basal temperatures, temperatures immediately after exercise, and after 15 min of restitution in selected body areas in people with Down syndrome and in the control group. Thirty-six people of both sexes were examined. Group 1 (the control group) comprised 18 healthy people whose average age was 29.89 years ( $\pm 1.41$ ) and whose average BMI was 30.21 ( $\pm 0.92$ ). Group 2 consisted of 18 people suffering from Down syndrome, with an average age of 27.44 ( $\pm 1.58$ ) and an average BMI of 30.49 ( $\pm 1.73$ ). It was determined that body surface temperatures varied in both groups, depending on the tested area. Statistically significantly lower temperature values were detected in people with Down syndrome, in all body areas. After the general rehabilitation exercise, a statistically significant decrease in body surface temperatures was observed in both groups, which was greatest in the torso area of people with Down syndrome. After a period of post-exercise restitution, people in the control group exhibited a greater efficiency of thermoregulatory processes, with mean values exceeding basal temperatures.

**Keywords** Thermoregulation · Down syndrome · Obesity · Thermography · General rehabilitation

## Introduction

Down syndrome (DS) is one of human's most researched chromosome abnormalities. The clinical symptoms of DS are determined by the additional presence of the third copy of chromosome 21 (trisomy), instead of two copies as is the case in healthy humans [1, 2]. Research teams all over the world are looking for the most efficient therapy methods,

which would improve the quality of life of people with DS and enable them to actively participate in social and professional life. Undoubtedly, well-developed motor skills as well as stamina and endurance constitute an important aspect determining the proper functioning of the body. It entails physiotherapeutic efforts that are correlated with motor skills.

Down syndrome accounts for ca. 1% of genetic birth defects. In Poland, the estimated livebirth prevalence of DS is 1:605, in Germany and the Netherlands, it is 1.36:1000, while in the USA is 1:733 [3, 4].

Trisomy 21 causes a number of multi-level changes in the build and functioning of the body, different internal organs defects, significant metabolic disorders, the appearance of characteristic phenotypic traits, severe hypotonia of skeletal muscles, and varying degrees of mental impairment. It has been proven that excessive gene expression increases the risk of cardiovascular diseases, which leads to the impairment of tolerance to physical effort and decreased endurance. Affected individuals are more prone to fatigue and exhibit intolerance of sustained periods of exercise, especially of aerobic exercise [5, 6].

---

✉ Dorota Wójtowicz  
dorota.wojtowicz@awf.wroc.pl

Agnieszka Dębiec-Bąk  
agnieszka.debiec-bak@awf.wroc.pl

Łukasz Pawik  
lukaszpawik@gmail.com

Agnieszka Ptak  
agnieszka.ptak@awf.wroc.pl

Anna Skrzek  
anna.skrzek@awf.wroc.pl

<sup>1</sup> Department of Physiotherapy in Motor Disorders and Dysfunctions, University of Physical Education in Wrocław, Poland, al. I. J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, Poland

DS is connected with abnormalities of nine genes responsible for the development, functioning, and structure of the nervous system [3]. Research has indicated the existence of dysfunctions in hormone balance, which triggers irregularities in the body's adaptation functions [6].

Another characteristic feature of people with DS is decreased muscle tension. In human motor development, the appearance of muscle hypotonia is particularly significant for the body posture and disorders of motor functions [7–9].

The broad spectrum of phenotypic variety in people with DS depends on many factors. From the point of view of physiology and the methodology of effort in the physical activeness of affected individuals, it has been observed that physical function is impaired, which results from changes in the functioning and structure of body systems, motor organs, and the central nervous system, which is also responsible for thermal regulation processes.

The optimal temperature maintained by the human body is determined by the efficiency of thermoregulatory mechanisms. The primary center for thermoregulatory processes is located in the preoptic area, in the frontal region of the hypothalamus, and regulates the intensity of heat reduction responses. The heat conservation center, located in the anterior hypothalamus, controls the intensity of responses that reduce the heat loss ratio by strengthening the processes increasing the body temperature. The set point temperature for maintaining thermal homeostasis is determined by the activeness of the hypothalamus [10, 11].

Technological progress has enabled us to remotely measure body surface temperatures in many areas at the same time using thermography. Thermogram imaging of the distribution of temperatures invisible to the human eye is increasingly often used in medical diagnosis. This method makes it possible to analyze the changes in body surface temperatures occurring in thermoregulatory response to a thermal stimulus or effort [12–14].

This study is intended to analyze the changes in body surface temperatures in people with Down syndrome and in healthy people with simple obesity after general rehabilitation exercise. Of importance is also the understanding of correlations between physical effort and the dynamics of body temperature changes in both groups. The research issue and the assessment of thermoregulatory processes efficiency in healthy people after physical effort or thermal stimuli was analyzed by Cholewka et al. [11, 15, 16]. It allowed the researchers to assess thermal homeostasis of the body in response to thermal or effort stimuli. The obtained results will make it possible to plan the therapy of people with trisomy 21 more precisely.

#### Research questions:

1. What is the distribution of body surface temperatures in both research groups?
2. Does general rehabilitation training affect the temperature distribution in the research subjects?
3. What is the distribution of body surface temperatures in the research subjects after post-exercise restitution?

## Materials and methods

### Research material

Within the scope of this study, 36 people of both sexes (19 women and 17 men) were examined. The subjects fell into one of two research groups. Group 1 (the control group) comprised 18 healthy people (9 women, 9 men) whose average age was 29.89 years ( $\pm 1.41$ ) and whose average BMI was 30.21 ( $\pm 0.92$ ). Group 2 consisted of 18 people suffering from Down syndrome (10 women, 8 men), with an average age of 27.44 ( $\pm 1.58$ ) and an average BMI of 30.49 ( $\pm 1.73$ ).

Both groups underwent identical general rehabilitation training, with 45-min sessions held twice a week for 30 days. Each session took the form of circuit training with training accessories, adapted to the subject's individual abilities. Training intensity was monitored with the Polar Team 2 system and oscillated at 60–70% HRmax.

The study protocol was approved by the Senate Ethics Committee at the Academy of Physical Education in Wrocław.

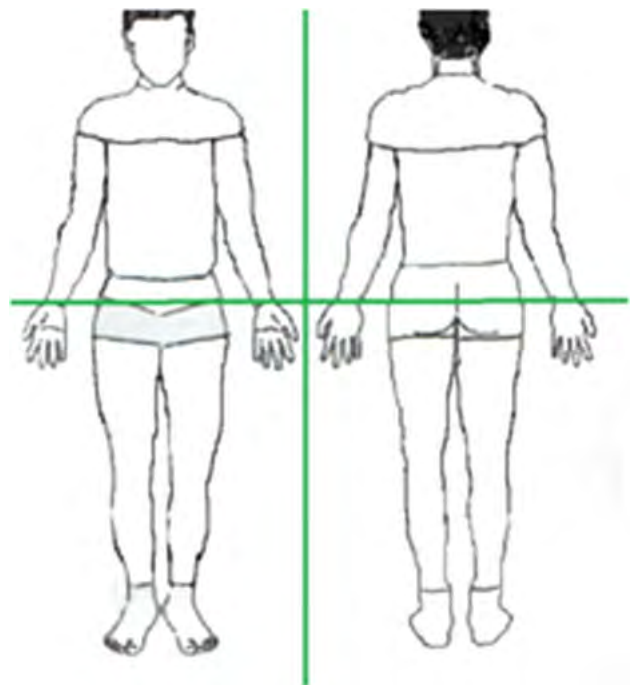


Fig. 1 View of areas covered by the subsequent thermograms

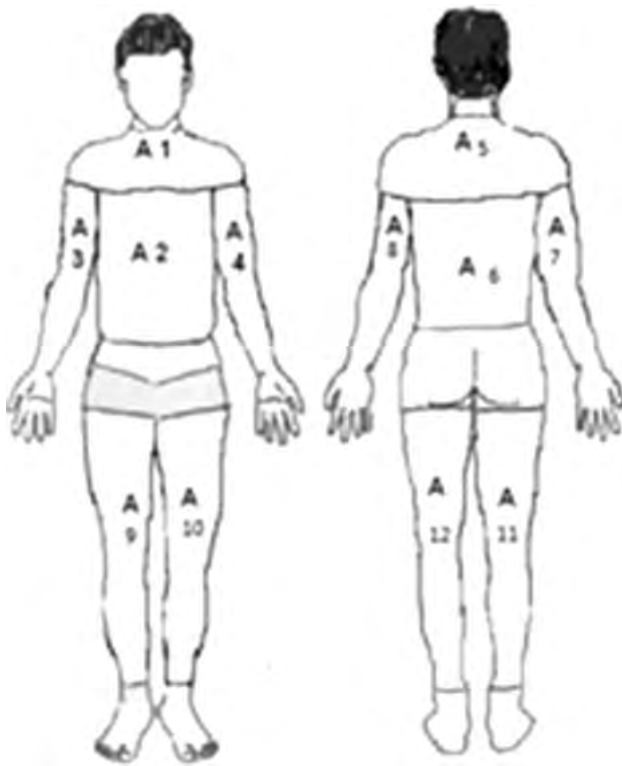


Fig. 2 Measurement areas in twelve regions of the body

### Surface body temperature registration

Surface body temperatures were registered with the use of thermal camera ThermoVision FLIR SYSTEM 335, Researcher (technical specifications—field of view/min. focus distance:  $19^\circ \times 14^\circ/0.3$  m; spectral range:  $7.5\text{--}13$   $\mu\text{m}$ ; spatial resolution [IFOV] 2.7 mrad; automatic emissivity correction: variable from 0.1 to 1.0) and transmitted to a personal computer with the Therma CAM Researcher Professional 2.9 software installed. The body

temperatures registration took place in a dedicated laboratory. Examinations were performed three times: directly before the general rehabilitation exercise (Examination I) and five (Examination II) and 15 min after general rehabilitation exercise (Examination III). Measurements of minimal, maximal, and mean temperatures from selected body regions were carried out in standing position. The thermal images were captured both from the front and from the back side of the body, at a distance of 2 m (Figs. 1–4; Table 1). Before capturing raw thermograms, the subjects remained without outerwear (only in underwear) for about 15 min in order to equalize the body temperature. Qualitative and quantitative analysis of thermal images was performed in 12 regions of the body: the trunk, left and right upper limb regions, and left and right lower limb regions (captured from the front and from the back).

For the purpose of statistical analysis, the results of raw thermograms were averaged as follows: the front and the back side. Finally three areas (upper extremities and trunk and lower extremities) were compared.

### Thermal imaging performance protocol

Prior to each thermal imaging of the examined subject, the measurement room was prepared to maintain the same measuring conditions such as the room size of  $2 \times 3$  m (without windows, installation of the floor and wall heating, tiled surfaces or the plumbing system) and the room equipment (the hytherograph, thermometer, insulation mat, LED light, and manual air-conditioning).

The room temperature was kept constant (by cooling or heating the room during the breaks). The values of the temperature up to  $23$   $^\circ\text{C}$  and air humidity  $45\text{--}55\%$  were monitored during the whole examination.

The subjects were informed about the examination and completed the consent and health form. Next, they received

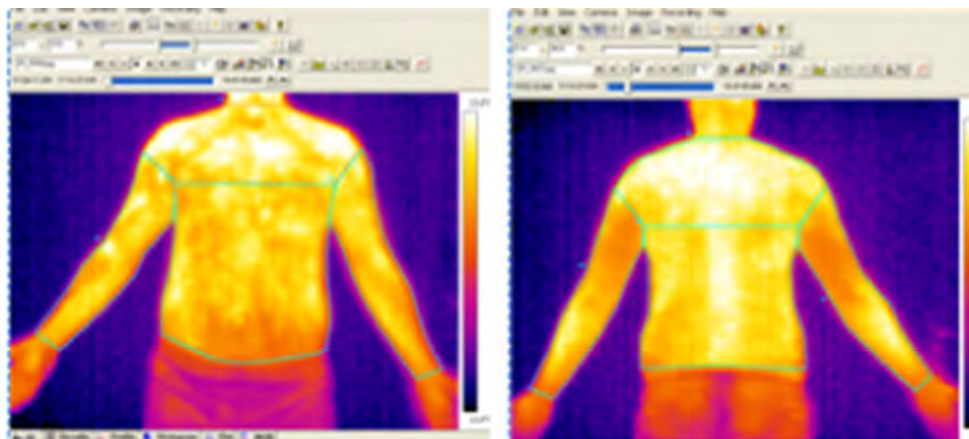
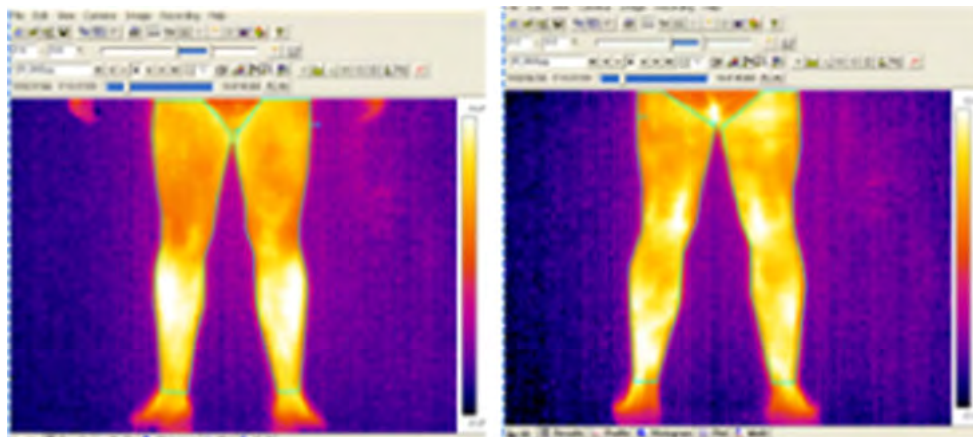


Fig. 3 Thermal imaging whit Examination I the front and the back side of the body, in the trunk and upper limbs region (A1–A8)

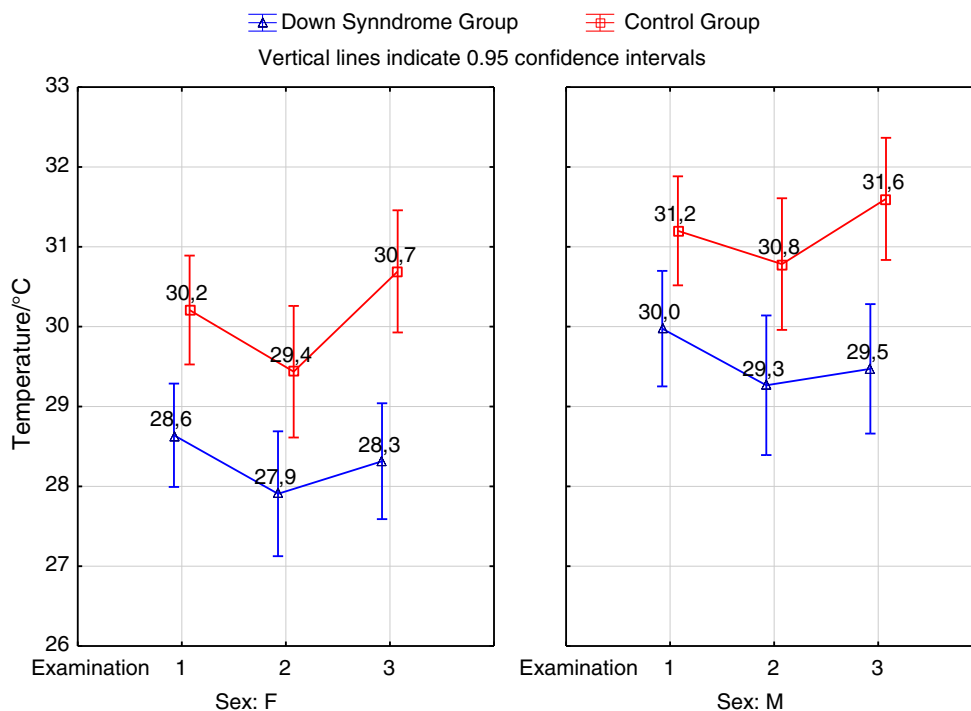
**Fig. 4** Thermal imaging whit Examination I the front and the back side of the body, in the lower limbs region (A9–A12)



**Table 1** Description of measurement points on the thermograms

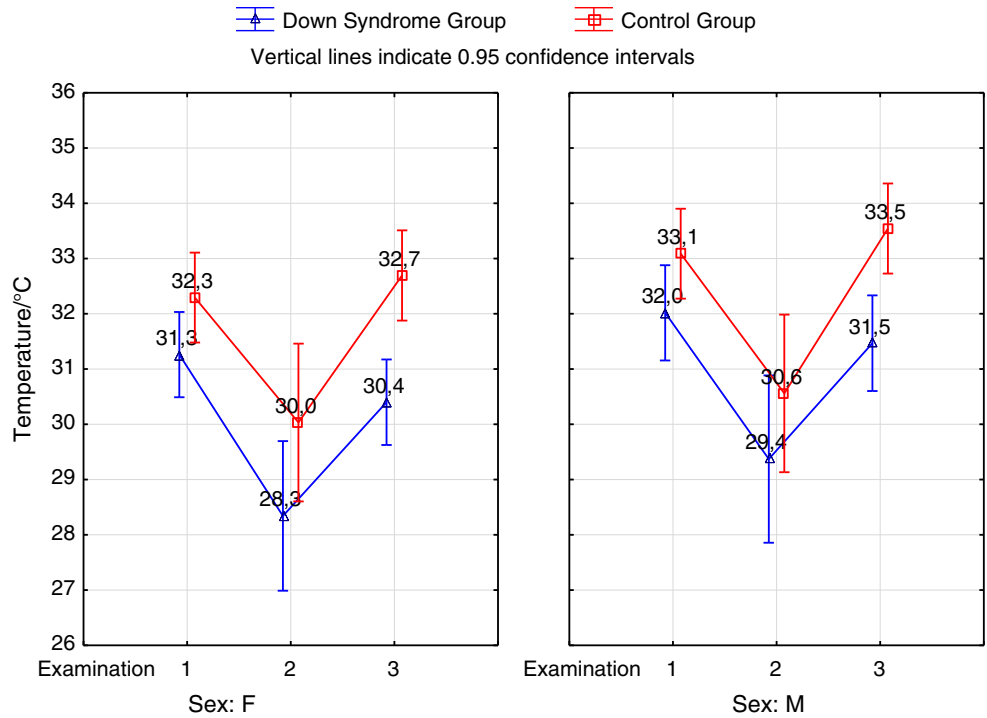
A1	Shoulder belt front	A5	Shoulder belt back
A2	Trunk front	A6	Trunk back
A3	Right upper limb front	A7	Right upper limb back
A4	Left upper limb front	A8	Left upper limb back
A9	Right lower limb front	A11	Right lower limb back
A10	Left lower limb front	A12	Left lower limb back

disposable examination outfit (slippers, underwear, head-band/cap) which they wore to the end of the examination. Afterward, they were adapted to the examination taking into account the time relative to the endomorph body type (about 15 min before making the thermogram) in standing or sitting position without the backrest. Subsequently, the thermogram was made. Each time the room was occupied by one subject and one examiner.

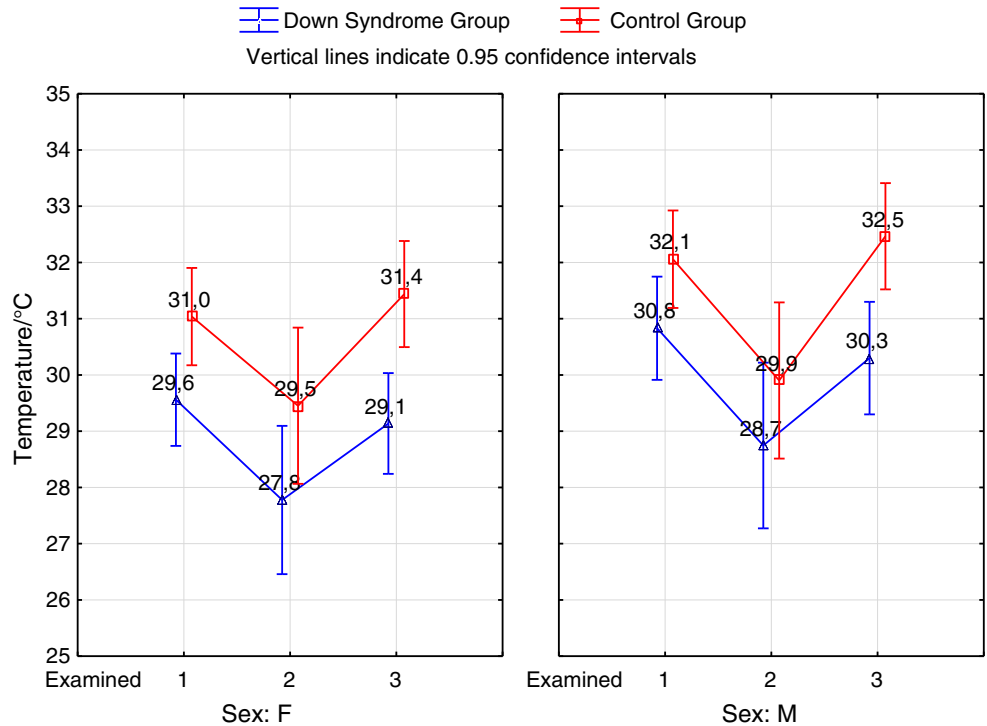


**Fig. 5** Distribution of average temperatures in the lower limbs region, measured before the exercise, after the exercise and after 15-min restitution

**Fig. 6** Distribution of average temperatures in the trunk region, measured before the exercise, after the exercise and after 15-min restitution



**Fig. 7** Distribution of average temperatures in the upper limbs region, measured before the exercise, after the exercise and after 15-min restitution



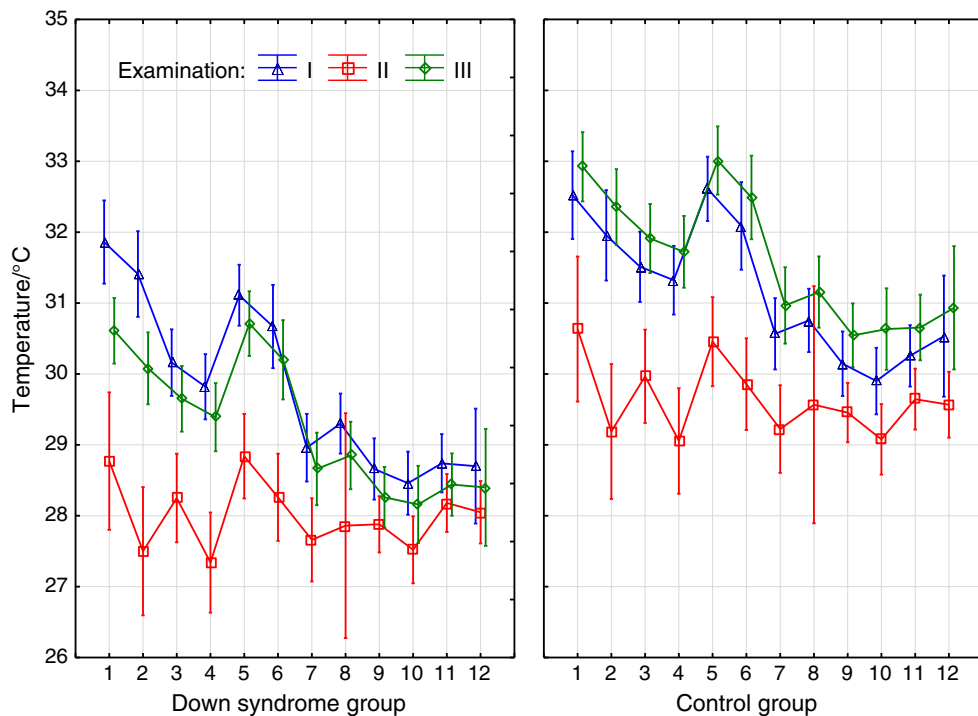
**Statistical analysis**

The statistical analysis was carried out with the use of Statistica PL software v.9 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, USA). The analyzed variables were checked by the

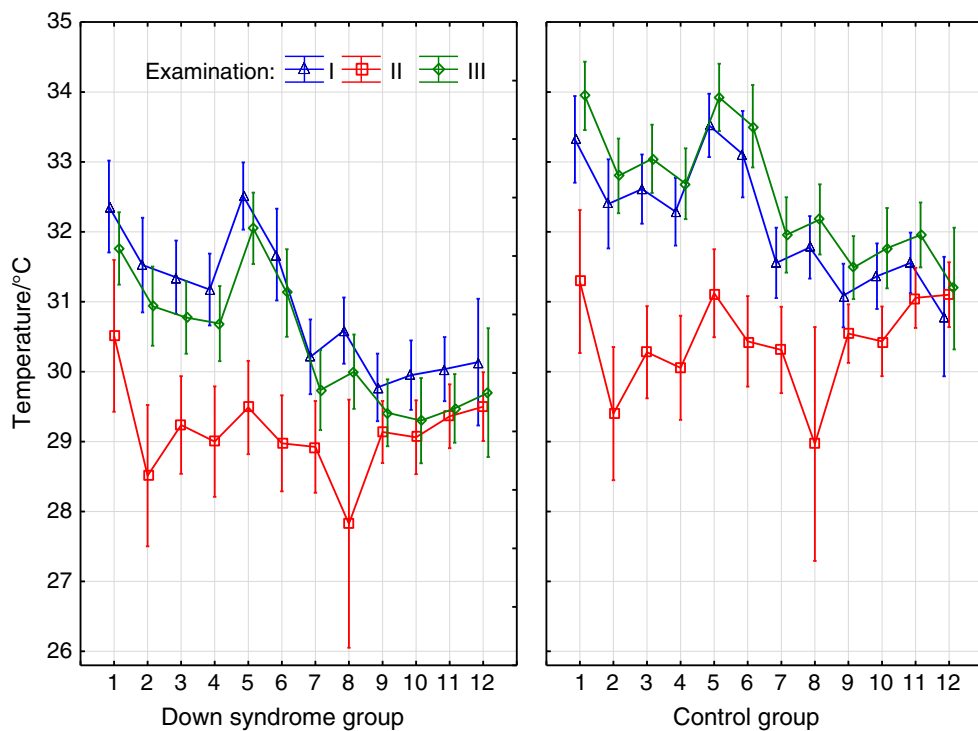
Shapiro–Wilk test, which showed no evidence to reject the hypothesis of normal distribution.

The statistical analysis of the analyzed parameters is presented using the following measures: arithmetic mean, standard deviation, coefficient of variation, and 95%

**Fig. 8** Changes in surface body temperature in all studied regions in group female



**Fig. 9** Changes in surface body temperature in all studied regions in group male



confidence intervals. In order to assess the differences between the parameters in the group of people with Down syndrome and the control group, an analysis of variance (ANOVA) was applied along with a post hoc comparison

based on the least significant differences (LSD) method. In all the applied statistical methods, values of examinations and coefficients at a level of  $p \leq 0.05$  were regarded as statistically significant.

**Table 2** Variations of average temperatures in lower limbs regions in the subsequent examinations, between females in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 31,249 df

Group	Sex	Examination	{1} 28,640	{2} 27,908	{3} 28,315	{4} 30,208	{5} 29,436	{6} 30,692
DS	F	1		0.0001	0.0399	0.0000	0.0056	0.0000
DS	F	2	0.0001		0.0108	0.0000	0.0000	0.0000
DS	F	3	0.0399	0.0108		0.0000	0.0002	0.0000
Control	F	1	0.0000	0.0000	0.0000		0.0001	0.0028
Control	F	2	0.0056	0.0000	0.0002	0.0001		0.0000
Control	F	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0000	

**Table 3** Variations of average temperatures in lower limbs regions in the subsequent examinations, between males in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) Approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 31,249 df

Group	Sex	Examination	{1} 29,975	{2} 29,266	{3} 29,472	{4} 31,200	{5} 30,783	{6} 31,600
DS	M	1		0.0001	0.0020	0.0001	0.0061	0.0000
DS	M	2	0.0001		0.2145	0.0000	0.0000	0.0000
DS	M	3	0.0020	0.2145		0.0000	0.0001	0.0000
Control	M	1	0.0001	0.0000	0.0000		0.0092	0.0122
Control	M	2	0.0061	0.0000	0.0001	0.0092		0.0001
Control	M	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.0001	

## Results

In order to image the dynamics of changes in surface body temperatures, the mean values of the analyzed parameters are presented for the regions of the trunk, upper limbs, and lower limbs. An analysis of mean body temperatures in all the body regions in both groups showed statistically significant differences. Since they were observed in all comparisons, this material is so extensive that it is not presented here in a numerical or graphic form.

Additional analyses showed that both groups were consistent in terms of the BMI mass–height ratio, which did not differ in a statistically significant way.

An analysis of the results of Examination I (basal) revealed that surface body temperatures in people with DS were lower in all the regions of the body, both for men and women (Figs. 3–9) and exhibited statistically significant differences (Tables 2–7). For women, the temperature of the trunk region was lower by 1.03 °C, of the upper limbs—by 1.48 °C, and of the lower limbs—by 1.57 °C. In males, the respective differences were 1.07 °C (trunk), 1.28 °C (upper limbs), and 1.22 °C (lower limbs) (Figs. 3–9).

The subsequent analyses of the research results obtained 5 min after the training showed a statistically significant decrease in the temperatures of all the body regions in both groups (Tables 2–7). The greatest decrease in surface body temperatures was recorded in the trunk region in women (by 3.0 °C) and in men (by 2.6 °C) with DS. In the control group, the decrease was, respectively, 2.3 and 2.5 °C. The statistical analyses showed a similar decrease in the temperature of upper and lower limbs in both groups (Fig. 5–9).

The analysis of Examination III (15 min after the training), which measured post-exercise restitution, showed the existence of statistically significant differences in comparison with Examination I before the exercise. This tendency was visible in all the body areas of subjects in every subgroup (with the exception of upper limbs in women with DS) (Tables 2–7). In the control group, the temperature recorded during Examination III exceeded the basal value in a statistically significant way, in all the regions of the body (Fig. 5–9). In all the examined body regions of the subjects in the control group, there was a similar increase in temperature, both in men and in women (Fig. 5–9). The dynamics of changes in people with DS

**Table 4** Variations of average temperatures in the trunk region in the subsequent examinations, between females in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) Approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 60,782 df

Group	Sex	Examination	{1} 31,263	{2} 28,343	{3} 30,400	{4} 32,294	{5} 30,033	{6} 32,694
DS	F	1		0.0000	0.0018	0.0114	0.0026	0.0006
DS	F	2	0.0000		0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
DS	F	3	0.0018	0.0001		0.0000	0.3239	0.0000
Control	F	1	0.0114	0.0000	0.0000		0.0000	0.1214
Control	F	2	0.0026	0.0001	0.3239	0.0000		0.0000
Control	F	3	0.0006	0.0000	0.0000	0.1214	0.0000	

**Table 5** Variations of average temperatures in the trunk region in the subsequent examinations, between males in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) Approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 60,782 df

Group	Sex	Examination	{1} 32,019	{2} 29,372	{3} 31,469	{4} 33,089	{5} 30,561	{6} 33,544
DS	M	1		0.0000	0.0347	0.0087	0.0004	0.0003
DS	M	2	0.0000		0.0000	0.0000	0.0036	0.0000
DS	M	3	0.0347	0.0000		0.0001	0.0219	0.0000
Control	M	1	0.0087	0.0000	0.0001		0.0000	0.0785
Control	M	2	0.0004	0.0036	0.0219	0.0000		0.0000
Control	M	3	0.0003	0.0000	0.0000	0.0785	0.0000	

**Table 6** Variations of average temperatures in the upper limbs region in the subsequent examinations, between females in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 64,520 df

Group	Sex	Examination	{1} 29,560	{2} 27,778	{3} 29,138	{4} 31,039	{5} 29,453	{6} 31,439
DS	F	1		0.0000	0.1152	0.0006	0.7788	0.0000
DS	F	2	0.0000		0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
DS	F	3	0.1152	0.0001		0.0000	0.4100	0.0000
Control	F	1	0.0006	0.0000	0.0000		0.0000	0.1148
Control	F	2	0.7788	0.0001	0.4100	0.0000		0.0000
Control	F	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.1148	0.0000	

was different—15 min after the training, the mean temperatures did not reach the basal values. They were significantly lower than during Examination I (Fig. 5–9, Tables 2–7).

## Discussion

The temperature analysis of body surface temperatures is a safe and noninvasive method of observing the thermoregulatory response of the human body to a thermal stimulus or following physical exertion [12, 15–17].

Changes in physiological parameters, which have a visible effect on the difference in body temperatures distribution, are dependent on many factors and processes occurring in the body of every person, such as hormone balance, blood flow dynamics, the differentiation of percentage distribution of various types of body tissues, and personal predispositions to maintain a certain body temperature range (normothermy) [11].

The ability to do physical exercise of varying intensity and achieve satisfying results in physiotherapy is the basic and fundamental aspect of a physiotherapist's work with the patient. Physical movement increases the metabolic



**Table 7** Variations of average temperatures in the upper limbs region in the subsequent examinations, between males in the research group and control group

Duncan's test; variable DV\_1 (matrix Down syndrome and control gr.) approx. probability for post hoc comparisons. Error: intergroup mean square, repeated measures, matched = 64,520 df

Group	Sex	Examination	{1} 30,831	{2} 28,747	{3} 30,300	{4} 32,058	{5} 29,903	{6} 32,467
DS	M	1		0.0000	0.0376	0.0036	0.0231	0.0002
DS	M	2	0.0000		0.0000	0.0000	0.0070	0.0000
DS	M	3	0.0376	0.0000		0.0001	0.3001	0.0000
Control	M	1	0.0036	0.0000	0.0001		0.0000	0.1076
Control	M	2	0.0231	0.0070	0.3001	0.0000		0.0000
Control	M	3	0.0002	0.0000	0.0000	0.1076	0.0000	

rate, which is connected with faster blood circulation and the speed of oxygen transport. This leads to an increase in temperature, which is also affected by muscle work. In this situation, a very important physiological response is the ability to remove heat from the body by excreting sweat and reducing the increase in internal temperature of the body [18].

The observed changes in body surface temperatures provide much information about the efficiency of thermoregulatory processes, which are decisive for post-exertion homeostasis. Efficient thermoregulation is an important factor in the body's adaptation to physical effort [19–21].

The analysis of the thermograms was based on a comparison of the distribution of surface temperatures in different regions of the body. It offers the possibility to morphologically and functionally depict selected body regions. This is possible thanks to the fact that the human body emits a wide spectrum of infrared radiation, and thermography enables us to visualize the emitted signals. Many studies have shown significant differences in body surface temperatures in thermographic examinations, which seems to indicate the existence of factors that are not fully understood at present. One could speculate that they are connected with somatic traits, age, BMI, type of performed physical exercise, and changes in peripheral circulation [22, 23].

Thermographic images of people with DS in the state of thermal homeostasis provide valuable information about the average mean temperatures of their bodies. Potentially, they can complement the results of screening tests in the diagnostics of existing dysfunctions. It is hugely important in planning the physiotherapeutic process because it can prevent overexertion and injuries to the motor organs; indirectly, it can be helpful in analyzing the human body's response and in preventing hyperthermia. The method can be used in planning the physiotherapeutic process based on movement therapy, taking into account the strength of the

motor organ of people with DS and its resistance to training and rehabilitation load.

Disorders of the central nervous system resulting from trisomy 21 are also connected with dysfunctions of the body thermostat—the frontal and tuberal hypothalamus. Due to the impairment of thermoregulatory processes in people with DS, it seems justifiable to analyze how they respond to changes in temperature resulting from the influence of the external environment and physical exercise.

Thermoregulatory disorders and their effects in people with DS, i.e., intolerance of changes in the external environment and the impairment of the body's ability to adapt to increased training load, have been the subject of many researches [24, 25]. Cocchi studied 432 people with trisomy 21 and focused on their reception of thermal stimuli. The analysis focused on the subjects' individual responses to heat and cold stimuli, their reactions to changes in the temperature of the environment, and observations made by caregivers, e.g., whether the subjects removed sheeting at night, whether they preferred to stay in the sun or in the shade, whether they sweated irrespective of physical effort. The obtained results made it possible to establish that 67.36% of the subjects showed low tolerance of heat, 5.78% were more sensitive to cold, 2.08% were sensitive to both heat and cold, and 19.61% were indifferent to the changes in temperatures. In 4.1% of the cases, it was impossible to obtain credible points of reference. There were also differences depending on the subjects' sex.

Cocchi concluded that people with DS are clearly intolerant of heat, which can be connected with the improper functioning of the thermoregulatory mechanism in the hypothalamus. This conclusion had been supported by his earlier research on people with trisomy 21. By focusing on the substantial deficiency of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) in people with DS it was proven that this substance influences the thermoregulation center in the hypothalamus. The results indicated that people with DS, who have low levels of GABA in their bodies, exhibit low

tolerance of exogenous and endogenous heat load [24]. Davidenkova [25] identified the reason for errors in the thermoregulatory mechanism in damage to the red nucleus and showed a direct correlation between improper muscle tension and the ability of people with DS to adapt to the changing temperatures. She also listed significant changes in the anatomical structure, such as the atrophy of the frontal sinuses in people with DS, which leads to the impairment of the possibility of actively regulating the body temperature by using ventilation near the brain. Another important aspect of impaired thermoregulation in trisomy 21 is the lack of the correct systolic blood pressure reaction to a thermal stimulus, which can also influence the use of physical exercise in people with Down syndrome [25].

Taking into account the improper functioning of the thermoregulatory center in people with DS, this research focused on the analysis of the dynamics of body surface temperature changes and the efficiency of the body's thermoregulatory response to physical exercise in general rehabilitation. The findings could be useful in planning the optimal physiotherapy load or using alternative thermal physical stimuli as a component of treatment.

In this research, thermographic registration of the subjects' body temperatures necessary to create an initial thermal map led to the observation of a variation in the analyzed parameter. The temperature analysis accounted for a correlation with the subjects' sex and the BMI of both sexes. In order to eliminate the influence of the body composition on the variation in body temperatures, there were no significant differences in BMI. According to the WHO classification, people with  $\text{BMI} \geq 25.0$ , which signifies overweight or obesity, may exhibit changes in the distribution of body temperatures [26]. Fatty tissue serves the role of an insulator against both exogenous (external) and endogenous (internal) temperatures, which results from metabolic processes occurring in the human body. Similar distributions of average temperatures in the human body have been recorded by other researchers. In their analysis of average body temperature distribution, Skrzek observed the highest temperatures in the region of the shoulder belt, chest, and the abdominal cavity [27]. Chudecka [28] in their research showed that the temperature of individual regions of the body varies.

In this research, the highest temperatures in both groups were observed in the trunk, upper limbs, and then lower limbs. However, subjects with DS had lower average values in all the analyzed body regions. Supposedly, such significant variations in body temperatures in both groups could result from impairments of the functioning of the hypothalamus in people with trisomy 21.

By analyzing the variations in the distribution of average body temperatures in people with DS and breaking the

results down with respect to sex, a clear difference was observed between women and men. Women with DS had lower average temperatures in the analyzed body regions than men.

However, a statistical analysis of the findings did not indicate a correlation between the variations in both groups' body temperatures and their BMI. Because both research groups showed similar levels of simple obesity as measured by BMI, it enabled the authors to draw the conclusion on the basis of literature on the subject that the linear gradient of both groups with respect to each other may result from the impairment of hypothalamus functioning in subjects with trisomy 21.

The thermal imaging of subjects after general rehabilitation exercise showed a significant decrease in the temperatures of all body regions in both groups. The greatest decrease in surface temperatures was observed in the trunk region of women and men with Down syndrome. At the same time, the decline of temperatures in the lower limbs region in women and the upper limbs region in men was similar in the research group and the control group. Any form of physical activity results in increased tissue metabolism accelerating the transport of oxygen due to faster blood circulation, which in turn increases the body temperature as a consequence of producing heat by the working muscles [29, 30]. If the body is subject to physical or sports exercise, it is important to improve the ability of removing excess heat from the organism (limiting the increase of endogenous temperature and accelerating the excretion of sweat), which makes it possible to continue the effort [30, 31]. The efficiency of the thermoregulatory mechanism is therefore an important element of the body's adaptation to physical exertion. Changes in body surface temperatures in the wake of movement therapy, for example, reflect the speed of removing endogenous heat produced during the effort as well as the body's thermoregulatory response aimed at maintaining its thermal balance.

The general rehabilitation training used in this research project resulted in a significant change in body temperatures both in the group of people with DS and in the control group. The distribution of temperatures confirmed earlier research findings which demonstrate that skin covering areas of the body with rich vascular network displays greater heat than skin directly covering bone areas [32]. Such distribution of temperatures could be explained both by the shape of the analyzed surface and by its thermal inertia. Moreover, the internal organs situated in the trunk and the abdominal cavity, whose functioning results in the production of heat, contribute to maintaining a constant increased temperature in these body regions [27]. The analysis of temperature distribution in the research group could indicate a correct functioning of the hypothalamus.

However, it seems necessary to control the decrease of temperature accompanying physical activity because people with trisomy 21 exhibit greater sweating near the face and neck and an impairment of this ability in response to increased temperature in other body areas. Cocchi's research highlights the number of sweat glands in people with DS in comparison with healthy individuals. In countries with higher average air temperatures, such as Italy or the Sudan, the survival rate for people with DS is lower. The reason for it is the fact that as temperature increases, so does the body's demand for oxygen. This triggers thermoregulatory processes based on faster heart rate, among others, and since ca. 40% of people with trisomy 21 suffer from innate cardiovascular diseases, the excessive burden on the cardiovascular system leads to cardiopulmonary episodes that often cause the patient's death. Numerous genetically conditioned changes in the bodies of people with DS probably influence not only their mental retardation, but also the impaired ability of functioning and adapting to the thermal changeability of the environment [24].

The effects of the subjects' thermal response are also visible in the process of restitution after general rehabilitation effort. Literature on the subject provides many examples of short-term increase of temperature on the basal values during restitution. It results from higher warmth of skin caused by faster blood flows in the analyzed body regions [33].

In this research after 15-min restitution following general rehabilitation exercise, temperatures returned to the basal values, or slightly exceeded them, in all the body regions of the subjects in the control group. The return was very dynamic, which may indicate a quicker response of the body to a thermal stimulus and may influence the efficiency of the body's thermal regeneration [34–36].

The analysis of findings concerning post-effort restitution in both groups revealed a greater increase in average temperatures of all the body regions in the control group. The biggest increase of temperature was observed in the trunk region in both women and men, followed by upper limbs and lower limbs. The same order was observed in subjects with DS, although the increase was less dynamic. However, the values of the analyzed parameters did not reach the basal values, which may indicate an impairment of thermoregulatory processes. Based on the findings of other researchers, it is possible to explain the reasons for the changes in temperatures during the restitution process. The short-term increase in body temperatures on the basal values as shown by the body's thermal imaging map before the training may result from the warming up of the skin caused by faster blood flow after training [30].

Thus, in the therapy and rehabilitation of people with DS, it is necessary to focus on the global character of the applied effort as well as stimulation with physical stimuli,

taking into account the impaired functioning of the thermoregulatory mechanisms.

## Conclusions

1. The surface body temperatures showed significant differentiation depending on the analyzed regions of the body in both groups.
2. In both groups, a statistically significant decrease in surface body temperatures after general rehabilitation exercise was observed in all the regions of the body; it was highest in the trunk region in people with Down syndrome.
3. In the group of healthy subjects, after 15-min restitution the body temperatures returned to the basal values and even increased them significantly, whereas in the group of people with Down syndrome, the body temperatures did not return to the basal values. It could indicate a greater efficiency of thermoregulatory processes in the control group.

**Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

## References

1. Bal J. Molecular biology in medicine. Elements of clinical genetics. Warsaw: PWN; 2008.
2. Sadowska L, Górecka B, Choińska AM, Sadowska A. Socio-demographic and health situation of children with Down syndrome based on their own observations. *Pediatr Endocrinol.* 2009;15:93–101.
3. Skallerup SJ. Babies with Down syndrome. A new parent's guide. Bethesda: Woodbine House; 2008.
4. Devlin L, Morrison PJ. Accuracy of the clinical diagnosis of Down syndrome. *Ulster Med J.* 2004;73:4–12.
5. Bruni M. Fine motor skills for children with Down syndrome. Bethesda: Woodbine House; 2006.
6. Wójtowicz D, Sadowska L, Mysłek M, Skrzek A, Dominiak P, Wronecki K, Prasał K. The methods of physiotherapy, which are used by children with Down syndrome and congenital heart disease which require cardiosurgical intervention. *Fizjoter.* 2008;16(1):46–51.
7. Bieć E, Zima J, Wójtowicz D, Wojciechowska-Maszkowska B, Kręcisz K, Kuczyński M. Postural stability in young adults with Down syndrome in challenging conditions. *PLoS One.* 2014;9:e94247.
8. Galli M, Rigoldi Ch, Mainardi L, Tenore N, Onorati P. Postural control in patients with Down syndrome. *Disabil Rehabil.* 2008;30:1274–8.

9. Rigoldi C, Galli M, Crivellini M, Albertini G. Postural control in children, teenagers and adults with Down syndrome. *Res Dev Disabil.* 2011;32:170–5.
10. Díaz M, Becker DE. Thermoregulation: physiological and clinical considerations during sedation and general anesthesia. *Anesth Prog.* 2010;57(1):25–32.
11. Dębiec-Bąk A, Pawik Ł, Skrzek A. Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography. *J Therm Anal Calorim.* 2016;123(3):1633–44.
12. Chudecka M, Lubkowska A. Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact physiological and morphological factors on the skin temperature. *J Therm Biol.* 2010;35(8):379–85.
13. Ring EFJ, Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermol Int.* 2010;10(1):7–14.
14. Ammer K. The Glamorgan protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermol Int.* 2008;18(4):125–44.
15. Cholewka A, Stanek A, Sieroń A, Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole body cryotherapy. *Skin Res Technol.* 2012;18(2):180–7.
16. Cholewka A, Stanek A, Kasprzyk T. Thermovision application in sport efficiency test-pilot study. *PAK.* 2013;59:871–4.
17. Taradaj J. The use of thermographic studies in modern medicine. *Rehabil Prak.* 2007;3:16–7.
18. Simmons GH, Wong BJ, Holowatz LA, Kenney WL. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Exp Physiol.* 2011;96(9):822–8.
19. Kajewska J, Stanek A, Sieroń-Stożny K, Cholewka A. Thermal imaging in evaluation of the physical fitness level. In: Vardasca R, Mendes JG, editors. *Innovative research in thermal imaging for biology and medicine.* Hershey: IGI Global; 2017. p. 141–64.
20. Cholewka A, Kasprzyk T, Stanek A, Sieroń-Stożny K, Drzazga Z. May thermal imaging be useful in cyclist endurance tests? *J Therm Anal Calorim.* 2016;123(3):1973–9.
21. Maughan RJ. Thermoregulatory aspects of performance. *Exp Physiol.* 2012;97(3):291–3.
22. Coh M, Sirok B. Use of the thermovision method in sport training. *Wychow Fiz Sport.* 2007;5:85–94.
23. Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Sobiech KA, Skrzek A. Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation. *Hum Mov.* 2013;14:299–304.
24. Cocchi R. Drug therapy in endogenous depression with possible primary GABA deficiency clinically detected: 38 new cases. *Riv Sper Freniat.* 1979;103:645–53.
25. Davidenkova EF. *Bolezn' Dauna (Sindrome di Down). Profilaktika e lechenie (Prevenzione e trattamento).* Moscow: Moscow Publishing House; 1966.
26. World Health Report (WHO). 2004. <http://www.who.int/whr/2004/overview>.
27. Skrzek A, Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Sobiech K. Analysis of body temperature variation in thermographic studies. In: Podbielska H, Skrzek A, editors. *Biomedical application of thermovision.* Wrocław: University of Technology; 2013. p. 87–99.
28. Chudecka M, Lubkowska A, Kempieńska-Podhorodecka A. Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women. *J Therm Biol.* 2014;43:1–6.
29. Badza V, Jovancevic V, Fratic F, Roglic G, Sudarov N. Possibilities of thermovision application in sport and sport rehabilitation. *Vojnosanit Pregl.* 2012;6:904–7.
30. Chudecka M, Lubkowska A. Evaluation of the body surface temperature changes in the basketball players' after training. *Acta Bio-Opt Inform Med.* 2011;17:271–4.
31. Smorawiński J, Grucza R, Kozłowski S. Thermoregulatory adaptation to exercise in the course of endurance training. In: Nazar K, editor. *International perspectives in exercise physiology.* Champaign: Human Kinetics Book; 1990. p. 188–91.
32. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H. Application of thermovision for estimation of the optimal and safe parameters of the whole body cryotherapy. *J Therm Anal Calorim.* 2013;111(3):1853–9.
33. Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Jonak A. Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research. *Acta Bio-Opt Inform Med.* 2009;15:322–7.
34. Marino FE. Thermoregulation and human performance. Physiological and biological aspects. *Med Sport Sci.* 2008;53:89–103.
35. Minett GM, Duffield R, Marino FE, Portus M. Duration-dependent response of mixed-method pre-cooling for intermittent-sprint exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112:3655–66.
36. Hausswirth Ch, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Fillion JR, Brisswalter J. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PLoS One.* 2011;6:e27749.

# Using Thermography in the Diagnostics of Lymphedema: Pilot Study

Agnieszka Dębiec-Bąk, PhD,<sup>1</sup> Anna Skrzek, Prof.,<sup>1</sup> Marek Woźniewski, Prof.,<sup>2</sup> and Iwona Malicka, PhD<sup>2</sup>

## Abstract

**Purpose:** The aim of the study was to evaluate the usefulness of thermography in the diagnosis of lymphedema.

**Methods:** The study included 43 women after axillary dissection caused by breast cancer, whose mean age was  $64.4 \pm 7.8$  years. The subjects were divided into two groups, with the criterion for division being the appearance of secondary lymphedema. The size of lymphedema was verified by Limb Volumes Professional 5.0; body surface temperatures were registered using a thermal camera.

**Results:** In the control group, the difference in the volume of the limb on the operated side and the contralateral limb was  $7.5 \pm 77.7$  mL (3.6%). The temperature on the nonoperated side tended to be higher than on the opposite side. In the test group, the difference in size between the limbs was  $54.5 \pm 312.7$  mL (29.3%). In the case of mild or moderate edema, a reverse tendency was observed. While measuring the difference in the mean surface temperatures of both limbs belonging to two groups, a significance of differences at the level of  $p=0.04$  was observed. Moreover, a negative Spearman correlation coefficient ( $-0.34$ ) was observed between the size of secondary lymphedema and the surface temperature.

**Conclusion:** Noninvasive thermography can provide a valuable supplementary tool in the diagnostics of secondary lymphedema.

**Keywords:** lymphedema, thermography, surface temperature, breast cancer

## Introduction

LYMPHEDEMA IS A chronic debilitating disease that never remits spontaneously. It is often misdiagnosed, diagnosed too late, or completely untreated.<sup>1</sup> Apart from constituting a health risk, it also negatively impacts on the socioeconomic situation.<sup>2,3</sup> The disease affects more than 90 million people worldwide, especially in Asia and the Far East. In developed countries, the primary cause of lymphedema is radiation therapy, most often used during the treatment of breast cancer, gynecologic cancers, prostate cancer, cancers of the urinary system, head and neck, as well as melanoma, sarcoma, and lymphoma.<sup>1,3</sup>

Secondary lymphedema develops as a result of abnormal accumulation of lymph fluid in the tissue; as it progresses, the extensibility of the subcutaneous tissue decreases. Apart from changes in the volume or circumference of the affected area, patients suffer from a feeling of heaviness, reduced mobility, trophic changes in the skin, and recurrent cellulitis. Consequently, it leads to the development of tissue fibrosis.<sup>4</sup>

One of the main factors affecting the effectiveness of lymphedema treatment is the fast and correct diagnosis;

however, there are no commonly accepted standards in this regard.<sup>5</sup> The most common methods of diagnostics include circumference measurements, water displacement, tissue tonometry, perometry, bioimpedance spectroscopy, contrast-enhanced magnetic resonance lymphangiography, and indocyanine green lymphangiography.<sup>6</sup>

Thermography is a medical imaging method that has been used increasingly often in recent years. It is a completely safe, noninvasive, and noncontact method that makes it possible to determine the distribution of body surface temperatures, which are often connected with the physiological or pathological condition of tissues or organs.<sup>7,8</sup>

Thermal phenomena on the surface of the human body result from metabolic changes in the subcutaneous tissue, the blood supply to the tissue, thermal conductivity of the muscular and adipose tissues, and the exchange of heat with the environment through skin.<sup>9,10</sup> Morbidities, especially inflammations, change the heat flow rate, which results in a large temperature gradient between the affected area and the symmetrical body area.<sup>7</sup> Thus, noncontact thermography can provide excellent support for the traditional screening methods. Moreover, due to the possibility of analyzing the

Departments of <sup>1</sup>Physiotherapy in Motor Organ Dysfunctions and <sup>2</sup>Rehabilitation in Internal Medicine, Faculty of Physiotherapy, University School of Physical Education in Wrocław, Wrocław, Poland.

distribution of body surface temperatures, thermography can be considered a supplementary method in the diagnostics of lymphedema.<sup>8</sup>

This study was intended to assess the usefulness of thermography in the diagnostics of lymphedema. It was assumed that the temperature of surface tissues is connected with the stage of lymphedema, and consequently that noncontact thermography can be used as a method complementing other diagnostic methods.

### Test Group

The study included 43 women after axillary dissection caused by breast cancer, whose mean age was  $64.4 \pm 7.8$  years. The average height was  $159.8 \pm 5.6$  cm, and average body weight was  $74.8 \pm 10.9$  kg. A total of 83.7% of the subjects had undergone mastectomy, while 16.3% had had breast-conserving surgery. Moreover, 51.2% of the research participants had been subjected to radiotherapy, 55.8% had undergone chemotherapy, and 48.8%—hormonal therapy. The average time since the treatment was  $7.9 \pm 6.3$  years. The subjects were divided into two groups, with the criterion for division being the appearance of secondary lymphedema (detailed analysis of the studied groups is presented in Tables 1 and 2).

The test group was also verified for the size of lymphedema. In eight women it was mild (the size of the edema was 10%–20%), in eight—moderate (the size of the edema was 20%–40%), and in four women—severe, with the size of the edema greater than 40%.

The research was approved by the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the University School of Physical Education (June 28, 2007).

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

The authors of the research obtained consent from the persons examined with the probe to participate in the research.

### Research Methods

#### Assessment of the size of lymphedema

In all the women, the circumference of both upper limbs was measured at five points with the use of a measuring tape. The first measurement was made at the height of the ulnar styloid process, and the four subsequent measurements were made at 10-cm intervals, beginning from the styloid process. The examination was performed in the standing position, with the upper limb held at a 90° angle and resting on wall bars. The size of lymphedema, expressed in milliliters and as a percentage, was obtained with the use of Limb Volumes

TABLE 1. DESCRIPTIVE CHARACTERISTICS OF THE STUDIED GROUPS

Variable	Test group, N=20	Control group, N=23	p
Age, years	$64.4 \pm 8.6$	$64.4 \pm 7.2$	0.79
Body weight, kg	$74.6 \pm 12.3$	$74.8 \pm 9.8$	0.80
Height, cm	$159.2 \pm 4.5$	$160.2 \pm 6.4$	0.63
Time since treatment, years	$9.4 \pm 6.8$	$9.2 \pm 5.8$	0.78

TABLE 2. TREATMENT USED IN THE STUDIED GROUPS

Variable	Test group (N=20), %	Control group (N=23), %	$\chi^2$ Pearson—p
Mastectomy	75.0	91.3	0.14
Radiotherapy	70.0	34.8	0.02
Chemotherapy	70.0	43.5	0.08
Hormonal therapy	50.0	47.8	0.88

Professional 5.0 software. To assess the severity of secondary lymphedema, the following criteria were applied:

- no edema—below 10%
- mild edema—10%–20%
- moderate edema—20%–40%
- severe edema—above 40%

#### Registration of body surface temperatures

Body surface temperatures were registered with the use of thermal camera ThermoVision FLIR SYSTEMS T335 connected to a personal computer with the Therma CAM Researcher 2.9 software installed. All the measurements were made in identical conditions. The measurements of the minimal, maximal, and average temperatures of a given body area were taken in the standing position, from the front and from the back side of the body, at a distance of 2 m. Before making the thermograms, the patients remained without outerwear for ~10 minutes to balance the body temperature. A quantitative and qualitative analysis of the thermograms was performed for 16 body regions (Fig. 1), for areas of the

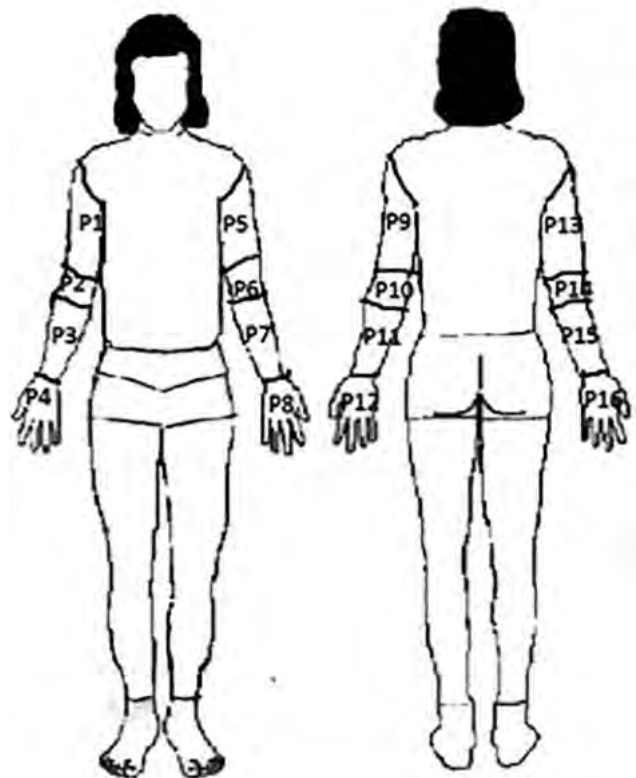


FIG. 1. Description of measurement areas.

TABLE 3. THE SIGNIFICANCE OF DIFFERENCES IN THE SIZE OF THE EDEMA IN BOTH THE STUDIED GROUPS (KRUSKAL–WALLIS TEST)

	Control group (1)	Mild edema (2)	Moderate edema (3)	Severe edema (4)
Edema size	70.5 ± 77.7 mL 3.6%	322.3 ± 126.6 mL 16.3%	614.8 ± 136.7 mL 29.8%	1098 ± 37.4 mL 54.3%
1		$p=0.02$	$p<0.01$	$p<0.01$
2	$p=0.02$		$p=1.00$	$p=0.35$
3	$p<0.01$	$p=1.00$		$p=1.00$
4	$p<0.01$	$p=0.35$	$p=1.00$	

upper limbs on the postoperative side and the contralateral side (from the front and back).

For the needs of the statistical analyses, the results of the front and back thermograms were averaged for the limb on the operated side and the contralateral limb, so that two results were eventually compared.

**Statistical analysis**

The statistical analysis was performed using Statistica 10.0 software. Normality of distribution was verified with the Shapiro–Wilk test, while Levene’s test was used to assess the equality of variances. The Mann–Whitney *U* test was used to determine whether two independent samples were selected. The analysis for comparing multiple independent samples was conducted on the basis of the Kruskal–Wallis test and Dunnett’s test. Moreover, the chi-squared test was used, and Spearman’s rank correlation was calculated. Results at a level  $p<0.05$  were considered to be statistically significant.

**Results**

In the control group, the difference in the volume of the limb on the operated side and the contralateral limb was

7.5 ± 77.7 mL (3.6%), while in the test group, irrespective of the size of edema, it was 54.5 ± 312.7 mL (29.3%) ( $p<0.01$ , Mann–Whitney *U* test). The results for each size of the edema are presented in Table 3.

Figure 2 shows the analysis of temperature distribution for both upper limbs (the limb on the operated side vs. the contralateral limb) in each group. In the control group, it was observed that the temperature on the nonoperated side tended to be higher than on the opposite side. In the test group, particularly in the case of mild or moderate edema, a reverse tendency was observed—the surface temperatures were higher on the operated side, which was more edematous. However, the differences were not statistically significant (Mann–Whitney *U* test).

While measuring the difference in the mean surface temperatures of both limbs in subjects belonging to the control group and the test group, a significance of differences at the level of  $p=0.04$  was observed (Mann–Whitney *U* test, Fig. 3).

Regarding the size of secondary lymphedema, it was observed that the average surface temperatures of the tested upper limbs tended to increase in parallel to the size of lymphedema, until the moderate size. In case of severe secondary lymphedema, the difference in surface temperatures

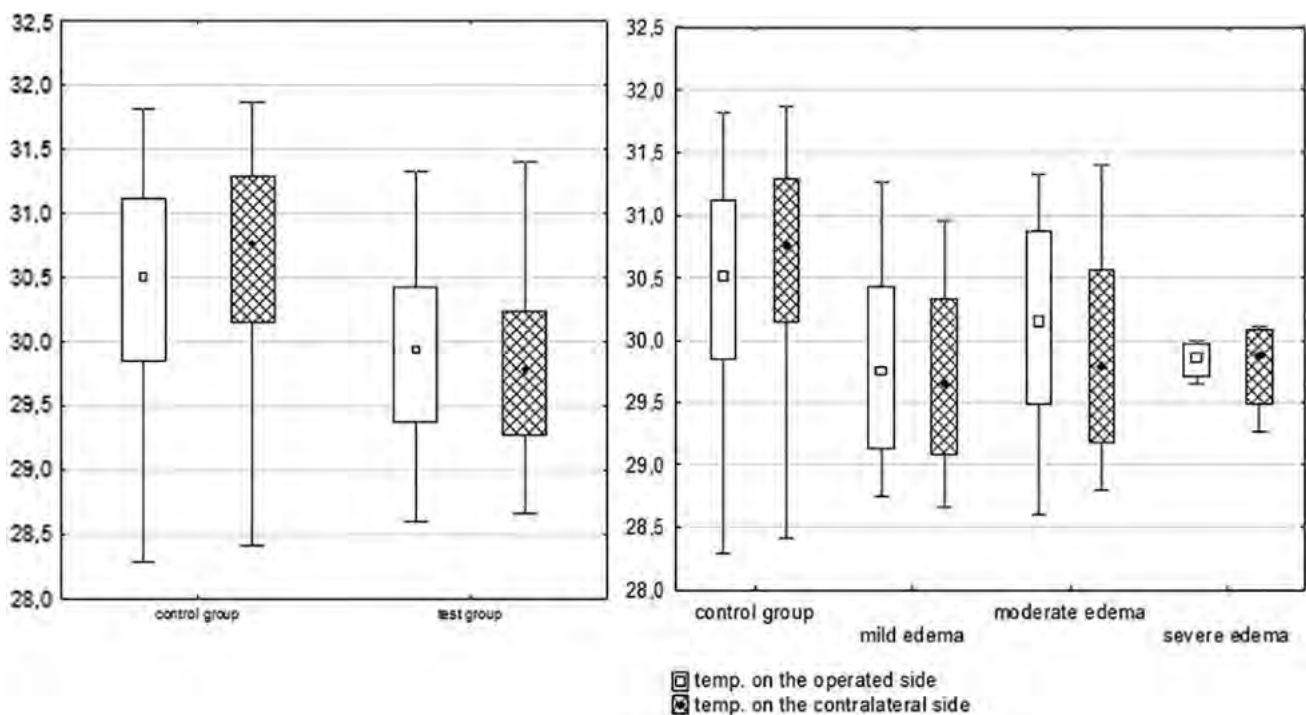
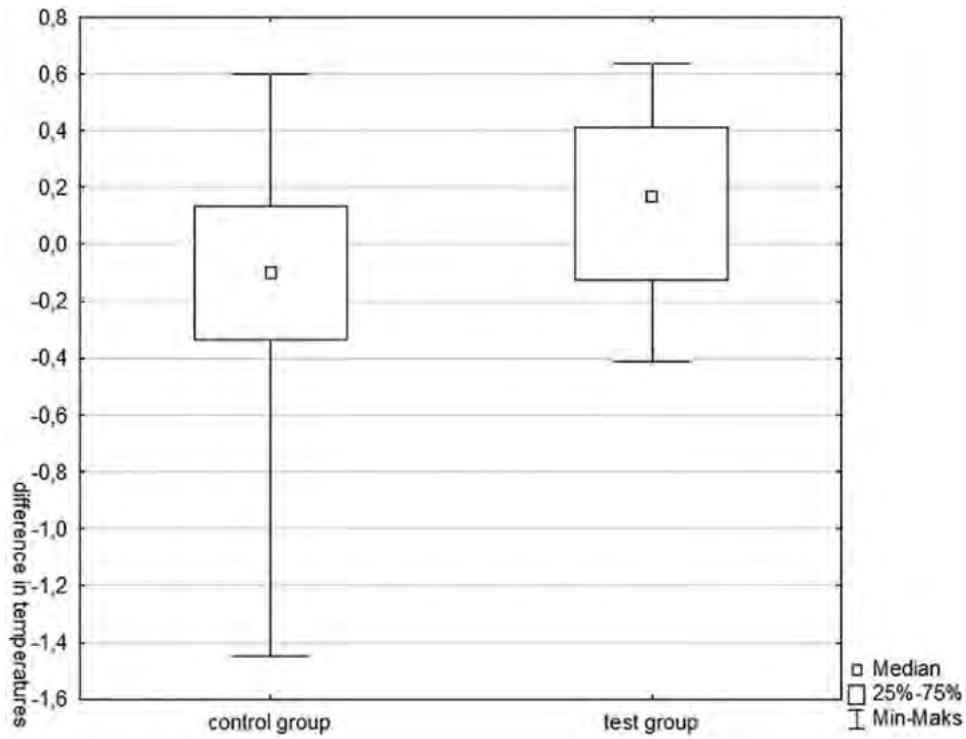


FIG. 2. Distribution of average body surface temperatures within both limbs for individual group.



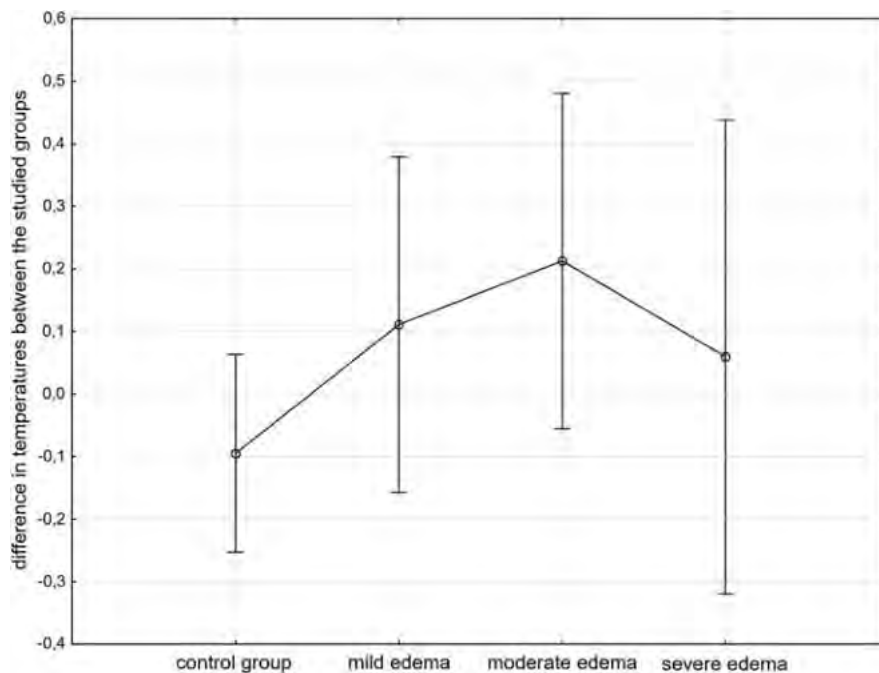
**FIG. 3.** The distribution of the difference in average surface temperatures for both groups.

decreased. The distribution of average body surface temperatures in the tested limbs is shown in Figure 4, while detailed data are presented in Table 4.

Moreover, a negative Spearman correlation coefficient ( $-0.34$ ) was observed between the size of secondary lymphedema and the surface temperature.

#### Discussion

Secondary lymphedema is a serious complication observed in patients treated for cancers; it is estimated to develop in  $\sim 50\%$  of patients undergoing lymphadenectomy.<sup>11</sup> Secondary lymphedema is considered to be a disease caused



**FIG. 4.** The distribution of average body surface temperatures in upper limbs in the studied groups depending on the size of secondary lymphedema.



TABLE 4. THE SIGNIFICANCE OF DIFFERENCES BETWEEN THE STUDIED GROUPS DEPENDING ON THE SIZE OF SECONDARY LYMPHEDEMA WITH REGARD TO THE AVERAGE DIFFERENCE IN BODY SURFACE TEMPERATURES OF UPPER LIMBS (DUNNETT'S TEST)

	<i>Control group (1)</i>	<i>Mild edema (2)</i>	<i>Moderate edema (3)</i>	<i>Severe edema (4)</i>
Difference in temperatures, °	-0.09 ± 0.4	0.11 ± 0.2	0.2 ± 0.3	0.05 ± 0.4
<i>p</i>		0.23	0.07	0.48

by damage to the lymphatic system, which is characterized by a complex pathophysiological chain. At the early stages, the deposition of interstitial fluid is obstructed as a result of lymphostasis, which gradually leads to a chronic inflammatory state of lymphatic vessels and their impairment; it results in adipose tissue deposition and fibrosis.<sup>12,13</sup> All of this leads to the classification of lymphedema as a chronic and irreversible condition. The inflammation is an essential component for the development of lymphedema, especially T cell-mediated pathogenesis. Inflammatory cytokines have been implicated in both the development of fibrosis and adipose tissue deposition.<sup>13</sup>

In the research, it was observed that surface temperatures in the edematous limb tended to be higher, particularly visible in moderate edema. Moreover, the average difference in surface temperatures between the control group and the test group was significant. The results are compatible with the previous research by Clodius et al.<sup>14</sup> Lymphedematous limb was found to have an increased temperature up to 2°C. In addition, the skin of the lymphedematous arm in ~70% of the patients was found to be drier than the normal one.<sup>14</sup> Lymph stasis leads to chronic inflammation with destruction of elastic fibers, stimulation of fibroblasts, keratinocytes, and adipocytes, increased production of collagen, and accumulation of glycosaminoglycans causing hypertrophy of the skin and subcutaneous tissue.<sup>15</sup> Ammer also reported higher skin temperature on the edematous side (of about 0.02°C) compared with the opposite healthy side, but in this case only for primary edema.<sup>16</sup> However, for secondary lymphedema, in women treated for breast cancer, lower skin temperature in the swollen arm was reported, on average 1.3°C cooler than the healthy side. Mean difference in circumference between the examined limbs was only 0.7 cm.<sup>16</sup> According to the accepted standards, such a difference does not indicate lymphedema but only the latent stage of lymphedema development without clinical symptoms.<sup>16</sup> Stanton et al. documented decreased skin blood flow in lymphedematous arm, which may suggest a rather lower skin temperature. However, this may be affected by lymphadenectomy that directly results in lymph circulation disorder in the flow area and in the initial stage of the edema development (latent edema). This may affect the surface skin temperature.<sup>17</sup> This aspect might have influenced the differences between the conducted researches.

The literature on the purposefulness of using thermographic methods emphasizes the possibility of fast analysis of pathological processes in tissues by means of an increase in temperature visible in thermograms. Registering hyperthermia in thermal examined areas can be caused by an inflammatory state.<sup>18</sup> An inflammatory state is observed in the initial stage of lymphedema and is defined as an essential component for the development of lymphedema.<sup>13</sup>

To estimate the dynamism of temperature changes in inflammatory states, the usefulness of the thermographic method in the diagnostics and assessment of infrared emission of the soft tissues has been demonstrated even in the initial stages of the inflammatory process.<sup>19,20</sup>

A significant increase in temperature in comparison with the contralateral area (without inflammatory state) is observed in professional sportspeople after injuries to the active motor organ of various etiologies.<sup>21-23</sup> Significant changes in skin surface temperatures have been shown in tests of inflammatory states in dental surgery.<sup>24,25</sup>

The data above indicate the usefulness of thermography in the diagnostics of lymphedema. Thermographic screening tests seem to be justifiable in the monitoring of changes in patients exposed to a greater risk of developing lymphedema due to prior cancer treatment, particularly in the latent stage of lymphedema development, when there are no clinical symptoms despite the ongoing changes in lymphatic vessels.

It is noteworthy that in the presented research, further analysis indicated a decrease in body surface temperatures in the severe stage of secondary lymphedema. Asymmetrical distribution of body surface temperatures could be analyzed from the point of view of hyperthermia. Reduced blood flow, decreased muscle activeness, degeneration of soft tissues due to prolonged damage, chronic tendon injury, and keloidal scars manifest themselves in decreased surface temperatures (hyperthermia) of the analyzed area.<sup>26,27</sup> Apart from significant limb edema, advanced stages of lymphedema lead to the fibrosis of skin and subcutaneous tissue. Skin fibrosis is a clinically serious pathological process of secondary lymphedema.<sup>28</sup> Moreover, muscular dystrophy is caused by the disposition of adipose tissue. The dysfunctional adipose tissue and its secretion products can worsen lymphatic vessels' function, aggravating lymph leakage and stagnation, which can promote further adipose tissue deposition and fibrosis, similar to what may happen in obesity.<sup>21,29</sup> It is assumed that body composition (in particular the adipose content) and skin thickness of the tested areas can serve the role of heat insulators, and thus make heat dissipation more difficult. Due to decreased heat conductivity and simultaneously greater volume of the insulator, the size of skin and fat folds and the thickness of adipose tissue in the body provide insulation barrier to heat conductivity. It can decrease the body's ability to effectively react to changes in the environmental temperature. A correlation between temperature decrease and the subjects' body fat percentage was demonstrated by Dębiec-Bąk et al.<sup>30</sup> and Chudecka et al.<sup>31</sup>

Analyses of the physiological mechanisms of body temperature control conducted in recent years have generated a broad diagnostic spectrum, both in treatment and physiotherapy. The advancement of thermography makes it possible today to precisely detect and locate thermal disorders

characterized by increased or decreased body surface temperatures. Injuries, disease processes, and their secondary consequences cause changes in blood flow, and indirectly affect the body surface temperature.<sup>24,32</sup> This method should also be considered in the diagnostics of lymphedema.

### Limitations

The above information appears to confirm the purposefulness of using thermography not only in the early stages of lymphedema development but also in the diagnostics of lymphedema severity. To confirm the above procedures, prospective research on a bigger research sample should be conducted.

In addition, it is important to determine the specific etiology of edema. Infection is a frequent sequel of edema and causes increased capillary permeability. This aspect was not included in the research, as in the history of lymphedema development, skin infection was not recorded. The patients did not report any complications or skin inflammation in the edematous limb during the examination.

### Conclusions

Noninvasive thermography may support a clinical diagnosis of lymphedema both within screening test models and tests connected with structural changes connected with the evaluation of the stage of lymphedema.

### Compliance with Ethical Standards

#### Ethical approval

All procedures performed in the studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

The study received ethical approval from the Senate Committee on Ethics of Scientific Research at the University School of Physical Education (June 28, 2007).

#### Informed consent

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

### Author Disclosure Statement

No competing financial interests exist.

### Funding Information

The research project was made from covered funds and no funding was received from other institutions.

### References

1. Szuba A, Shin WS, Strauss HW, Rockson S. The third circulation: radionuclide lymphoscintigraphy in the evaluation of lymphedema. *J Nucl Med* 2003; 44:43–57.
2. Shih YC, Xu Y, Cormier JN, Giordano S, Ridner SH, Buchholz TA, Perkins GH, Elting LS. Incidence, treatment costs, and complications of lymphedema after breast cancer among women of working age: a 2-year follow-up study. *J Clin Oncol* 2009; 27:2007–2014.
3. Garza R 3rd, Skoracki R, Hock K, Povoski SP. A comprehensive overview on the surgical management of secondary lymphedema of the upper and lower extremities related to prior oncologic therapies. *BMC Cancer* 2017; 17:468.
4. Brown J. A clinically useful method for evaluating lymphedema. *Clin J Oncol Nurs* 2004; 8:35–38.
5. DiSipio T, Rye S, Newman B, Hayes S. Incidence of unilateral arm lymphoedema after breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Oncol* 2013; 14:500–515.
6. Fu MR. Breast cancer-related lymphedema: symptoms, diagnosis, risk reduction, and management. *World J Clin Oncol* 2014; 5:241–247.
7. Barnes RB. Thermography of the human body. *Science* 1963; 140:870–875.
8. Nowakowski A, ed. *Advances in thermography-medical applications* [In Polish]. Gdańsk, Poland: Gdańsk University of Technology, 2001:27–31.
9. Biagoni PA, Longomore RB, McGimpsey JG, Lamey PJ. Infrared thermography. Its role in dental research with particular reference to craniomandibular disorders. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25:119–124.
10. Polkowski H. The use of thermography in non-destructive testing, heat wave method, pulse thermography [In Polish]. 4th National Conference “Thermography and infrared thermometry,” Łódź 2000.
11. Tsai RJ, Dennis LK, Lynch CF, et al., The risk of developing arm lymphedema among breast cancer survivors: a meta-analysis of treatment factors. *Ann Surg Oncol* 2009; 16:1959–1972.
12. Cucchi F, Rossmeislova L, Simonsen L, Jensen MR, Bülow J. A vicious circle in chronic lymphoedema pathophysiology? An adipocentric view. *Obes Rev* 2017; 18:1159–1169.
13. Hesper GE, Nores GG, Huang JJ, Mehrara BJ. Pathophysiology of lymphedema—Is there a chance for medication treatment? *J Surg Oncol* 2017; 115:96–98.
14. Clodius L, Piller NB, Casley-Smith JR. The problems of lymphatic microsurgery for lymphedema. *Lymphology* 1981; 14:69–76.
15. Szuba A, Rockson SG. Lymphedema: anatomy, physiology and pathogenesis. *Vasc Med* 1997; 2:321–332.
16. Ammer K. Thermography in lymphedema. In: Mabuchi K, ed. *International Advance Techniques and Clinical Applications in Biomedical Thermology*. Chur/Schweiz, Harwood Academic Publishers; 1995:213–220.
17. Stanton AW, Rodney Levick J, Mortimer PS. Cutaneous vascular control in the arms of women with postmastectomy oedema. *Exp Physiol* 1996; 81:447–464.
18. Pawik Ł, Skrzek A, Dębiec-Bak A. Application of thermometer in diagnostics and monitoring of traffic injection training. In: Podbielska H, Skrzek A, eds., *Biomedical Application of Thermovision*. Wrocław: Wrocław University of Technology; 2013.
19. Badza V, Jovancevic V, Fratic F, Roglic G, Sudarov N. Possibilities of thermovision application in sport and sport rehabilitation. *Vojnosanit Pregl* 2012; 69:904–907.
20. Coh M, Sirok B. Use of the thermovision method in sport training. *Vojnosanit Pregl* 2012; 69:904–907.
21. Schmitt M, Guillot Y. *Thermography and Muscular Injuries in Sport Medicine, Recent Advances in Medical Thermology*. New York: Plenum Press; 1984.
22. BenEliyahu D. Infrared thermography and the sport injury practice. *Dyn Chiropr* 1992; 10:1–7.

23. Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sport medicine in Austria, *Sensors (Basel)* 2010; 10:4700–4715.
24. Ventä I, Hyrkäs T, Paakkari I, Ylipaavalniemi P. Thermographic imaging of postoperative inflammation modified by anti-inflammatory pretreatment. *J Oral Maxillofac Surg* 2001; 59:145–148; discussion 149–150.
25. Christensen J, Matzen LH, Vaeth M, Schou S, Wenzel A. Thermography as a quantitative imaging method for assessing postoperative inflammation. *Dentomaxillofac Radiol* 2012; 41:494–499.
26. Skiba K, Dudek K, Rutowski R, Wiczkowski E. Thermographics evaluation of ruptured Achilles tendon surgical treatment. *Adv Clin Exp Med* 2005; 14:485–490.
27. Chudecka M, Lubkowska A. The use of thermal imaging to evaluate body temperature changes of athletes during training and a study on the impact of physiological and morphological factors on skin temperature. *Hum Movement* 2012; 13:33–39.
28. Sun D, Yu Z, Chen J, Wang L, Han L, Liu N. The value of using a SkinFibroMeter for diagnosis and assessment of secondary lymphedema and associated fibrosis of lower limb skin. *Lymphat Res Biol* 2017; 15:70–76.
29. Tashiro K, Feng J, Wu SH, Mashiko T, Kanayama K, Narushima M, Uda H, Miyamoto S, Koshima I, Yoshimura K. Pathological changes of adipose tissue in secondary lymphoedema. *Br J Dermatol* 2017; 177:159–167.
30. Dębiec-Bąk A, Gruszka K, Sobiech KA, Skrzek A. Age dependence of thermal imaging analysis of body surface temperature in women after cryostimulation. *Hum Movement* 2013; 14:299–304.
31. Chudecka M, Lubkowska A, Kempieńska-Podhorodecka A. Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women, *J Therm Biol* 2014; 43:1–6.
32. Melnizky P, Schartelmuller T, Ammer K. Examination of the intra and interindividual reliability of the evaluation of infrared thermograms [In German]. *Eur J Thermol* 1997; 7: 224–226.

Address correspondence to:  
*Agnieszka Dębiec-Bąk, PhD*  
*Department of Physiotherapy in Motor*  
*Organ Dysfunctions*  
*Faculty of Physiotherapy*  
*University School of Physical Education in Wrocław*  
*Al. Paderewskiego 35*  
*Wrocław 51-612*  
*Poland*

*E-mail: agnieszka.debiec-bak@awf.wroc.pl*

## OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORSKIE

Wkład autorów w powstanie publikacji.

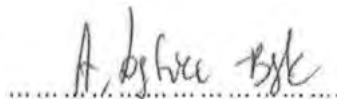
Oświadczam, że w pracy:

Dębiec-Bąk A, Skrzek A, Podbielska H, Golubnitschaja O, Stefańska M. (2021). Superficial temperature distribution patterns before and after physical activity in school children are indicative for personalized exercise coaching and disease prevention. EPMA Journal, 12(4),435-447, <https://doi.org/10.1007/s13167-021-00262-1>

IF: 8,836, punktacja MEiN: 100,00

Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, analizie, interpretacji i wizualizacji wyników, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 50%.

dr Agnieszka Dębiec-Bąk



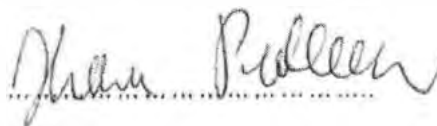
Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zaprojektowaniu analiz, udziale w badaniach, koordynacji treści przed złożeniem do druku. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%.

prof. dr hab. Anna Skrzek



Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu, współautorstwie korespondencyjnym, udziale w badaniach, wizualizacji wyników, koordynacji treści przed złożeniem do druku. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 15%.

prof. dr hab. inż. lek. Halina Podbielska



Mój wkład polegał na krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu, zaprojektowaniu analiz, współautorstwie korespondencyjnym. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 15%.

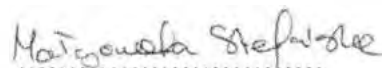
My contribution consists in critical revision of the manuscript content, approval of the final version of the article, design of the analysis, co-authorship of the correspondence. My contribution to this publication is estimated at 15%.

Prof. dr Olga Golubnitschaja

Prof. Dr. Olga Golubnitschaja  
Leiterin 3P Medizin  
Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie  
53127 Bonn

Mój wkład polegał na analizie, interpretacji i wizualizacji wyników badań, udziale w badaniach. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%.

dr Małgorzata Stefańska



## OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORSKIE

Wkład autorów w powstanie publikacji :

### Oświadczam, że w pracy :

**Dębiec-Bąk A, Kuligowski T, Skrzek A. (2020).** Analyzing thermoregulation processes in early school-age girls and boys through thermography. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140, 243-251, <https://10.1007/s10973-019-08843-z>

IF: **4,626**, punktacja MEiN: **100,00**

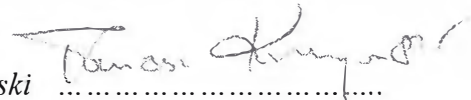
*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, udziale w prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, zaprojektowaniu analiz statystycznych, interpretacji i wizualizacji wyników, zgromadzeniu literatury, prowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, pisaniu korekt przed złożeniem do druku, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%.*

dr Agnieszka Dębiec-Bąk



*Mój wkład polegał na pisaniu korekt przed złożeniem do druku, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu, zgromadzeniu literatury, autorstwie korespondencyjnym. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 20%.*

dr Tomasz Kuligowski



*Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%.*

prof. dr hab. Anna Skrzek



## OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORSKIE

*Wkład autorów w powstanie publikacji:*

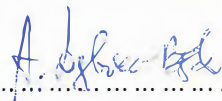
### Oświadczam, że w pracy:

**Dębiec-Bąk A**, Pawik Ł, Skrzek A. (2016). Thermoregulation of football players after cryotherapy in thermography. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 126(3), 1633-1644, <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5623-3>

IF: **1,953**, punktacja MEiN: **25,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, udziale w prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, zaprojektowaniu i wykonaniu analiz statystycznych, interpretacji i wizualizacji wyników, zgromadzeniu literatury, przeprowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 70%.*

dr Agnieszka Dębiec-Bąk .....



*Mój wkład polegał na analizie i wizualizacji wyników, pisaniu korekt przed złożeniem do druku, zgromadzeniu literatury, autorstwie korespondencyjnym. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 20%.*

dr Łukasz Pawik .....



*Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%.*

prof. dr hab. Anna Skrzek .....



## OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORSKIE

*Wkład autorów w powstanie publikacji:*

**Oświadczam, że w pracy:**

**Dębiec-Bąk A, Wójtowicz D, Pawik L, Ptak A, Skrzek A. (2019). Analysis of body surface temperatures in people with Down syndrome after general rehabilitation exercise. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 135(4), 2399-2410**

<https://doi.org/10.1007/s10973-018-7345-1>

**IF: 2,731, punktacja MEiN: 100,00**

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, modelu badań, zaplanowaniu eksperymentu, wyborze metodyki badań, pozyskaniu osób badanych, analizie danych, interpretacji wyników badań i obliczeń statystycznych, przygotowaniu pierwotnej wersji rękopisu, przygotowaniu korekt przed złożeniem do druku, zgromadzeniu literatury, prowadzeniu dyskusji, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 65%.*

dr Agnieszka Dębiec-Bąk

*Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu, zgromadzeniu literatury, autorstwie korespondencyjnym. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 15%.*

dr Dorota Wójtowicz

*Mój wkład polegał na zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu, wizualizacji wyników. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 5%.*

dr Łukasz Pawik

*Mój wkład polegał na przygotowaniu korekt przed złożeniem do druku, zgromadzeniu literatury. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 5%.*

dr Agnieszka Ptak

*Mój wkład polegał na przygotowaniu korekt przed złożeniem do druku, wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 10%.*

prof. dr hab. Anna Skrzek

## OŚWIADCZENIE WSPÓLAUTORSKIE

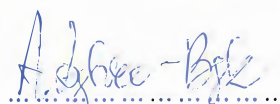
*Wkład autorów w powstanie publikacji:*

### Oświadczam, że w pracy:

1. **Dębiec-Bąk A**, Skrzek A, Woźniewski M, Malicka I. Using thermography in the diagnostics of lymphedema: pilot study. *Lymphatic Research and Biology*, 2019, 18(3), 247-253. <https://doi.org/10.1089/lrb.2019.0002>

*Mój wkład polegał na tworzeniu koncepcji, sformułowaniu celów naukowych, prowadzeniu badań, organizacji bazy danych, interpretacji i wizualizacji wyników, zgromadzeniu literatury, współprowadzeniu dyskusji, przygotowaniu pierwszej wersji rękopisu, pisaniu artykułu, współudziale w jego korekcie przed i po złożeniu do druku, autorstwie korespondencyjnym. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 50%.*

dr Agnieszka Dębiec-Bąk



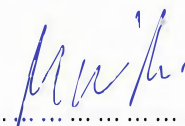
*Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 5%.*

prof. dr hab. Anna Skrzek



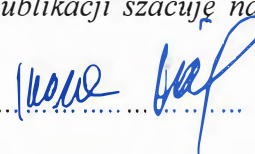
*Mój wkład polegał na wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu, zatwierdzeniu ostatecznej wersji artykułu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 5%.*

prof. dr hab. Marek Woźniewski



*Mój wkład polegał na zaprojektowaniu analiz statystycznych i interpretacji wyników, pierwszej wersji rękopisu i jego korekt przed złożeniem do druku, prowadzeniu dyskusji, wykonaniu krytycznej rewizji treści rękopisu. Mój wkład w powstanie tej publikacji szacuję na 40%.*

dr hab. Iwona Malicka, prof. AWF





## SPRAWOZDANIE ZE STAŻU NAUKOWO – DYDAKTYCZNEGO KRAJOWEGO

**1. Imię i Nazwisko:** dr Agnieszka Dębiec - Bąk

**2. Miejsce pracy, stanowisko:**

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu;  
Wydział Fizjoterapii; Katedra Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu;  
adiunkt

**3. Miejsce stażu (miejscowość, ośrodek)**

Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie  
Wydział Rehabilitacji Ruchowej  
al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków

**4. Termin pobytu:**

25.11 – 8.12.2019r.

**5. Rodzaj wyjazdu:**

staż naukowo - dydaktyczny krajowy/badania krajowe

**6. Cel wyjazdu:**

Celem stażu było zapoznanie się z wyposażeniem Laboratorium Naukowo-Badawczego Wydziału Rehabilitacji Ruchowej w Krakowie z pracownikami Diagnostyki Funkcjonalnej, Fizjologii Skóry, Biofizyki i Analizy Ruchu oraz sposobami wykorzystania zasobów instrumentalno – badawczych w celach naukowych i dydaktycznych w fizjoterapii klinicznej w dysfunkcjach narządu ruchu.

Celem profilu naukowego stażu było zainicjowanie projektu badawczego, prowadzącego do realizacji badań przy współpracy obu ośrodków naukowo – dydaktycznych Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie i we Wrocławiu.

**7. Przebieg stażu:**

Podczas czternastodniowego pobytu stażowego został zrealizowany zakres zadań związany z kierunkiem naukowym, szkoleniowym i dydaktycznym projektów naukowo – badawczych prowadzonych na Wydziale Rehabilitacji Ruchowej AWF w Krakowie.

Bardzo dobra organizacja praktyki badawczej, podczas której wymieniano się doświadczeniami, pozwoliła na pogłębienie wiedzy i poszerzenie umiejętności związanych z tematyką badań prowadzonych w każdej z odwiedzonych pracowni (Pracowni Diagnostyki Funkcjonalnej, Pracowni Fizjologii Skóry, Pracowni Biofizyki i Analizy Ruchu, Pracowni Terapii Zajęciowej) i stosowanych urządzeń pomiarowych.

W każdej z pracowni badawczych umożliwiono czynne uczestnictwo w prowadzonych aktualnie projektach badawczych, polegające na wspólnym wykonaniu badań i analizie uzyskanych wyników. Staż umożliwił zapoznanie się między innymi z metodami kompleksowej, trójwymiarowej analizy ruchu ciała człowieka za pomocą systemu BTS SMART D-140 6TVC oraz VICON 250 w celu oceny stanu funkcjonalnego układu ruchu osób z różnymi dysfunkcjami neurologicznymi oraz ortopedycznymi podczas chodu oraz wykonywania innych czynności ruchowych. W pracowni Wibroterapii umożliwiono uczestnictwo w badaniach analizujących wieloaspektowy wpływ wibracji na ustrój człowieka z wykorzystaniem mat wibracyjnych firmy Vitberg. Nowym doświadczeniem była również Sala Doświadczania Świata w której prowadzona jest terapia metodą Snoezelen obejmująca osoby z zaburzeniami ze spektrum autyzmu, seniorów z diagnozą demencji oraz osoby z zaburzeniami psychicznymi. Metody badawcze stosowane do realizacji projektów naukowo - badawczych w obu ośrodkach okazały się w części zbieżne. Pozwoliło to na wymianę doświadczeń dotyczącą sposobu wykorzystania urządzeń pomiarowych, stosowanych procedur pomiarowych i analizy wyników.

Przywiezione z Wrocławia urządzenia pomiarowe (np. Mioton, kamera termowizyjna) wykorzystane zostały podczas szkolenia zrealizowanego dla pracowników ośrodka krakowskiego. Prezentacje dotyczyły możliwości zastosowania aparatu Myoton analizującego właściwości elastyczne mięśni i tkanek podskórnych (np. sztywność i elastyczność mięśni) oraz analizy jakościowej i ilościowej badania termowizyjnego, a także poprawności procedury badawczej z wykorzystaniem kamery termowizyjnej.

Wspólne kierunki zainteresowań naukowych pracowników Wydziału Fizjoterapii AWF Wrocław i Wydziału Rehabilitacji Ruchowej AWF Kraków pozwoli na zainicjowanie dalszej współpracy między ośrodkami, której planowanym efektem będzie wspólny projekt badawczy.

6. XII - 2019  
.....  
Data

6.12.2019  
.....  
Data

6.12.2019  
.....  
Data

.....  
Agnieszka Jędrzejczyk  
Podpis uczestnika stażu

KIEROWNIK  
Laboratorium Naukowo-Badawczego  
Wydziału Rehabilitacji Ruchowej  
.....  
Agnieszka Sudek  
dr hab. Agnieszka Sudek  
Podpis i pieczęć kierownika stażu

DZIEKAN  
WYDZIAŁU REHABILITACJI RUCHOWEJ  
.....  
Dr hab. Piotr Miła  
Wydział AWF  
Podpis i pieczęć Dziekana Wydziału Rehabilitacji Ruchowej



Wrocław, 13.07.2020 r.

## Potwierdzenie odbycia stażu naukowo-dydaktycznego

Pani **dr Agnieszka Dębiec-Bąk** z Katedry Fizjoterapii w Dysfunkcjach Narządu Ruchu Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu w dniach od 1.06.2020 r. do 30.06.2020 r. brała udział w stażu w Katedrze Inżynierii Biomedycznej Politechniki Wrocławskiej. Staż zorganizowano na prośbę Pani Dziekan Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu – Pani dr hab. Anny Skrzek (pismo z 25.05.2020).

Pani dr Agnieszka Dębiec-Bąk zapoznała się z zagadnieniami współczesnej diagnostyki obrazowej, w tym termowizyjnej, do celów medycyny spersonalizowanej, opartej na prewencji i predykcji i personalizowanej terapii.

W trakcie stażu opracowano raport na temat zastosowania termowizji do oceny wpływu ćwiczeń usprawniających u dzieci i młodzieży. Raport ten jest podstawą przygotowywanej obecnie wspólnej publikacji naukowej celem opublikowania w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

Kierownik  
Katedry Inżynierii Biomedycznej

  
prof. dr hab. inż. lek. Halina Podbielska



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych  
Problemów Techniki

Katedra Inżynierii Biomedycznej  
pl. Grunwaldzki 13  
50-377 Wrocław  
budynek D-1


T: +48 71 320 65 80  
F: +48 71 327 77 27

[www.ibp.pwr.edu.pl](http://www.ibp.pwr.edu.pl)

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Bank Zachodni WBK S.A.  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434

## POTWIERDZENIE ODBYCIA STAŻU

(wypełnia instytucja przyjmująca po zakończeniu stażu)

Potwierdzenie odbycia stażu (wypełnić drukiem)	Certificate of Internship (please type)																		
<p>Zaświadcza się, że: (dane stażysty) Pani <b>Agnieszka Dębiec-Bąk</b> (imię i nazwisko)</p> <p>zatrudniony w: <b>Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu,</b> odbył(a) staż naukowy/dydaktyczny/łączony* w:</p> <p><b>STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ</b> (nazwa instytucji przyjmującej)</p> <p><b>Náměstí Svobody 272</b> <b>542 25 Janské Lázně Czech Republic</b> (nazwa przyjmującej jednostki organizacyjnej)</p> <p>w celu realizacji (zaznacz właściwe „x”):</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>badan naukowych</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>zajęć dydaktycznych</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>badan naukowych i prowadzenia zajęć</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>innych zadań (jakich): podnoszenie kwalifikacji i umiejętności w zakresie działań STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ oraz rozszerzenie współpracy z ośrodkiem na polu naukowym.</td> </tr> </table> <p>w okresie od dnia: <b>06.09.2021</b> (dd.mm.rrrr) do dnia: <b>24.09.2021</b> (dd.mm.rrrr)</p> <p>Podpisano przez:  (tytuł, imię i nazwisko) Dnia: <b>9. 9. 2021</b> (dd.mm.rrrr)</p> <p>..... (czytelny podpis osoby uprawnionej w instytucji lub jednostce organizacyjnej przyjmującej)</p> <p style="text-align: center;"><b>Státní léčebné lázně Janské Lázně, s.p.</b> náměstí Svobody 272 542 25 Janské Lázně IČ: 00024007, DIČ: CZ00024007 Zápis v OR u KS v HK odd. A XII, vložka 253 (pieczęć instytucji przyjmującej)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	badan naukowych	<input type="checkbox"/>	zajęć dydaktycznych	<input type="checkbox"/>	badan naukowych i prowadzenia zajęć	<input checked="" type="checkbox"/>	innych zadań (jakich): podnoszenie kwalifikacji i umiejętności w zakresie działań STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ oraz rozszerzenie współpracy z ośrodkiem na polu naukowym.	<p>This is to certify that: (intern's data) Ms <b>Agnieszka Dębiec-Bąk</b> (full name)</p> <p>employed at: <b>Wroclaw University of Health and Sport Sciences, Poland,</b> completed a research/teaching/combined* internship with:</p> <p><b>STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ</b> (name of hosting institution)</p> <p><b>Náměstí Svobody 272</b> <b>542 25 Janské Lázně Czech Republic</b> (name of hosting organizational unit)</p> <p>and in the scope of the internship (tick appropriate):</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>conducted research</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>performed didactic tasks</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>conducted research and didactic tasks</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>performed other tasks (please, specify): improving qualifications and skills in the STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ range of activities and expanding cooperation with center in the field of science.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table> <p>in the period from <b>06.09.2021</b> (dd.mm.yyyy) to <b>24.09.2021</b> (dd.mm.yyyy)</p> <p>Signed by: ..... (title and full name) Date: .....(dd.mm.yyyy)</p> <p>..... (legible signature of an entitled representative of the host institution or unit)</p> <p style="text-align: center;">..... (stamp of the host institution)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	conducted research	<input type="checkbox"/>	performed didactic tasks	<input type="checkbox"/>	conducted research and didactic tasks	<input type="checkbox"/>	performed other tasks (please, specify): improving qualifications and skills in the STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ range of activities and expanding cooperation with center in the field of science.	<input checked="" type="checkbox"/>	
<input checked="" type="checkbox"/>	badan naukowych																		
<input type="checkbox"/>	zajęć dydaktycznych																		
<input type="checkbox"/>	badan naukowych i prowadzenia zajęć																		
<input checked="" type="checkbox"/>	innych zadań (jakich): podnoszenie kwalifikacji i umiejętności w zakresie działań STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ oraz rozszerzenie współpracy z ośrodkiem na polu naukowym.																		
<input checked="" type="checkbox"/>	conducted research																		
<input type="checkbox"/>	performed didactic tasks																		
<input type="checkbox"/>	conducted research and didactic tasks																		
<input type="checkbox"/>	performed other tasks (please, specify): improving qualifications and skills in the STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ range of activities and expanding cooperation with center in the field of science.																		
<input checked="" type="checkbox"/>																			
*usunąć niewłaściwe	*delete as appropriate																		

Potwierdzenie należy złożyć do pani mgr Ewy Górskiej w budynku P-2 pok. 145 lub P-3 pok. 206.  
Wniosek należy również przestać pocztą elektroniczną w postaci skanu na adres:  
[waldemar.andrzejewski@awf.wroc.pl](mailto:waldemar.andrzejewski@awf.wroc.pl)

**ZGODA JEDNOSTKI PRYJMUJĄCEJ NA STAŻ**  
 CONSENT OF THE HOST ENTITY TO THE INTERNSHIP

**Zgoda jednostki przyjmującej na staż**

Consent of the internship host entity

**(proszę wypełnić drukiem/fulfil with capital letter)**

Potwierdza się, że/it is confirmed that:

(dane kandydata do odbycia stażu/ name and surname of candiadat)

Pani/Pan; Mr Mrs

**Agnieszka Dębiec - Bąk**

(imię i nazwisko/ name and surname)

zatrudniony w:

Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, w Wydział Fizjoterapii

(nazwa jednostki organizacyjnej AWF)

otrzymał zgodę na odbycie stażu naukowego w:

**STÁTNÍ LÉČEBNÉ LÁZNĚ JANSKÉ LÁZNĚ**

(nazwa instytucji przyjmującej)

**Náměstí Svobody 272**

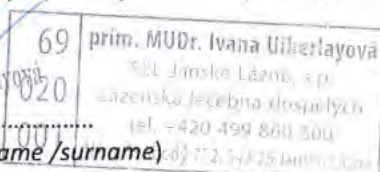
**542 25 Janské Lázně Czech Republic**

(nazwa przyjmującej jednostki organizacyjnej)

na okres *period from -till* od 06/09/2021 (dd.mm.rrrr) do 24/09/2021 dd.mm.rrrr)

Podpisano przez/Signed by :

prim. MUDr. Ivana Uiberlayová  
 (tytuł, imię i nazwisko/ title, name /surname)





**Státní léčebné lázně Janské Lázně, s.p.**  
 náměstí Svobody 272  
 542 25 Janské Lázně  
 IČ: 00024007, DIČ: CZ00024007  
 Zápis v OR u KS v HK, odd. A XII, vložka 253

Dnia /date: .....(dd.mm.rrrr)

.....  
 (czytelny podpis osoby uprawnionej w instytucji lub jednostce przyjmującej/ signed by responsible person)

.....  
 (pieczęć instytucji przyjmującej/ stamp of reciving institution)

**POTWIERDZENIE ODBYCIA STAŻU**  
(wypełnia instytucja przyjmująca po zakończeniu stażu)

Potwierdzenie odbycia stażu (wypełnić drukiem)	Certificate of Internship (please type)																
<p>Zaświadcza się, że: (dane stażysty) Pani/Pan:</p> <p>Agnieszka Dębiec-Bąk (imię i nazwisko)</p> <p>zatrudniony w: Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, odbył(a) staż naukowy/dydaktyczny/łączony* w:</p> <p>Universidad Politécnica de Madrid (nazwa instytucji przyjmującej) ..... ..... (nazwa przyjmującej jednostki organizacyjnej)</p> <p>w celu realizacji (zaznacz właściwe „x”):</p> <table border="1"> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>badań naukowych</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>zajęć dydaktycznych</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>badań naukowych i prowadzenia zajęć</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>innych zadań (jakich): .....</td></tr> </table> <p>w okresie od dnia: .....(dd.mm.rrrr) do dnia: .....(dd.mm.rrrr)</p> <p>Podpisano przez: ..... (tytuł, imię i nazwisko)</p> <p>Dnia: .....(dd.mm.rrrr)</p> <p>..... (czytelny podpis osoby uprawnionej w instytucji lub jednostce organizacyjnej przyjmującej)</p> <p align="center">..... (pieczęć instytucji przyjmującej)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	badań naukowych	<input type="checkbox"/>	zajęć dydaktycznych	<input type="checkbox"/>	badań naukowych i prowadzenia zajęć	<input type="checkbox"/>	innych zadań (jakich): .....	<p>This is to certify that: (intern's data) Ms/Mr:</p> <p>Agnieszka Dębiec-Bąk (full name)</p> <p>employed at: Wroclaw University of Healty and Sport Sciences, Poland, completed a research/teaching/combined* internship with:</p> <p>Universidad Politécnica de Madrid (name of hosting institution) ..... ..... (name of hosting organizational unit)</p> <p>and in the scope of the internship (tick appropriate):</p> <table border="1"> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>conducted research</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>performed didactic tasks</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>conducted research and didactic tasks</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>performed other tasks (please, specify): .....</td></tr> </table> <p>in the period from .....(dd.mm.yyyy) to .....(dd.mm.yyyy)</p> <p>Signed by:  (title and full name)</p> <p>Date: 22/09/2023 (dd.mm.yyyy)</p> <p>..... (legible signature of an entitled representative of the host institution or unit)</p> <p align="center"> (stamp of the host institution)</p>	<input checked="" type="checkbox"/>	conducted research	<input type="checkbox"/>	performed didactic tasks	<input type="checkbox"/>	conducted research and didactic tasks	<input type="checkbox"/>	performed other tasks (please, specify): .....
<input checked="" type="checkbox"/>	badań naukowych																
<input type="checkbox"/>	zajęć dydaktycznych																
<input type="checkbox"/>	badań naukowych i prowadzenia zajęć																
<input type="checkbox"/>	innych zadań (jakich): .....																
<input checked="" type="checkbox"/>	conducted research																
<input type="checkbox"/>	performed didactic tasks																
<input type="checkbox"/>	conducted research and didactic tasks																
<input type="checkbox"/>	performed other tasks (please, specify): .....																
*usunąć niewłaściwe	*delete as appropriate																

Potwierdzenie należy złożyć do pani mgr Ewy Górskiej w budynku P-2 pok. 145 lub P-3 pok. 206. Wniosek należy również przesłać pocztą elektroniczną w postaci skanu na adres: [waldemar.andrzejewski@awf.wroc.pl](mailto:waldemar.andrzejewski@awf.wroc.pl)

CONSENT OF THE HOST UNIT TO THE INTERNSHIP

Consent of the internship host entity  
(fulfill with capital letters)

It is confirmed that:  
(data of candidat)

Mr/Mrs:  
Agnieszka Dębiec-Bąk  
(name and surname)

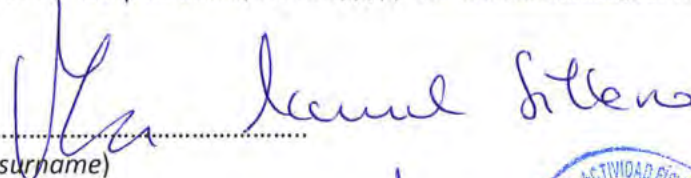
employed at:  
Wroclaw University of Health and Sport Science  
(name of hosting institution AWF)

has got a permission to take part in a science internship in  
Universidad Politécnica de Madrid  
(name of hosting institution)

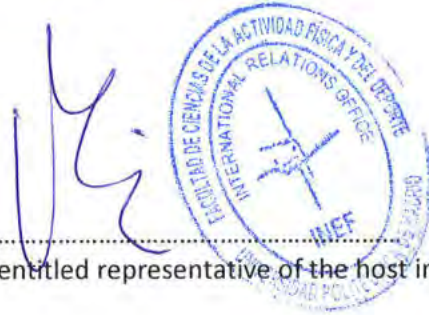
Universidad Politécnica de Madrid  
(name of hosting unit)

INEF (EXERCISE FACULTY OF U.A.M.R.D)

In the period from 19/09/2022 (dd.mm.yyyy) till 02/10/2022 (dd.mm.yyyy)

Signed by:   
.....  
(title, name, surname)

Date: 22/09/2022 (dd.mm.yyyy)



(legatable signature of an entitled representative of the host institution or unit)

(stamp of the host organisation)



# CREATOR

SPÓŁKA Z O.O.

54-154 Wrocław, ul. Lotnicza 37  
tel. +48 713 620 200 fax: +48 713 620 201  
creator@creator.wroc.pl www.creator.wroc.pl

Wrocław, 26.04.2023 r.

## REFERENCJE

Działając w imieniu Zarządu CREATOR Sp. z o.o. we Wrocławiu, ul. Lotnicza 37, zgłoszonej w Krajowym Rejestrze Sądowym, Rejestrze Przedsiębiorców pod numerem 0000069484 oświadczamy, iż Pani dr Agnieszka Dębiec-Bąk, pracownik dydaktyczno-naukowy Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydziału Fizjoterapii, sporządziła, na zlecenie Spółki „ *Ocenę kliniczną zastosowania skrajnie niskich temperatur w rehabilitacji pacjenta wraz z oceną pokliniczną zastosowania kriostymulacji oraz krioterapii ogólnoustrojowej w długofalowej rehabilitacji pacjenta*”.

Przedmiotowa ocena kliniczna została wykonana na potrzeby audytu jednostki certyfikującej TUV-Nord, w dniach 16-17.05.2022 r., zgodnie z załącznikiem do rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 10.03.2011 r. w sprawie szczegółowych warunków, jakim powinna odpowiadać ocena kliniczna wyrobów medycznych 9 Dz.U.2011,nr 63, poz. 331).

Dyrektor  
ds. organizacyjno-prawnych i kadr  
P. D. M. S. I. T.  
*Katarzyna Lignar*





Fundacja Moc Pomocy  
Litewska 2 lok.68  
51-354 Wrocław

Wrocław, 07.03.2023r.

W oparciu o Porozumienie zawarte między Akademią Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu a Fundacją Moc Pomocy, z dnia 03.11.2022r., oświadczam, iż Pani dr Agnieszka Dębiec-Bąk jest współrealizatorem i współwykonawcą badań z zastosowaniem metody termowizyjnej, realizowanych od grudnia 2022r. z beneficjentami fundacji Moc Pomocy. Zakres badań uzupełnia proces postępowania fizjoterapeutycznego, a także monitoringu zmian powierzchniowej temperatury ciała w obszarze kikutów i zdrowych kończyn w treningu sportowym.

Z poważaniem,

**FUNDACJA MOC POMOCY**  
ul. Litewska 2 lok. 68  
51-354 Wrocław  
KRS: 0000769935  
NIP: 8952202324 REGON: 382548213  
www.fundacjaniocpomocy.pl

Rafał Mikołajczyk  
Przewodniczący Zarządu