

Wpływ asymetrycznego obciążenia obręczy barkowej na rozkład temperatury ciała podczas chodu

Influence of the asymmetric loading of the body during the walk on the temperature distribution

Jan Awrejcewicz, Szymon Byczek, Bartłomiej Zagrodny

Politechnika Łódzka, Katedra Automatyki i Biomechaniki, ul. B. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, tel. +48 42 631 22 00, e-mail: b.zagrodny.pl@gmail.com

Streszczenie

Celem pracy jest termowizyjna analiza powłoki heterotermicznej jednostronnie obciążonej górnej części ciała ludzkiego podczas chodu. Badaniem objęto grupę siedmiu mężczyzn w wieku od 21 do 27 lat. Maszerowali oni przez 10 minut z obciążeniem 5,5 kg w jednej ręce. Następnie wykonali tę samą czynność, ale obciążając drugą rękę. W celach badawczych zarejestrowane zdjęcia podzielono symetrycznie na obszary pomiarowe (symetryczne do płaszczyzny strzałkowej), odpowiednio w brzusznej i grzbietowej części. Zmierzono średnie temperatury tych obszarów, a następnie wyznaczono różnice temperatur odpowiadających sobie stron obciążonej i nieobciążonej. W wyniku przeprowadzonej analizy wykazano znaczący wpływ asymetrycznego obciążenia ciała w czasie marszu na rozkład temperatury.

Słowa kluczowe: termografia, mięśnie, asymetryczne obciążenie, chód

Abstract

The purpose of this study is the analysis of the heterotermic shell of unilaterally loaded upper part of the human body, during a gait. The group of seven men, aged 21 to 27 years, were examined. They walked for 10 minutes with 5,5 kg load in one hand. Then, they performed the same task, however loading the other hand. In this study, the registered thermograms of human body were divided symmetrically into areas symmetrically to the sagittal plane, respectively for the abdominal and back side. The average temperatures of these areas were measured and the temperature differences of the corresponding sides loaded and unloaded, were determined. The significant influence of the asymmetric loading of the body during the walk on the temperature distribution, was revealed.

Key words: thermography, muscles, asymmetric load, gait

Wprowadzenie

Wyróżniamy dwie warstwy ciała ludzkiego: homotermiczną, zwaną rdzeniem, i zewnętrzną (podskórną) heterotermiczną. Średnia temperatura rdzenia wynosi 36,6°C, zaś powłoki zewnętrznej waha się w przedziale 20-44,5°C [1]. Temperatura na powierzchni skóry zależy od miejsca pomiaru, właściwości tkanek podskórnych (m.in. warstwy tkanki tłuszczowej), rodzajów mięśni oraz innych czynników, np. wilgotności i temperatury otoczenia. Podczas jednego cyklu pracy mięśnia temperatura wzrasta o około 0,003 K [2]. Energia cieplna powstała w tym procesie jest następnie przenoszona przez krew i transmitowana do sąsiednich tkanek [3].

Celem artykułu jest przedstawienie metody opartej na analizie termograficznej, która może być wykorzystana do oceny pracy mięśni, biorących udział w stabilizacji postawy podczas chodu z asymetrycznym obciążeniem oraz wpływu takiego obciążenia na pracujące grupy następujących mięśni: ramię, klatki piersiowej, górnej części pleców oraz mięśni przykręgosłupowych i nóg. Podczas ruchu kończyny współpracują ze sobą różne grupy mięśni, co można zarejestrować za pomocą kamery termowizyjnej. Jednak określenie parametrów poszczególnych aktonów mięśni, przy obecnej dokładności pomiarów wydaje się być niemożliwe.

Badania termowizyjne uznane jako bezpieczne i nieinwazyjne są wykorzystywane w medycynie i biomechanice. Często stosuje się je do oceny skoliozy, zabiegów krioterapii oraz w celu detekcji problemów żylnych, rzadziej wykrywania raka piersi [4-8]. Coraz częściej technika termowizji jest wykorzystywana w sporcie [1, 9-13]. Podjęto m.in. próbę wyjaśnienia zjawiska spadku temperatury skóry w aspekcie pocenia się oraz wazokonstrykcji [14]. Zaprezentowano wyniki dotyczące spadku temperatury w przypadku lokalnego ochładzania obwodowego [15]. Inni autorzy ograniczyli się do przeanalizowania zmian temperatury zginaczy przedramienia podczas ćwiczeń z oporem [16]. Nie znaleziono jednak żadnych prac na temat wpływu asymetrycznego obciążenia obręczy barkowej podczas chodu na temperaturę ciała, dlatego nie ma

odniesienia zarówno do ilościowych, jak i jakościowych wyników przedstawionych przez innych autorów.

Tabela 1 Dane biometryczne

Lp.	Płeć	Wiek	Waga	Wzrost	BMI
1	M	26	68	1,80	20,99
2	M	27	66	1,76	21,31
3	M	22	80	1,80	24,69
4	M	28	75	1,79	23,41
5	M	21	81	1,75	26,45
6	M	27	75	1,83	22,40
7	M	21	81	1,75	26,45
	Średnia	24,6	75,1	1,78	23,67
	Odch. Stan.	3,1	6,1	0,03	2,27

Tabela 2 Opis obszarów pomiarowych

Rys. 1	Obszar pomiarowy	2-1	4-3	6-5	8-7	10-9	12-11	14-13
	Nazwa pomiaru	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
Rys. 2	Obszar pomiarowy	2-1	4-3	6-5	8-7	10-9	14-13	16-15
	Nazwa pomiaru	Górny obszar piersiowy	Dolny obszar piersiowy	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka

Tabela 3 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej strony ciała na początku doświadczenia (0 min)

Badany	Górny obszar piersiowy	Dolny obszar piersiowy	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka
1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,5	0,4	-0,1
2	0	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	0,3	0
3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,2	0,1	0
4	-0,2	-0,2	-0,3	0,3	0,1	0	-0,1
5	-0,1	0,2	-0,2	-0,2	0,4	-0,2	-0,4
6	-0,1	-0,6	-0,5	0,2	0,5	0,2	-0,1
7	0	-0,2	0	0,3	0,5	0,2	0
Średnia	-0,07	-0,17	-0,24	-0,01	0,21	0,14	-0,10

Tabela 4 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej strony ciała po pierwszej części doświadczenia (obciążona pierwsza strona) (10 min)

Badany	Górny obszar piersiowy	Dolny obszar piersiowy	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka
1	0,4	0	0,2	0,4	1	0,3	0,1
2	0,5	0,2	-0,2	0,1	0,8	1,2	0,3
3	0,2	-0,2	0	0,2	-0,9	0,1	0,5
4	0,1	-0,3	-0,5	-0,1	0,1	0,2	0,1
5	0,2	0,1	-0,2	0,2	0,6	-0,1	0,1
6	0,1	-0,8	-0,6	0,4	1	0,2	0,2
7	0,4	0,3	0,2	0	0,4	0,6	0,2
Średnia	0,27	-0,10	-0,16	0,17	0,43	0,36	0,21

Metoda badania

Badaniu poddano siedmiu mężczyzn – ochotników w wieku $24,6 \pm 3,1$. Żadna z osób nie miała nadwagi (BMI – *Body Mass Index* – w normie). Szczegółowe dane przedstawiono w tabeli 1.

Respondenci po piętnastominutowym okresie adaptacyjnym poruszali się na poziomej bieżni z wybraną przez siebie prędkością, dwa razy po 10 minut z obciążeniem 5,5 kg niesionym najpierw w jednej ręce, a po 10 minutach w drugiej. Ochotnicy maszerowali w krótkich spodenkach sportowych. W trakcie eksperymentu wykonano termogramy przed marszem i bezpośrednio po marszu. W badaniu wykorzystano kamerę termowizyjną Optris PL. Zdjęcia zostały wykonane z odległości ok. 3 m przy założeniu, że emisyjne właściwości skóry są na poziomie 0,97, w pokoju o stałej temperaturze 25°C oraz wilgotności ok. 60%, według

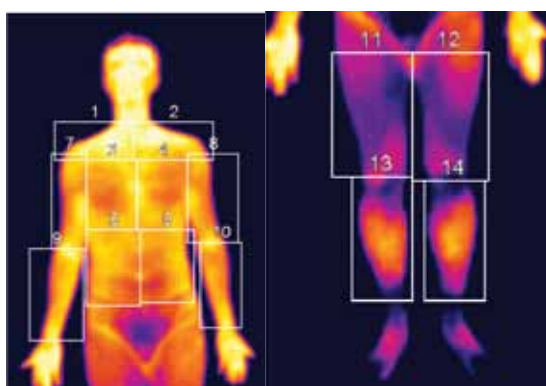
Tabela 5 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej strony ciała po drugim etapie doświadczenia (obciążenie drugiej strony) (20 min)

Badany	Górny obszar piersiowy	Dolny obszar piersiowy	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka
1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
2	0,1	-0,1	-0,6	-0,2	0,2	0,2	0,2
3	0	-0,3	-0,1	-0,1	-0,6	-0,1	0
4	-0,2	-0,4	-0,6	0	0,1	0,1	0
5	-0,2	0,1	-0,4	-0,7	-0,5	-0,1	0
6	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,4	-0,1	-0,2
7	-0,3	-0,2	-0,2	0,2	-0,1	0,4	0
Średnia	-0,11	-0,17	-0,34	-0,17	-0,21	0,04	-0,01

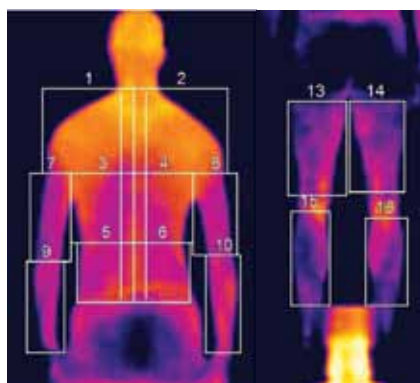
Tabela 6 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej brzusznej strony ciała na początku doświadczenia (0 min)

Badany	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
1	-0,1	0	-0,1	0	0,5	0	-0,3
2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3	0,2	-0,1
3	0	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,1
4	-0,1	-0,1	-0,1	0	0,1	-0,4	-0,1
5	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0	-0,3	0,2
6	-0,1	-0,1	0,4	0,1	0,1	-0,1	-0,2
7	-0,2	-0,2	-0,2	-0,7	-0,5	0,1	0,2
Średnia	-0,13	-0,10	0,00	-0,10	-0,03	-0,11	-0,06

standardów European Association of Thermology. Badanych ustawiono tak, aby oś optyczna obiektywu była normalna do płaszczyzny czołowej, zapewniając w ten sposób optymalny kąt pomiaru [8, 17]. Zarejestrowane obrazy analizowano za pomocą programu Optris PI Connect GmbH, uwzględniając średnie temperatury poszczególnych obszarów pomiarowych. Badane obszary to: część barkowa, klatka piersiowa, obszar brzucha, ramię i przedramię, udo i podudzie (przód), górny obszar piersiowy, dolny obszar piersiowy, obszar lędźwiowy, ramię i przedramię, udo i łydka (tył), odpowiednio dla lewej i prawej strony. W następnym kroku wyznaczono różnicę między odpowiadającymi sobie obszarami pomiarowymi strony obciążonej i nieobciążonej. Fotografie 1 i 2 przedstawiają wcześniej omówione obszary pomiarowe, zaś tabela 2 zawiera nazwy obszarów, dla których zostały obliczone różnice średnich temperatur. W ten sposób u każdej badanej osoby obliczono różnice temperatur w czasie 0, 10 i 20 minut, czyli odpowiednio przed marszem, po marszu – gdy obciążono jedną rękę i po marszu, gdy obciążono drugą rękę. Następnie wszystkie wyniki zarejestrowane w danym czasie zostały uśrednione. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 3-8.



Fot. 1 Przykładowe termogramy z naniesionymi obszarami pomiarowymi brzusznej strony ciała



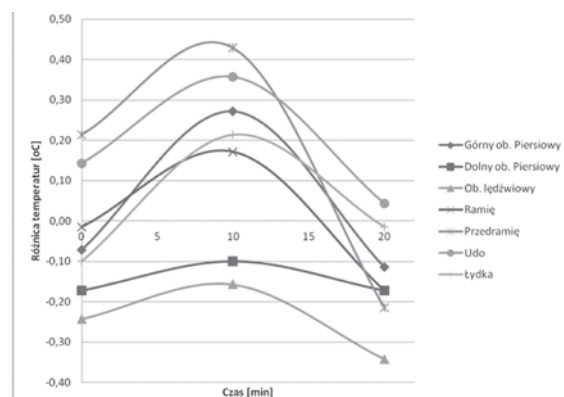
Fot. 2 Przykładowe termogramy z naniesionymi obszarami pomiarowymi grzbietowej strony ciała

Fotografia 3 przedstawia przykłady termogramów tułowia (strona brzuszna i grzbietowa) wykonane przed wysiłkiem i po jego zakończeniu.

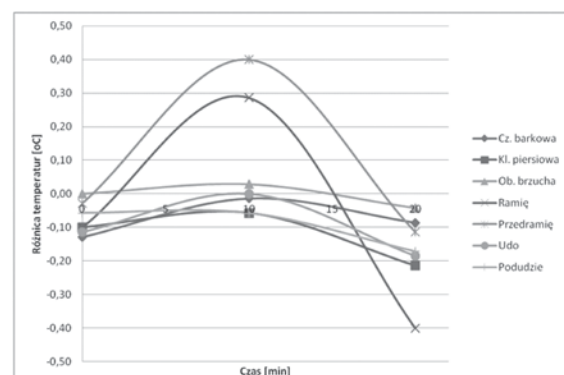


Fot. 3 Przykładowe termogramy – przed ćwiczeniem i po jego zakończeniu (odpowiednio po lewej i prawej stronie)

Rysunki 1 i 2 obrazują średnią różnicę temperatur, odpowiednio w brzusznej i grzbietowej części ciała.



Rys. 1 Przebieg czasowy uśrednionych różnic obszarów pomiarowych grzbietowej strony ciała



Rys. 2 Przebieg czasowy uśrednionych różnic obszarów pomiarowych brzusznej strony ciała

Wyniki pomiarowe

Praca mięśni ma dwa cele: motorykę ciała (chód) i stabilizację postawy wraz z kompensacją obciążenia. Wysilek fizyczny

spowodował zmianę rozkładu temperatury na ciele. Zmienił się on zgodnie z oczekiwaniami, czyli obszary mięśni, które w większym stopniu kompensowały asymetryczne obciążenie, nagrzały się bardziej. Na przykład, jeśli obciążenie niesiono w lewej ręce, wówczas wzrosła temperatura zginaczy przedramienia lewej ręki (zginaczy przedramienia i dłoni, prostowników i zginaczy ramienia, mięsień naramienny, mięsień czworoboczny) oraz mięśni po przeciwnej stronie ciała (skośny zewnętrzny, brzuchaty łydki, smukły, przywodziciel wielki, półścięgnisty) oraz mięśni uda (prosty uda, napinacz powięzi szerokiej). Łatwo zaobserwować, że nadmiar ciepła z organizmu jest intensywnie odprowadzany do otoczenia również przez głowę, szyję i kark (fot. 3).

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono rozkłady temperatur obrazujące ich wzrost w pierwszej fazie eksperymentu. Oznacza to, że mięśnie pracują (wytwarzają ciepło) z jednej strony, z drugiej zaś czynią to z mniejszą intensywnością. Po zmianie stron obciążenia mamy sytuację odwrotną. Prawie wszystkie badane obszary zachowują się zgodnie z opisem. Jedynymi wyjątkami są obojczyk i środek pleców, których temperatura nie zmienia się. Dowodzi to, że mięśnie w tych obszarach w znacznie mniejszym stopniu

Tabela 7 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej brzusznej strony ciała po pierwszej części doświadczenia (obciążona pierwsza ze stron) (10 min)

Badany	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
1	0,1	0,1	-0,2	0,4	1,5	0	-0,2
2	-0,1	0,1	-0,1	0,2	0,1	0,1	0
3	0	-0,2	0,3	0,7	0,3	-0,2	-0,1
4	-0,3	-0,2	-0,2	0,2	0	0	0
5	0	-0,3	-0,1	0,4	0,1	0,1	0
6	-0,1	0,1	0,7	0,2	0,8	-0,1	0
7	0,3	0	-0,2	-0,1	0	0,1	-0,1
Średnia	-0,01	-0,06	0,03	0,29	0,40	0,00	-0,06

Tabela 8 Różnice temperatur w przypadku grzbietowej grzbietowej strony ciała po drugim etapie doświadczenia (obciążenie drugiej ze stron) (20 min)

Badany	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
1	-0,1	0	-0,2	0	0,6	0,1	-0,5
2	-0,3	0	-0,4	-0,6	-0,6	0	-0,1
3	-0,1	-0,4	-0,1	-0,2	-0,6	-0,7	0,1
4	0,6	0,4	0,7	0,2	0,3	-0,1	0,1
5	-0,3	-0,8	-0,4	-0,6	0,1	-0,5	-0,4
6	-0,1	-0,1	0,3	-0,6	-0,1	0	-0,2
7	-0,3	-0,6	-0,2	-1	-0,5	-0,1	-0,2
Średnia	-0,09	-0,21	-0,04	-0,40	-0,11	-0,19	-0,17

kompensują asymetryczne obciążenie. Łatwo dostrzec, że wartości początkowe (przed badaniem) różnic temperatur między lewą i prawą stroną w niemal wszystkich badanych obszarach są niezerowe. Prawdopodobnie wiąże się to z asymetryczną strukturą ciała lub wadami postawy.

Można również zauważyć, że dla grzbietowej strony ciała (rys. 1) amplitudy są większe niż dla strony brzusznej (rys. 2). Największą uśrednioną różnicę temperatur zanotowano dla przedramienia (0,43°C – przód, 0,40°C – tył) oraz ramienia (0,40°C – przód), co potwierdza, że gdy niesione jest obciążenie, pracują mięśnie ręki. Dodatkowo udo w jego tylnej części również notuje znaczną różnicę temperatur (0,36°C). Jednocześnie część piersiowa pleców i brzuch są częściami ciała, których różnica między minimalną i maksymalną wartością jest nie większa niż 0,07°C, czyli poniżej błędu pomiarowego kamery. Można zatem przyjąć, że różnica temperatur w tych obszarach nie zmienia się w czasie (utrzymuje stałą wartość).

Wyniki uzyskane z analizy termogramów uwiadcniają, że zaprezentowaną metodą można dokonać oceny pracy grup mięśni poprzez pomiar temperatury, szczególnie podczas nierównomiernego ich obciążenia. Na termogramach pokazano, które grupy mięśni najbardziej stabilizują postawę i kompensują dodatkowe obciążenie, a które odpowiadają za to w minimalnym stopniu. Weryfikacja wzrokowa termogramów, nawet bez obliczania średniej temperatury i różnic między nimi, pozwala ocenić, jak obciążenie wpływa na poszczególne mięśnie. Takie oszacowanie jakościowe może być łatwo uzupełnione o analizę ilościową za pomocą obliczeń różnic temperatur pomiędzy badanymi stronami ciała, zarówno przed wysiłkiem fizycznym, jak i po nim.

Brak narzuconego sposobu trzymania obciążenia spowodował, że niektórzy badani nieśli je z lekko zgiętym łokciem; wówczas obserwowano pracę mięśni całego ramienia. Inni dźwigali ciężar z wyprostowanym łokciem; wtedy pracowały przede wszystkim mięśnie przedramienia odpowiedzialne za zginanie palców dłoni w nachwyacie – w takim przypadku obciążenie przenoszone było głównie na więzadła i kości. To oznacza, że mięśnie ramion nie pracowały w ten sam sposób u wszystkich badanych. Innym aspektem, który należy wziąć pod uwagę, jest różnorodna grubość warstwy tłuszczu pod skórą. Większość badanych miało cienką warstwę, co w niewielkim stopniu wpływa na dokładność pomiarów [17].

Dla celów porównawczych postanowiono zbadać grupę kontrolną. Ochotnicy w pierwszym doświadczeniu maszerowali bez dodatkowego obciążenia, za drugim zaś razem dźwigali obciążenie w jednej ręce, nie poruszając się. Eksperyment trwał 10 minut. Temperatura była mierzona na początku i na końcu badania. Tabele 9-12 oraz rysunki 3-6 przedstawiają uzyskane i uśrednione wyniki badań.

Tabela 9 Uśrednione pomiary grupy kontrolnej, bez obciążenia, strona brzuszna, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)

Czas (min)	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
0	0,35	0,30	-0,10	0,40	0,35	-0,15	0,05
10	0,35	0,20	-0,10	0,30	0,05	-0,15	0,05

Tabela 10 Uśrednione pomiary grupy kontrolnej, bez obciążenia, strona grzbietowa, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)

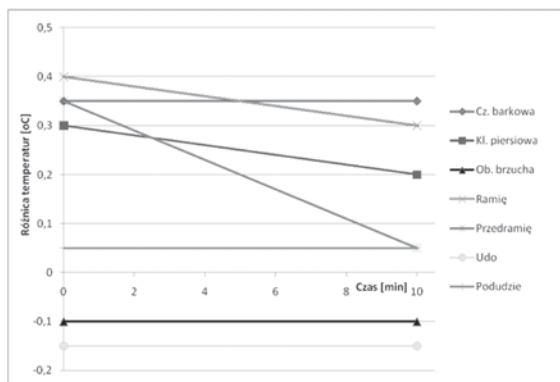
Czas (min)	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka
0	-0,4	-0,3	-0,3	0,1	-0,2	-0,3	-0,6
10	-0,2	-0,15	-0,25	0,15	0	-0,05	-0,15

Tabela 11 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, z obciążeniem, strona brzuszna, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)

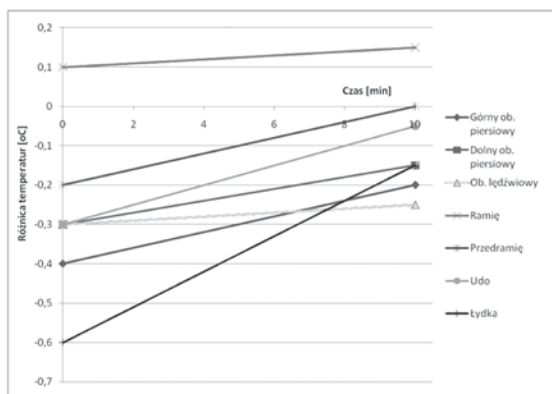
Czas (min)	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar mięśnia prostego i skośnego brzucha	Ramię	Przedramię	Udo	Podudzie
0	0,35	-0,05	-0,3	0,3	0,35	-0,2	-0,15
10	0,15	0,4	0	0,6	0,4	-0,15	0,15

Tabela 12 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, z obciążeniem, strona grzbietowa, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)

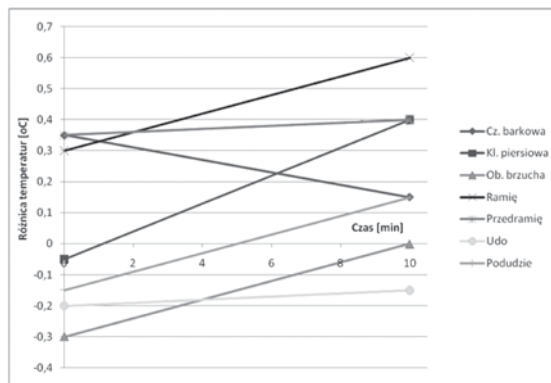
Czas (min)	Część barkowa	Klatka piersiowa	Obszar lędźwiowy	Ramię	Przedramię	Udo	Łydka
0	-0,15	-0,05	-0,3	0,35	0,1	-0,05	0,05
10	-0,25	-0,25	-0,15	0	-0,1	0,5	-0,2



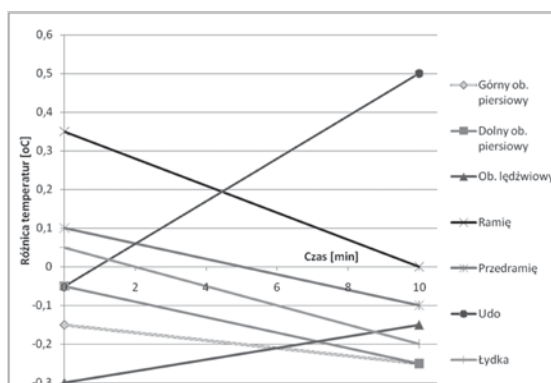
Rys. 3 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, bez obciążenia, strona brzuszna, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)



Rys. 4 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, bez obciążenia, strona grzbietowa, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)



Rys. 5 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, z obciążeniem, strona brzuszna, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)



Rys. 6 Wykres zmian różnic temperatur grupy kontrolnej, z obciążeniem, strona grzbietowa, przed doświadczeniem i po jego zakończeniu (0 i 10 min)

Po zakończeniu ćwiczenia polegającego na dźwiganiu obciążenia bez poruszania się zauważono, że różnica temperatur w obrębie obszaru barkowego spadła z 0,4°C (na początku) do 0,0°C (na końcu). Tylko w tym obszarze zmniejszyła się różnica temperatur w brzusznej części ciała. Różnica temperatur ramienia (z przodu) nie zmieniła się (0,2°C), zaś przedramienia wzrosła od 0,1 do 0,4°C. Zaobserwowano, że wartość różnicy temperatur obszaru brzucha zmieniła się z -0,3 do 0,0°C, podudzia zaś z -0,3 do 0,1°C. Na górnej części piersiowej zmieniła ona wartość w czasie doświadczenia o 0,1°C. Stwierdzony został także znaczny wzrost wartości różnicy obszaru lędźwiowego z -0,3 do 0,0°C i dolnego obszaru piersiowego pleców. Różnica temperatur zmieniła się o -0,1°C w trakcie badania, co mieści się w granicach błędów pomiarowego dostępnego urządzenia. Najbardziej interesujące zmiany odnotowano w obszarze ud. Tam różnica temperatur wzrosła z 0,1 do 1,3°C. Różnica temperatur ramienia z tyłu ciała spadła z 0,2 do -0,1°C. Dla łydki w tylnej części zanotowano spadek wartości różnicy temperatury z 0,4 do 0,2°C.

Wykonanie drugiego badania (chodzenie bez obciążenia) dało następujące wyniki: we wszystkich obszarach z tyłu ciała różnica temperatur wahała się o 0,1, lub 0,2°C albo nie zmieniała się wcale. W części brzusznej ciała sytuacja była bardzo podobna. Pomierzona wartość różnicy temperatur ramienia spadła z 1,0°C (na początku) do 0,4°C (na końcu) i przedramienia z 0,4°C (na początku) do 0,0°C (na końcu).

Podsumowując wyniki grupy kontrolnej z pierwszego doświadczenia, można stwierdzić, że asymetryczny ciężar wywiera największy wpływ na udo po stronie obciążonej (istnieją jednak doniesienia, opisujące niepublikowane wyniki doświadczeń, wykonane przy użyciu wkładek piezoelektrycznych w butach, wskazujące, że przy odpowiednio wysokim obciążeniu może zostać ono przeniesione na naprzeciwległe udo). Przyczyna zrównoważenia się temperatur obojczyków po obu stronach ciała jest trudna do zdefiniowania bez dodatkowych i bardziej szczegółowych badań, np. częstszych pomiarów temperatury lub rezonansu magnetycznego. Można ją tłumaczyć kompensacją obciążenia przez mięśnie okolic obojczyka nieobciążonej strony ciała. Brak reakcji temperaturowej w okolicy ramienia (strona brzuszna) w czasie doświadczenia może świadczyć o tym, że ochotnik nie używał mięśni całej ręki podczas trzymania, lecz trzymał bezwładnie, przenosząc ciężar na staw łokciowy, ścięgna i więzadła. Pracowały wówczas głównie mięśnie przedramienia, co sugeruje wzrost temperatury zginaczy palców dłoni.

Chód bez obciążenia nie spowodował znacznych zmian różnic temperaturowych strony brzusznej w czasie. Można zatem przyjąć, że chód i wysiłek fizyczny z tym związany nie powoduje znaczących zmian. W przypadku grzbietowej strony ciała sytuacja jest nieco odmienna. Zauważono, że w niemal wszystkich zbadanych grupach mięśni różnica temperatur zbliżyła się do wartości 0. Stąd wniosek, że chód powoduje zrównoważenie różnic temperatur obszarów symetrycznych względem płaszczyzny strzałkowej. W przypadku obszaru ramienia zmiana wartości różnicy temperatur jest na tyle nieznaczna, iż przyjmujemy dla niej wartość stałą, co uznać można za brak reakcji mięśni na chód.

Wnioski

Przedstawiona metoda wskazuje grupy mięśni, które w znacznym stopniu kompensują asymetryczne obciążenie. Wyniki jakościowe zgodziły się z przewidywaniami, tj. nastąpił wzrost różnicy temperatur na skutek kompensacji obciążenia po pierwszej części testu, podczas asymetrycznego obciążania obręczy barkowej, a następnie spadek, gdy strona obciążona została zmieniona.

Metoda ta pozwala wspomagać ocenę stopnia zaawansowania skoliozy i innych zwyrodnień kręgosłupa, ponadto może ułatwić projektowanie ergonomicznych plecaków i mebli (krzesła, fotele itp.) lub stanowisk pracy. ■

Literatura

1. M. Chudecka, A. Lubkowska: *Temperature changes of selected body's 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, vol. 35, 2010, s. 379-385.
2. J. Awrejcewicz, J. Mrozowski: *Wstęp do biomechaniki*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2004.
3. J. Cooper, W.C. Randall, A.B. Hertzman: *Vascular convection of heat from active muscle to overlying skin*, J Appl Physiol, vol. 14, 1959, s. 207-211.
4. S. Dragan, H. Konik, A. Prastowski, W. Orzechowski: *Application of thermography in diagnostics and prognostication of scoliosis treatment*, Acta Bioeng Biomech, vol. 4(1), 2002, s. 63-70.
5. A. Dyszkiewicz, J. Kuna, R. Koprowski, Z. Wróbel: *Simplified analysis of spine thermovision picture in diagnostics of scoliosis*, Acta Bioeng Biomech, vol. 3(1), 2001, s. 93-99.
6. A. Cholewska, Z. Drzazga, A. Sieron, A. Stanek: *Thermovision diagnostics in chosen spine diseases treated by whole body cryotherapy*, J Therm Anal Calorim, vol. 102, 2010, s. 113-119.
7. P. Zalewski, K. Buszko, J.J. Klawe, M. Tafil-Klawe, A. Lewandowski, K. Słomiński, I. Panowicz: *Wpływ kriostymulacji ogólnoustrojowej na zmiany temperatury wybranych obszarów ciała w odniesieniu do wartości współczynnika BMI*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 15, 2009, s. 129-136.
8. M. Tkacova, R. Hudak, P. Poffova, J. Zicak: *An importance of camera – subject distance and angle in musculoskeletal applications of medical thermography*, Acta Electrotechnica et Informatica, vol. 10(2), 2010, s. 57-60.
9. M. Chudecka, A. Lubkowska: *Termowizyjna ocena zmian temperatury powierzchni ciała koszykarzy po treningu*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 17, 2011, s. 271-274.
10. H. Zaidi, R. Taiar, S. Fohanno, G. Polidori, *The influence of swimming type on the skin-temperature maps of a competitive swimmer from infrared thermography*, Acta Bioeng Biomech, vol. 9(1), 2007, s. 47-51.
11. M. Chudecka, A. Lubkowska, A. Kempirńska-Podhorodecka: *Termowizyjna ocena zmian temperatury na powierzchni kończyn górnych u zawodników uprawiających waterpolo*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 16, 2010, s. 334-338.
12. M. Čoh, B. Širok: *Use of the thermovision method in sport training*, Facta Universitatis: Physical Education and Sport, vol. 5(1), 2007, s. 85-94.
13. J.J.A. Ferreira, L.C.S. Mendonça, L.A.O. Nunes, A. Filho, J.R. Rebelatto, T.F. Salvini: *Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects*, Ann Biomed Eng, vol. 36(8), 2008, s. 1420-1427.
14. M. Torii, M. Yamasaki, T. Sasaki, H. Nakayama: *Fall in skin temperature of exercising man*, Br J Sports Med, vol. 26(1), 1992, s. 29-32.
15. L. Jansky, V. Vavra, P. Jansky, P. Kunc, I. Knizkova, D. Jandova, K. Slovacek: *Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling*, J Therm Biol, vol. 28, 2003, s. 429-437.
16. J. Anwajler, K. Dudek: *Ocena aktywności wybranej grupy mięśni na podstawie pomiaru zmian temperatury powierzchni ciała*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 15, 2009, s. 20-22.
17. G. Broniarczyk-Dyla: *Several remarks on skin thermometry*, Dermatological Review, vol. 61, 1974, s. 89-93.

otrzymano / received: 11.12.2011

wersja poprawiona / revised version: 03.04.2012

zaakceptowano / accepted: 15.05.2012