

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Badania termowizyjne obciążonego stawu biodrowego

ARTUR RUSOWICZ^{1,2}, JAN PIWNIK³

¹INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ, POLITECHNIKA WARSZAWSKA

²CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO-ROZWOJOWY APARATURY BADAWCZEJ I DYDAKTYCZNEJ COBRABID SP. Z O.O.

³WYDZIAŁ MECHANICZNY, POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Słowa kluczowe: termowizja, staw biodrowy, analiza obrazu

STRESZCZENIE:

W artykule przedstawiono wyniki badań obciążonego stawu biodrowego. Staw biodrowy obciążano cyklami ćwiczeń gimnastycznych. Temperaturę w okolicach stawu monitorowano przy użyciu kamery termowizyjnej. Określono zmiany temperatury powierzchni skóry w wybranych miejscach.

Thermal research loaded hip joint

Keywords: thermography, hip joint, image analysis

ABSTRACT:

The article presents the results of the load of the hip. The hip joint is loaded cycle exercise. The temperature in the vicinity of the joint were monitored using a thermal imaging camera. Changes of skin surface temperature at selected locations are analyzed.

1. WPROWADZENIE

Termowizja wykorzystywana jest w medycynie od połowy lat 50. ubiegłego wieku. W związku z poszukiwaniem nowych, nieinwazyjnych metod badań medycznych, rozwija się cały czas [1-3]. Początkowo skupiano się na fizjologicznych zmianach pochodzących m.in. od złamań, oparzeń, nowotworów, chłoniaków, czerniaków, raka prostaty, raka piersi, zapaleń dermatologicznych skóry, reumatologicznych zapaleń stawów, cukrzycy i związanych z nią patologii, zakrzepicy żył głębokich, chorób wątroby, zakażeń bakteryjnych itp. [4, 5]. Warunki te są często związane z lokalnym rozszerzeniem naczyń krwionośnych [6], hipertermią, hyperperfuzją, hypermetabolizmem i hyperunaczynieniem, w których źródła ciepła generują wyższe temperatury [2, 7, 8].

Zaletą badań termowizyjnych jest ich brak wpływu na obiekt badany oraz personel obsługujący urządzenie. Termowizja wykorzystuje pomiary fal elektromagnetycznych emitowanych przez ciała o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Duży wpływ na pomiar termowizyjny ma stan badanej powierzchni, w tym głównie jej chropowatość. W technikach termowizyjnych niezbędna jest znajomość emisyjności badanego obiektu, której wartość zmienia się w zakresie od 0 do 1, i która określa zdolność badanej powierzchni do emisji promieniowania przy uwzględnieniu stanu powierzchni, rodzaju materiału, z jakiego jest wykonana, oraz długości fali promieniowania, w jakim działa aparatura termowizyjna. Im większa wartość współczynnika emisyjności, tym więcej energii emituje badany obiekt i tym bardziej kontrastowy jest obraz termowizyjny. W przypadku skóry ciała ludzkiego współczynnik ten wynosi 0,98. Wysoki współczynnik emisyjności powoduje, że do kamery termowizyjnej dociera bardziej kontrastowy obraz. Tworzenie obrazu polega na rejestracji przez kamerę promieniowania emitowanego przez obserwowany obiekt, a następnie przetworzeniu na kolorową mapę temperatury. System termowizyjny jest więc rodzajem termometru, który pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie. Energia odbierana przez kamerę nie zależy tylko od temperatury obiektu i jego emisyjności, ponieważ promieniowanie pochodzi także z otoczenia i jest ono odbijane przez obiekt. Na promieniowanie obiektu i promieniowanie odbite ma także wpływ absorpcja atmosfery [9].

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniom poddany został staw biodrowy człowieka płci męskiej w wieku 24 lat o masie ciała 92 kg. Doświadczenie polegało na wykorzystaniu termowizji do analizy rozkładu pól temperatury w okolicy stawu biodrowego, zaprezentowanego na Rysunku 1. Rozkład temperatury, który zależał w głównej mierze od stopnia nagrzania mięśni, uwarunkowany był rodzajem i ilością obciążenia nałożonego na obiekt pomiarowy.

W celu określenia zmian temperaturowych na ciele obiekt musiał być poddany stopniowym obciążeniom. Obciążenia te związane były z wykonywaniem przysiadów oraz biegiem. Przeprowadzone zostały cztery cykle pomiarowe. Pierwszy cykl obejmował wykonanie termogramów bez obciążenia, drugi cykl to wykonanie dwóch serii 50 przysiadów z jednogminutową przerwą. Trzeci cykl to cztery serie 50 przysiadów z minutową przerwą pomiędzy seriami. Ostatni, czwarty cykl – biegowy – obejmował bieg na dystansie 1 kilometra. Po każdym z cykli wykonano zdjęcia stawu z odległości 50 centymetrów, z czterech stron.

Badanie polegało na rejestracji rozkładu pól temperatury na powierzchni stawu biodrowego z wykorzystaniem kamery termowizyjnej firmy FLIR ThermoCam P10. Czułość kamery termowizyjnej używanej podczas badań wynosiła 0,08 K. Oznacza to, że można rozróżnić punkty na ciele różniące się temperaturą o 0,08 K. Niestety nie wyraża się to dokładnością pomiaru, która osiąga 2% przy zakresie pomiarowym $-10 \div +55^{\circ}\text{C}$. Kamera ThermoCAM P10 jest urządzeniem posiadającym wieloelementowe detektory podczerwieni, dzięki którym wyeliminowany został skomplikowany mechaniczno-optyczny zespół przeszukiwania obrazu. W matrycy tej kamery (320×240) jest 76800 pojedynczych detektorów (pikseli). Każdy piksel może być odczytywany 50 razy na sekundę przez układ odczytowy. Zakres widmowy promieniowania podczerwonego wynosi $7,5 - 13 \mu\text{m}$ (tzw. termowizja długofalowa) [9]. Zdjęcia wykonywano z odległości 0,5 m.

W trakcie wykonywania przysiadów najmocniej pracują mięśnie: czworogłowy uda i pośladkowy wielki. Pierwszy jest najsilniejszym zginaczem stawu, a drugi najmocniej go prostuje. To one, przede wszystkim ustalają temperaturę w okolicy stawu biodrowego. Znaczący wpływ na temperaturę mają również mięśnie: przywodziciel wielki, półbłoniasty, pośladkowy średni oraz mięsień

biodrowo-lędźwiowy, krawiecki i napinający powięź szeroką.

Podczas biegu pracują niemalże wszystkie mięśnie okolicy stawu biodrowego. Ich praca opiera się na współdziałaniu polegającym na tym, że jedne partie mięśni napinają się wtedy, gdy inne (przeciwnie) się rozluźniają. Bieg jest innym rodzajem wysiłku niż przysiady, dlatego mogło mieć to wpływ na rozkład pól temperatur w otrzymanych wynikach.

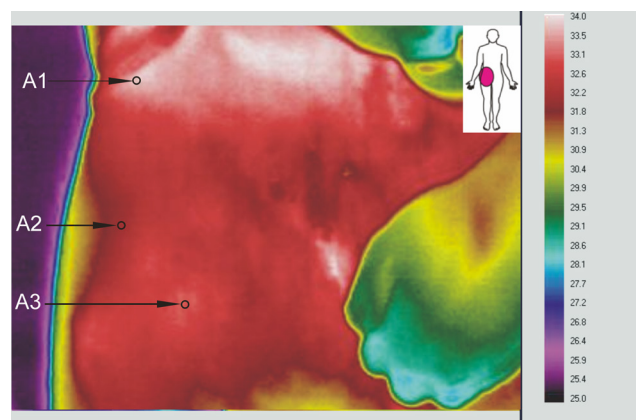
3. WYNIKI BADAŃ TERMOWIZYJNYCH

Wynikiem przeprowadzonych badań są termogramy. Umieszczono na nich pewne punkty, których analiza ma wykazać wzrost temperatury zachodzący wraz ze zwiększaniem ilości wykonywanych przysiadów oraz biegiem. Temperatura tych punktów, przedstawiona na Rysunkach 1 i 3, określona została przez wzrokowe porównanie koloru badanego punktu z kolorem na skali zamieszczonej obok. Analizie poddano znacznie więcej punktów, znajdujących się w okolicy stawu biodrowego, niż zaprezentowano w pracy. Wyniki pomiarów służyły weryfikacji różnych modeli biomechaniki stawu biodrowego, które nie są prezentowane w niniejszym opracowaniu. Następnie dla tego samego położenia punktów pomiarowych określono temperatury po poszczególnych cyklach obciążenia. Wyniki pomiarów zaprezentowano na Rysunkach 2 i 4.

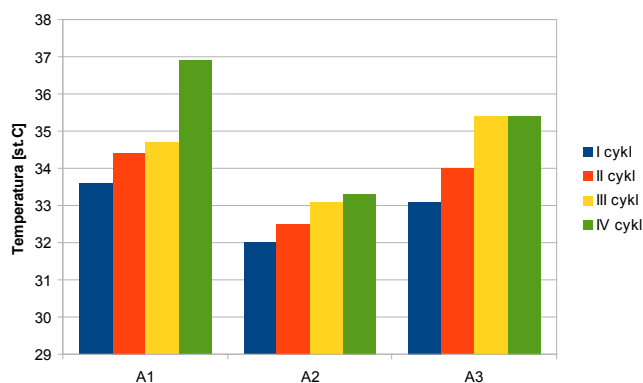
Punkt o indeksie A1 znajduje się w okolicy grzebienia kości biodrowej, w miejscu, gdzie nie występują mięśnie. Na podstawie Rysunku 1 można zauważyć, że największy wzrost temperatury nastąpił po biegu. Prawdopodobnie jest to spowodowane występowaniem tarcia kości o skórę. Punkt A2 znajduje się na mięśniu napinającym powięź szeroką. Temperatura w tym punkcie jest stosunkowo niska. Może być to związane z małą pracą tego mięśnia przy wykonywaniu ćwiczeń. Punkt o indeksie A3 zlokalizowany został na mięśniu prostym uda. Ze wzrostu temperatury wynika, że miejsce to rozgrzewa się do temperatury 35,4°C. Jest to stosunkowo wysoka temperatura, świadcząca o dużej pracy tego mięśnia.

Przy wykonywaniu pomiarów ze strony bocznej analizowano punkty E1, E2 i E3, prezentowane na Rysunku 3. Punkt E1 znajduje się w okolicy grzebienia kości biodrowej. Temperatura w tym punkcie jest wysoka i rośnie niemalże liniowo wraz ze zwiększaniem obciążenia stawu,

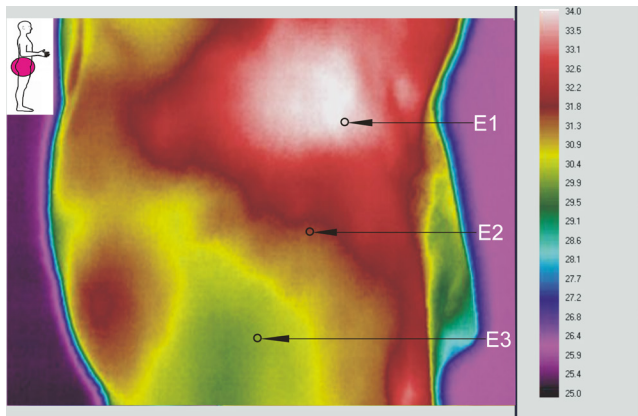
osiągając po biegu temperaturę prawie 37°C. Punkt o indeksie E2 umieszczony został na granicy występowania mięśnia pośladkowego wielkiego. Temperatura w tym miejscu, podobnie jak w przypadku punktu o indeksie 1, rośnie w sposób liniowy. Jednak jest to temperatura już dużo niższa, która może być wywołana występowaniem w tym miejscu grubej tkanki tłuszczowej. Punkt o indeksie E3 zlokalizowany jest w okolicy pasma biodrowo-piszczelowego, w jego górnej części. Zmiana temperatury w tym punkcie jest najniższą jaka została zaobserwowana na termogramach. Świadczy to o znikomym udziale tego obszaru przy wykonywaniu ćwiczeń. Po biegu temperatura w tym punkcie jest niższa niż po seriach przysiadów. Wpływ na to miały zapewne: temperatura, w której wykonywany był bieg (ok. 10°C), oraz wydzielający się pot.



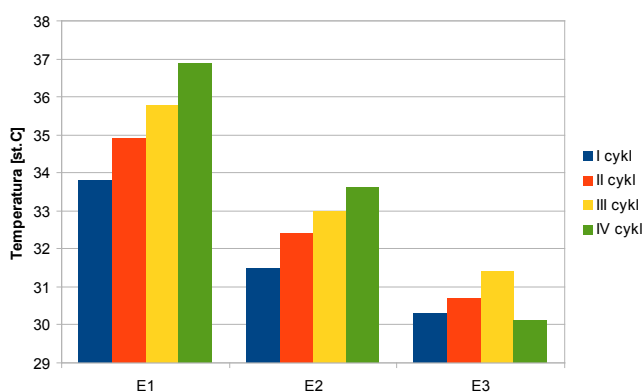
Rysunek 1 Termogram z zaznaczonymi punktami pomiarowymi, obciążenie – bez rozgrzewki, strona przednia



Rysunek 2 Temperatura ciała w zaznaczonych punktach pomiarowych, po obciążeniu w poszczególnych cyklach



Rysunek 3 Termogram z zaznaczonymi punktami pomiarowymi, obciążenie – bez rozgrzewki, strona boczna



Rysunek 4 Temperatura ciała w zaznaczonych punktach pomiarowych, po obciążeniu w poszczególnych cyklach

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie termowizji pozwala monitorować temperaturę skóry ludzkiej i wykrywać szereg nieprawidłowości. Niestety stosowanie termowizji w medycynie i biotechnologii nie jest szeroko rozpowszechnione, nie ma również zorganizowanego programu medycznego dla analiz termograficznych [10]. Często spowodowane jest to dostępem w medycynie tylko do starszych typów kamer, których możliwości pomiarowe znacznie odbiegają od obecnie proponowanych rozwiązań [11].

Zakres stosowania termowizji w przemyśle, w szeregu zagadnień technicznych, podlega ciągłemu rozwojowi. Ocena efektywności energetycznej różnych obiektów (np. budynków mieszkalnych, chłodni) czy strat przy transporcie mediów ma ogromne znaczenie w analizie ekonomicznej. Zastosowanie termowizji w prosty sposób przekłada się na uzyskiwanie określonych korzyści finansowych. Podobnie wygląda sytuacja przy analizie ryzyka wystąpienia awarii w urządzeniach technicznych bądź w trakcie lokalizowania już występujących uszkodzeń. W wielu przypadkach ta nieinwazyjna, a nawet bezkontaktowa metoda jest niezastąpiona (np. analiza stanu pracy transformatorów dużej mocy w energetyce, chłodzenie reaktorów, generatorów itd.) i umożliwia monitoring podczas ciągłej pracy urządzenia. Znane są zorganizowane systemy zastosowania termowizji przy poszukiwaniu zaginionych ludzi pod gruzami, w lesie i w kopalniach, czy też systemy lokalizacji pożarów w kompleksach leśnych.

Osobnym zagadnieniem jest wykorzystanie najnowszych technologii termowizji w zastosowaniach wojskowych. I dopiero na tym poziomie poprzez transfer technologii wojskowych do użytku medycznego należałoby się zastanowić nad organizacją badań medycznych czy biomechanicznych. Wykorzystanie kamer o wysokiej rozdzielczości z szybkim odczytem danych oraz bibliotek danych powiązanych z procedurami przetwarzania obrazu pozwoli na przeprowadzenie dogłębnych analiz [12]. W ich wyniku można otrzymać ważne informacje w postaci wielkości intensywnych, innych niż tylko temperatura. Strumienie ciepła, wektory wysiłku, a może nawet tensory powiązane z powierzchniami pozwolą na analizę skomplikowanych zjawisk biomechanicznych w organizmie ludzkim [13, 14] czy zwierzęcym [15]. Niestety złożoność zagadnień biomechanicznych i termodynamicznych oraz wymiany ciepła i masy przy ośrodkach anizotropowych nie doprowadzi do rozwiązania szeregu istotnych problemów bez dodatkowych danych eksperymentalnych pochodzących chociażby z termowizji. Stąd potrzeba organizacji systemowej badań termowizyjnych w medycynie.

LITERATURA

- [1] Qi H., Diakides N. A., Thermography. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [2] Diakides N. A., Brodzino J. D., Medical Infrared Imaging, CRC Press, 2007.
- [3] Tkacova M. I., Hudák R., Živčák J., Sidun J., Thermographic Atlas of the Human Body, INES, 427-429, 2011.
- [4] Jones B. F., Plassmann P., Digital infrared thermal imaging of human skin, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 21(6), 41-48, 2002.
- [5] Živčák J., Madarász L., Hudák R., Application of medical thermography in the diagnostics of Carpal tunnel syndrome, 12th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI, 535-539, 2011 – Proceedings.
- [6] Szabo T., Fazekas L., Geller L., Horkay F., Merkely B., Gyongy T., Juhasz-Nagy A., Cardiothermographic assessment of arterial and venous revascularization, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 19(3), 77-82, 2000.
- [7] Bale M., High-resolution infrared technology for soft tissue injury detection, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 17(4), 56-59, 1998.
- [8] Anbar M., Clinical thermal imaging today, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 17(4), 25-33, 1998.
- [9] Więcek B., De Mey G., Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania, PAK, 2011.
- [10] Ring E. F. J., The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine, Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 30, No. 4, 192-198, 2006.
- [11] Jiang L. J., Ng E. Y. K., Yeo A. C. B., Wu S., Pan F., Yau W. Y., Chen J. H., Yang Y., A perspective on medical infrared imaging, Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 29, No. 6, 257-267, 2005.
- [12] Živčák J., Hudák R., Madarász L., Ruda I. J., Methodology, Models and Algorithms in Thermographic Diagnostics, Springer-Verlag Berlin, 2013.
- [13] Piwnik J., Patejuk A., Wykorzystanie termowizji do badań biomechaniki procesów gryzienia i żucia, Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, t. 12, nr 4, 113-130, 2007.
- [14] Piwnik J., Rusowicz A., Wykorzystanie termowizji do badań biotribologii stawu łokciowego, Tribologia, V44, Nr 1 (247), 117-124.
- [15] Eddy A. L., Hoogmoed Van L. M., Snyder J. R., The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. Review Article, The Veterinary Journal, Vol. 162(3), 172-181, 2001.