

Dynamika zmian temperatury ręki reumatoidalnej po wybranych zabiegach z zakresu termoterapii

Dynamics of temperature changes in the rheumatoid hand after selected thermotherapy treatments

Radostaw Rutkowski^{1,2}, Anna Straburzyńska-Lupa^{1,2,3}, Paweł Korman¹, Wojciech Romanowski³,
Małgorzata Gizińska¹, Elżbieta Hurnik⁴, Roman Lorenz³

¹Zakład Fizykoterapii i Odnowy Biologicznej Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu

²Wyższa Szkoła Edukacji i Terapii w Poznaniu

³Poznański Ośrodek Reumatologiczny w Śremie

⁴Sekcja Obliczeniowa Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu

Słowa kluczowe: ręka reumatoidalna, termoterapia, mikrokrążenie, termowizja.

Key words: rheumatoid hand, thermotherapy, microcirculation, thermovision.

Streszczenie

Wstęp: W procesie usprawniania osób z chorobami reumatycznymi wykorzystuje się wiele zabiegów z zakresu ciepłolecznictwa i krioterapii. W dostępnym piśmiennictwie niewiele jest opisów badań dotyczących efektów termicznych występujących w tkankach w wyniku stosowania takich zabiegów w obrębie ręki reumatoidalnej. Z tego powodu autorzy podjęli próbę określenia przebiegu dynamiki zmian temperatury po zastosowaniu powszechnie stosowanych u pacjentów z reumatoidalnym zapaleniem stawów (RZS) zabiegów z zakresu termoterapii, w aspekcie zmian zachodzących w mikrokrążeniu podczas 120 minut obserwacji.

Materiał i metody: Do dwóch grup przydzielono 27 pacjentów z rozpoznaniem RZS (średni wiek badanych 57 ± 7,9 roku): I grupa liczyła 14 osób, u których naświetlano jedną rękę promiennikiem podczerwieni IR-A, -B oraz -C, II grupa – 13 osób, u których wykonano zabieg nadmuchu jednej ręki zimnym powietrzem (–30°C). Analizy rozkładu temperatury dokonano na podstawie 120-minutowej obserwacji zmian temperatury powierzchniowej obu rąk, do zapisu której użyto kamery termowizyjnej. U każdej osoby wykonano 8 zdjęć termowizyjnych w określonych odstępach czasu: przed zabiegiem, zaraz po zabiegu oraz 5, 15, 30, 45, 60 i 120 minut po zabiegu.

Wyniki: Istotne różnice temperatur mierzonych w kolejnych odstępach czasu zaobserwowano we wszystkich grupach tylko podczas

Summary

Objective: Heat therapy and cryotherapy are often used in a rehabilitation programme of rheumatoid arthritis patients. There are not many publications concerning thermotherapy effects on the rheumatoid hand after these treatments. The aim of the study was to evaluate the changes of microcirculation on the basis of temperature variations (120 minutes – observation time) after thermotherapy treatment commonly used in RA patients.

Materials and methods: 27 patients with rheumatoid arthritis (average age ± standard deviation [SD], 57 ± 7.9 y) were divided into two groups. In group I 14 patients had one hand exposed to infrared radiation (IR-A, B, C) and in group II – 13 patients underwent treatment of cooling the hand with cold air (–30°C). Surface temperature was evaluated by thermovisual observation. Each person had 8 pictures taken at several points of time: before the treatment, and 5, 15, 30, 45, 60 and 120 minutes after the treatment.

Results: Significant differences in temperature taken at the subsequent time points were observed in each group only during first 5 minutes after the treatment ($p < 0.05$). The maximal increase in temperature observed directly after the treatment IR-A, B, C was 3.5°C. After cold air application (–30°C), there was a maximal decrease in temperature (6.4°C) taken directly after the treatment (Fig. 1 and 2).

Adres do korespondencji:

dr n. o k.f. Radostaw Rutkowski, Zakład Fizykoterapii i Odnowy Biologicznej, Akademia Wychowania Fizycznego, ul. Królowej Jadwigi 27/39, 61-871 Poznań, tel. +48 61 835 51 59, e-mail: rutkowski@awf.poznan.pl

Praca wpłynęła: 25.05.2011 r.

pierwszych 5 minut po zabiegu ($p < 0,05$). Maksymalny wzrost temperatury odnotowany zaraz po zabiegu IR-A, -B, -C wynosił 3,5°C. Po nadmuchu zimnym powietrzem (-30°C) maksymalne obniżenie temperatury mierzonej zaraz po zabiegu wynosiło 6,4°C (ryc. 1 i 2).

Wnioski: Istotne zmiany temperatury powierzchniowej rąk obserwowano w ciągu pierwszych 5 minut po zabiegu, zarówno po naświetlaniu IR-A, -B, -C, jak i nadmuchu zimnym powietrzem o temperaturze ok. -30°C. W przypadku zabiegu ciepłego wartość temperatury w ciągu tego czasu pozostawała powyżej wartości wyjściowej, natomiast w przypadku krioterapii pozostawała poniżej wartości spoczynkowych.

Wstęp

Reumatoidalne zapalenie stawów (RZS) jest przewlekłą autoimmunologiczną, układową chorobą tkanki łącznej o nieznanym etiologii. Charakteryzuje się występowaniem niespecyficznych stanów zapalnych błony maziowej stawów, obecnością układowego zapalenia oraz powikłań narządowych [1, 2].

Uważa się, że u ok. 90% osób z RZS występują dolegliwości w obrębie stawów rąk i nadgarstka [3, 4]. Ból i postępująca deformacja rąk prowadzą do zmniejszenia ich zdolności manipulacyjnych, co pozostaje w ścisłej zależności z ograniczoną możliwością wykonywania czynności dnia codziennego i wpływa na obniżenie jakości życia tych chorych.

Leczenie RZS stanowi działanie kompleksowe [2], w którym obok farmakoterapii, jako leczenia podstawowego, ważną rolę odgrywają ćwiczenia ruchowe. W procesie usprawniania pacjentów z chorobami reumatycznymi wykorzystuje się wiele zabiegów z zakresu ciepłolecznictwa i krioterapii [5].

Fizjologiczne pożądane zmiany wywoływane w organizmie przez bodźce termiczne związane są ze zmianami zachodzącymi w obrębie mikrokrążenia [6]. Do korzystnych skutków leczenia ciepłem i zimnem zalicza się m.in. działanie przeciwbólowe [7] i zmniejszające napięcie mięśni [8, 9].

Z praktycznego punktu widzenia zabiegi krioterapeutyczne, ze względu na działanie przeciwzapalne, stosuje się przede wszystkim w ostrym okresie choroby [5]. Jeżeli poprzedzają one ćwiczenia kinezyterapeutyczne, należy brać pod uwagę działania niepożądane, takie jak indukowane lokalnym schładzaniem zmniejszenie sprawności ręki występujące w pierwszych minutach po zabiegu, które może prowadzić do jej urazów [10].

Stosowanie ciepła w okresie ostrym choroby jest obarczone ryzykiem nasilenia procesu zapalnego [6], dlatego wskazane jest ono tylko w okresie wolnym od zaostrzeń. Zabiegi ciepłolecznicze powodują zmniejszenie sztywności stawów towarzyszącej RZS [6] oraz wzrost rozciągliwości włókien kolagenowych [11], co ułatwia wykonywanie ćwiczeń. W okresie choroby wolnym od

Conclusions: Significant differences in hand surface temperature were observed only for 5 minutes after both IR-A, B, C radiation and -30°C cold air treatment. During heat therapy treatment, the temperature was above the baseline temperature, however during cryotherapy treatment it was below the baseline temperature.

zaostrzeń stosuje się zabiegi zarówno z zakresu ciepłolecznictwa, jak i krioterapii, uwzględniając nie tylko przeciwwskazania do ich stosowania, ale także preferencje pacjenta.

W dostępnym piśmiennictwie niewiele jest opisów badań dotyczących efektów termicznych (uzyskane zmiany temperatury oraz czas utrzymywania się korzystnych zmian w mikrokrążeniu) występujących w tkankach pod wpływem działania zabiegów zarówno ciepłoleczniczych, jak i krioterapeutycznych w obrębie ręki reumatoidalnej. Podjęto więc badania w celu określenia przebiegu dynamiki zmian temperatury po zastosowaniu powszechnie stosowanych u pacjentów z RZS zabiegów z zakresu termoterapii, w aspekcie zmian zachodzących w mikrokrążeniu podczas 120-minutowej obserwacji.

Materiał i metody

Badaniami objęto 27 osób, w wieku 57 ±7,9 roku, leczonych na oddziale reumatologicznym z rozpoznaniem RZS (wg kryteriów *American College of Rheumatology* z 1987 r. [12], obowiązujących w trakcie prowadzenia badań). Zakwalifikowano wyłącznie osoby, które po zapoznaniu się z procedurą badawczą wyraziły pisemną zgodę na uczestnictwo w badaniu, nie zakwalifikowano natomiast osób, u których występowały przeciwwskazania do zabiegów z zakresu termoterapii, oraz tych, które przyjmowały leki o znanym wpływie na mikrokrążenie. Na prowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.

Pacjenci zostali podzieleni na dwie grupy. W grupie I, liczącej 14 osób, wszyscy badani byli poddani naświetlaniu jednej ręki lampą podczerwieni. Obszar naświetlany stanowiła grzbietowa strona ręki. Do zabiegu, trwającego 15 minut, wykorzystano konwencjonalny promiennik podczerwieni Lumina (Astar – Polska), emitujący IR-A, -B, -C, z filtrem koloru czerwonego, ustawiony prostopadle w odległości 30 cm od powierzchni zabiegowej.

W grupie II, liczącej 13 osób, badani byli poddani zabiegowi nadmuchu zimnym powietrzem (-30°C) jednej ręki z odległości 4–6 cm. Czas trwania zabiegu wyno-

sił 3 minuty. Do zabiegu wykorzystano urządzenie Cryo 5 (Zimmer Elektromedizin – Niemcy). W obu grupach o wyborze ręki poddawanej zabiegowi decydował pacjent.

W dniu poprzedzającym badania poinstruowano wszystkich pacjentów o konieczności przestrzegania następującej procedury – w dniu badań, do chwili ich ukończenia, pacjentom nie wolno było: palić tytoniu, pić kawy ani stosować innych używek; nakładać jakichkolwiek maści na dłoń (ręce powinny być umyte i odtuszczone); podejmować intensywnego wysiłku fizycznego; korzystać z innych zabiegów fizykalnych; w ciągu 15 minut przed badaniem i pomiędzy kolejnymi pomiarami zaciskać pięści, rozcierać dłoni, trzymać rąk w kieszeni; w momencie przejścia z gabinetu zabiegowego do pomieszczenia diagnostycznego dotykać rękami jakichkolwiek przedmiotów (ręce powinny być zwieszane swobodnie wzdłuż ciała, palce rozłączone).

Analizy rozkładu temperatury dokonano na podstawie obserwacji zmian temperatury powierzchniowej obu rąk, do zapisu której użyto kamery termowizyjnej SC 640 firmy Flir (Szwecja). Obrazy termowizyjne rejestrowano, operując się na wytycznych *European Association of Thermology* [13].

U każdej badanej osoby wykonano 8 zdjęć termowizyjnych w określonych odstępach czasu: przed zabiegiem (pomiar 0), bezpośrednio po zabiegu (pomiar 1.), 5 minut (pomiar 2.), 15 minut (pomiar 3.), 30 minut (pomiar 4.), 45 minut (pomiar 5.), 60 minut (pomiar 6.) i 120 minut po zabiegu (pomiar 7.).

Wyniki przedstawiono w postaci wartości średnich i odchyłeń standardowych. Do oceny istotności różnic pomiędzy kolejnymi przyrostami wykorzystano test Friedmana. Jako istotne statystycznie przyjęto wartości $p < 0,05$.

Wyniki

Zmiany temperatury w grupie poddanej zabiegowi z zakresu ciepłolecznictwa rejestrowane w kolejnych przedziałach czasu względem pomiaru poprzedniego przedstawiono na rycinie 1.

W przypadku grupy poddawanej zabiegowi lampą IR średnia temperatura przed zabiegiem wynosiła $32,1 \pm 1,2^\circ\text{C}$. Istotny wzrost temperatury wykazano zaraz po zabiegu (pomiar 1.) (ryc. 1). W tym też punkcie pomiarowym uzyskano najwyższą temperaturę średnią $35,3 \pm 0,6^\circ\text{C}$. Istotne obniżenie temperatury nastąpiło w pierwszych 5 minutach po zabiegu (pomiar 2.). W kolejnych przedziałach czasu od 5. do 120. minuty po zabiegu (pomiar 2.–7.) nie wykazano istotnych różnic w przyrostach temperatur.

Zmiany temperatury w grupie poddanej zabiegowi krioterapii rejestrowane w kolejnych przedziałach czasu

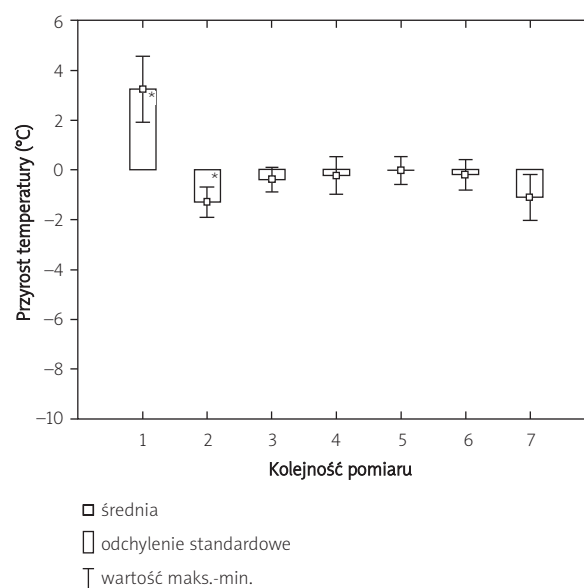
względem pomiaru poprzedniego przedstawiono na rycinie 2.

W przypadku grupy poddawanej zabiegowi kriostymulacji średnia temperatura przed zabiegiem (pomiar 0) wynosiła $30,4 \pm 2,2^\circ\text{C}$. Istotne obniżenie temperatury wykazano zaraz po zabiegu (pomiar 1.) (ryc. 2). W tym też punkcie pomiarowym uzyskano najniższą temperaturę średnią $24 \pm 3^\circ\text{C}$. Znaczący wzrost temperatury nastąpił w pierwszych 5 minutach po zabiegu (pomiar 2.). W kolejnych przedziałach czasu od 5. do 120. minuty po zabiegu (pomiar 2.–7.) nie wykazano istotnych różnic w przyrostach temperatur.

Dyskusja

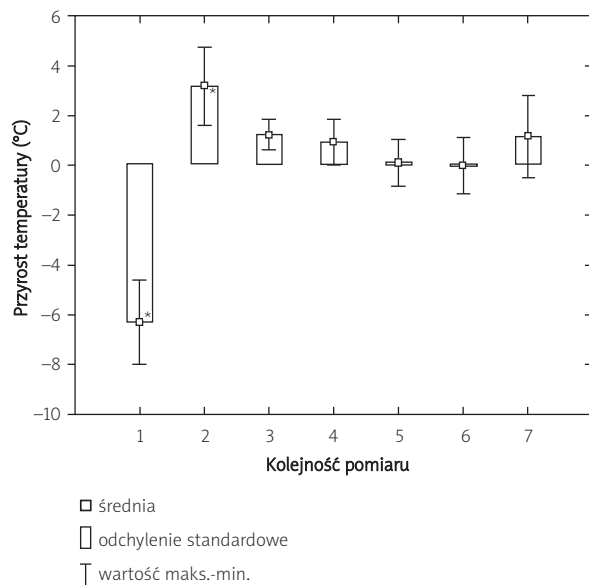
W badaniach analizowano rozkład temperatury powierzchniowej rąk jako wykładnika zmian w mikrokrążeniu po wybranych zabiegach z zakresu ciepłolecznictwa i krioterapii. Prowadzone przez różnych badaczy obserwacje dotyczące mechanizmu i dynamiki zmian zachodzących w lokalnym mikrokrążeniu potwierdzają, że korelują one z temperaturą powierzchniową skóry [14, 15].

W badaniach własnych wykazano, iż zarówno po zabiegu ciepłolecznicznym (naświetlanie promieniowaniem IR-A, -B, -C), jak i krioterapeutycznym (nadmuch zimnym powietrzem o temperaturze ok. -30°C) istotne



Ryc. 1. Średnie wartości przyrostów temperatur mierzone względem pomiaru poprzedniego w grupie poddanej naświetlaniu lampą IR; $*p < 0,05$.

Fig. 1. Average values of temperature increase measured with reference to the previous measurement in the group treated with IR radiator; $*p < 0.05$.



Ryc. 2. Średnie wartości przyrostów temperatur mierzone względem pomiaru poprzedniego w grupie poddanej kriostymulacji; * $p < 0,05$.

Fig. 2. Average values of temperature increase measured with reference to the previous measurement in the group treated with cryotherapy; * $p < 0.05$.

zmiany temperatury rąk występowały tylko w pierwszych 5 minutach po zabiegu.

W przypadku ciepłolecznictwa temperatura powierzchniowa skóry po zabiegu wzrastała ponad wartości wyjściowe, prawdopodobnie jako skutek działania bodźca fizycznego (wzbudzenie powstawania ciepła w tkankach) oraz wtórnego zwiększonego przepływu krwi przez rozszerzone naczynia krwionośne. Zmiany średnicy naczyń krwionośnych są zależne od aktywności autonomicznego układu nerwowego, który poprzez włókna nerwowe zaopatrujące pola receptorowe odpowiedzialne za odbieranie i rozpoznawanie impulsów termicznych informowany jest o zmianach temperatury skóry [16, 17]. Według Charkoudiana [18] w wyniku miejscowego podwyższenia temperatury dochodzi do rozszerzenia naczyń spowodowanego uwolnieniem przez nerwy czuciowe wielu neuropeptydów, które zwiększają produkcję tlenku azotu (NO) wydzielanego przez komórki śródbłonka.

Z dostępnego piśmiennictwa wynika, że zabieg z użyciem promieniowania podczerwonego należy do procedur łagodnie obciążających termicznie tkanki w porównaniu z innymi zabiegami ciepłolecznicznymi [19, 20], co potwierdzono w badaniach własnych, uzyskując maksymalny wzrost temperatury o 3,5°C.

Efekt biologiczny IR jest związany z jego absorpcją w różnych warstwach skóry i tkanki podskórnej zależną od długości fali użytego promieniowania. Zastosowanie promieniowania IR-A, -B, -C należy do zabiegów działających powierzchownie, głębokość wnikania wynosi ok. 1 mm [21] z uwagi na obecność pasma długofalowego (IR-C, a także IR-B), które absorbowane są w naskórku, co nierzadko powoduje uczucie nadmiernego ciepła, natomiast tylko pasmo IR-A (krótkofalowe) wnika głębiej, do tkanki podskórnej [22]. Zabiegi IR są polecane szczególnie w terapii przewlekłych procesów chorobowych, w tym chorób stawów [8], w których nie jest pożądane zwiększanie temperatury wewnątrzstawowej ze względu na wzrost aktywności enzymów powodujących degradację chrząstki stawowej [23].

Powyższe obserwacje mają istotne znaczenie praktyczne, szczególnie gdy zabieg wykonywany jest w celu dalszego ułatwienia wykonywania ćwiczeń kinezyterapeutycznych. W przypadku ciepłolecznictwa, jak wskazuje wielu autorów, ćwiczenia ruchowe rąk o małej intensywności powinno się wykonywać bezpośrednio po zabiegu, gdyż w tym czasie możliwe jest wykonywanie precyzyjnych ćwiczeń manualnych [6, 24], m.in. dzięki zwiększeniu elastyczności tkanek [11]. W praktyce klinicznej wzrost temperatury o 3–4°C, utrzymujący się co najmniej przez 5 minut, wydaje się bezpieczny i wystarczający do uzyskania tego efektu [11].

W przypadku krótkiego intensywnego nadmuchu powietrzem o temperaturze -30°C obserwowano początkowo obniżenie temperatury skóry ręki (średnio o 6,4°C) prawdopodobnie jako skutek działania bodźca fizycznego (odebranie ciepła z tkanek) oraz wtórnie w wyniku zwężenia naczyń krwionośnych w odpowiedzi na zimno. Za lokalne zmiany przepływu krwi odpowiedzialne są – podobnie jak w przypadku ciepła – złożone mechanizmy zachodzące w części współczulnej autonomicznego układu nerwowego, w śródbłonku naczyń i w termoreceptorach [25]. Pomimo pewnych różnic w wartościach temperatur, wyniki badań własnych stanowią potwierdzenie obserwacji innych badaczy, którzy stwierdzali intensywne obniżenie się temperatury po zabiegu chłodzącym [26, 27]. W czasie pierwszych 5 minut po oziębianiu widoczny jest natomiast maksymalny wzrost temperatury (średnio o 3,1°C), co sugeruje, iż reakcja mikrokrążenia mająca na celu podwyższenie temperatury tkanek jest uruchamiana bezpośrednio po zakończeniu działania bodźca termicznego i, co pokazały badania własne, w tym czasie prawdopodobnie przebiega najbardziej intensywnie.

Biorąc powyższe pod uwagę, wydawałoby się, że jest to optymalny moment do rozpoczęcia ćwiczeń, jednak – pamiętając, iż temperatura tkanek rąk pozostaje w tym czasie niższa od temperatury przed zabiegiem – należy

uwzględnić możliwość wystąpienia wielu działań niepożądanych, skutkujących zmniejszeniem wydajności ćwiczeń ruchowych i zręczności ręki, które mogą doprowadzić do urazów [10]. Zmiany te, występujące wraz z obniżaniem się temperatury tkanek, prawdopodobnie związane są ze zwężeniem naczyń i zmniejszeniem przepływu krwi w odpowiedzi na zimny bodziec [10], zmianą progu wrażliwości receptorów czuciowych [28, 29], zmniejszeniem szybkości przewodnictwa we włóknach nerwowych [10], zmianą temperatury mięśni [30] oraz wzrostem lepkości mazi stawowej [29].

Wnioski

1. Istotne zmiany temperatury powierzchniowej rąk obserwowano w ciągu pierwszych 5 minut po zabiegu, zarówno po naświetlaniu promieniowaniem IR-A, -B, -C, jak i nadmuchu zimnym powietrzem o temperaturze ok. -30°C , co może sugerować, iż w tym czasie następują największe zmiany związane z lokalnym przepływem krwi.
2. Prowadząc ćwiczenia ruchowe, należy brać pod uwagę, że w przypadku działania zabiegu cieplnego wartości temperatury powierzchniowej ręki utrzymują się w tym czasie powyżej jej temperatury wyjściowej, natomiast po zabiegu krioterapeutycznym temperatura ręki jest niższa od temperatury spoczynkowej.

Piśmiennictwo

1. Klareskog L, Catrina AI, Paget S. Rheumatoid arthritis. *Lancet* 2009; 373: 659-672.
2. Scott DL, Wolfe F, Huizinga TW. Rheumatoid arthritis. *Lancet* 2010; 376: 1094-1108.
3. McKenna F, Wright V. Pain and rheumatoid arthritis. *Ann Rheum Dis* 1985; 44: 805.
4. Stewart M. Researches into the effectiveness of physiotherapy in rheumatoid arthritis of the hand. *Physiotherapy* 1996; 82: 666-672.
5. Stucki G, Kroeling P. Physical therapy and rehabilitation in the management of rheumatic disorders. *Baillieres Best Pract Res Clin Rheumatol* 2000; 14: 751-771.
6. Bissell JH. Clinical perspectives therapeutic modalities in hand surgery. *J Hand Surg* 1999; 24A: 435-448.
7. Tepperman PS, Devlin M. The therapeutic use of local heat and cold. *Can Fam Physician* 1986; 32: 1110-1114.
8. Lehmann JF, Warren CG, Scham SM. Therapeutic heat and cold. *Clin Orthop Relat Res* 1974; 99: 207-245.
9. Nadler SF, Weingand K, Kruse RJ. The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician* 2004; 7: 395-399.
10. Havenith G, Heus R, Daanen HA. The hand in the cold, performance and risk. *Arctic Med Res* 1995; 54: 37-47.
11. Robertson VJ, Ward AR, Jung P. The effect of heat on tissue extensibility: a comparison of deep and superficial heating. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 819-825.
12. Arnett FC, Edworthy SM, Bloch DA, et al. The American Rheumatism Association 1987 revised criteria for the classification of rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 1988; 31: 315-324.
13. Ammer K. The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology Int* 2008; 18: 125-144.
14. Hirata K, Nagasaka T, Noda Y. Partitional measurement of capillary and arteriovenous anastomotic blood flow in the human finger by laser-Doppler-flowmeter. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988; 57: 616-621.
15. Fagrell B. Dynamics of skin microcirculation in humans. *J Cardiovasc Pharmacol* 1985; 7: 53-58.
16. Bonelli RM, Költringer P. Autonomic nervous function assessment using thermal reactivity of microcirculation. *Clin Neurophysiol* 2000; 111: 1880-1888.
17. Nomoto S, Shibata M, Iriki M, Riedel W. Role of afferent pathways of heat and cold in body temperature regulation. *Int J Biometeorol* 2004; 49: 67-85.
18. Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clin Proc* 2003; 78: 603-612.
19. Oosterveld FG, Rasker JJ. Treating arthritis with locally applied heat or cold. *Semin Arthritis Rheum* 1994; 24: 82-90.
20. Lehmann JF, Silverman DR, Baum BA, et al. Temperature distributions in the human thigh, produced by infrared, hot pack and microwave applications. *Arch Phys Med Rehabil* 1966; 47: 291-299.
21. Siems W, Bresgen N, Brenke R, et al. Pain and mobility improvement and MDA plasma levels in degenerative osteoarthritis, low-back pain, and rheumatoid arthritis after infrared A-irradiation. *Acta Biochim Pol* 2010; 57: 313-319.
22. Schieke SM, Schroeder P, Krutmann J. Cutaneous effects infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanism. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2003; 19: 228-234.
23. Harris ED Jr, McCroskery PA. The influence of temperature and fibril stability on degradation of cartilage collagen by rheumatoid synovial collagenase. *N Engl J Med* 1974; 290: 1-6.
24. Buljina AI, Taljanovic MS, Avdic DM, Hunter TB. Physical and exercise therapy for treatment of the rheumatoid hand. *Arthritis Rheum* 2001; 45: 392-397.
25. Johnson JM, Kellogg DL Jr. Local thermal control of the human cutaneous circulation. *J Appl Physiol* 2010; 109: 1229-1238.
26. Chesterton LS, Foster NE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2002; 83: 543-549.
27. Mouro L, Cluzeau C, Regnard J. Hyperbaric gaseous cryotherapy: effects on skin temperature and systemic vasoconstriction. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88: 1339-1343.
28. Morton R, Provins KA. Finger numbness after acute local exposure to cold. *J Appl Physiol* 1960; 15: 149-154.
29. Heus R, Daanen HA, Havenith G. Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. *Appl Ergon* 1995; 26: 5-13.
30. Davies CT, Mecrow IK, White MJ. Contractile properties of the human triceps surae with some observations on the effects of temperature and exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1982; 49: 255-269.