

Czynniki wpływające na zmiany właściwości reologicznych krwi – przegląd piśmiennictwa

Factors affecting changes in rheological properties of blood – literature review

Magdalena Kępińska¹, Zbigniew Szyguła², Zbigniew Dąbrowski³, Marta Szarek⁴

¹Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, Zakład Biochemii i Podstaw Kosmetologii

²Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, Zakład Medycyny Sportowej i Żywienia Człowieka

³Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, Pracownia Patologii Narządu Ruchu

⁴Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, Zakład Fizjologii i Biochemii

Streszczenie

Eryocyty dzięki dużej elastyczności oraz zdolności do tworzenia agregatów krwinkowych mogą przejść przez najmniejsze naczynia włosowate, zapewniając tym samym transport tlenu i dwutlenku węgla we wszystkich obszarach naczyniowych organizmu. Spadek odkształcalności erytrocytów może powodować zmniejszony przepływ krwi i tym samym być przyczyną wystąpienia wielu schorzeń. Wzrost lepkości krwi obserwuje się między innymi w cukrzycy, nadciśnieniu tętniczym, a także u osób otyłych oraz u osób starszych. Badania reologiczne krwi rozpatrywane łącznie ze wskaźnikami morfologicznymi i biochemicznymi krwi dostarczają cennych informacji o stanie zdrowia pacjenta. Każda zmiana w lepkości krwi i osocza powinna być monitorowana, gdyż może wskazywać na problemy zdrowotne. Celem pracy było przedstawienie na podstawie dostępnego piśmiennictwa naukowego wybranych czynników fizjologicznych wpływających na zmiany właściwości reologicznych krwi, między innymi takich jak: wysiłek fizyczny, zmiany temperatury czy masa ciała.

Summary

Erythrocytes have high elasticity and the ability to build blood aggregates, they can pass through the smallest capillaries, thus ensuring the transport of oxygen and carbon dioxide in all areas of the vascular system. A decrease in the deformability of erythrocytes may result in reduced blood flow and thereby the cause of many diseases. The increase in blood viscosity is observed, among others, in diabetes, hypertension, obesity and the elderly. Rheological studies of blood in conjunction with morphological and biochemical indices of blood provide valuable information about health of the patient. Any change in the viscosity of blood or plasma should be monitored, as this may indicate a health problem. The aim of the study was to present, based on the available scientific literature, physiological factors influencing changes in rheological properties of blood, for example: exercise, temperature and body weight.

Słowa kluczowe: reologia krwi, eryocyty, elongacja erytrocytów, agregacja erytrocytów

Key words: blood rheology, erythrocytes, elongation of erythrocytes, aggregation of erythrocytes

Wstęp

Reologia należy do wyspecjalizowanej części mechaniki płynów i dotyczy głównie substancji nienewtonowskich i lepkością. Ciecz newtonowska jest to ciecz, której lepkość przy określonej temperaturze i ciśnieniu jest niezależna od naprężenia ścinającego. Z kolei płyn nienewtonowski, do którego zalicza się między innymi krew, odznacza się niestałą lepkością, zależną od naprężeń ścinających. Oznacza to, że lepkość tej cieczy jest niższa, gdy jej przepływ jest szybszy [1, 2]. Reologia krwi określana także, jako hemoreologia, zajmuje się przepływem krwi oraz jej lepkością [3, 4]. Lepkość krwi w ramach danego naprężenia ścinającego jest zależna od wartości hematokrytu, lepkości osocza oraz od

właściwości reologicznych erytrocytów (elongacja i agregacja erytrocytów), które stanowią 99% elementów morfotycznych krwi. Białe krwinki krwi nie mają wpływu na płynność krwi ze względu na ich mniejszą liczbę [5-8].

W badaniach medycznych wykorzystuje się różne metody do oznaczania własności reologicznych krwi, są to między innymi Laserowo-optyczny rotacyjny analizator krwinek czerwonych – LORCA (*Laser-assisted Optical Rotational Cell Analyser*) [8, 9], spektroskopia Ramana [10, 11] czy mikroskop sił atomowych ATM [12, 13].

Ze względu na obszerność podjętej tematyki, w pracy omówiono wybrane czynniki fizjologiczne powodujące zaburzenia hemore-

ologiczne krwi, takie jak: wysięk fizyczny, wiek pacjenta, temperatura i masa ciała.

Własności reologiczne krwi

Z badań przeprowadzonych w latach 1929-1931 przez Fahraeusa i Lindqvista wynika, że lepkość krwi zmniejsza się przy zwężeniu się średnicy naczynia. Eryocyty gromadzą się osiowo w środku strumienia krwi, natomiast na obwodzie znajduje się osocze. Warstwa krwi pozbawiona krwinek czerwonych rozszerza się, gdy średnica naczynia maleje. Zjawisko to było obserwowane w rurkach o średnicy mniejszej niż 300 μm i uzależnione jest od osoczowej strefy przyściennej, odkształcalności erytrocytów oraz stopnia agregacji krwinek [8, 14].

Lepkość określana jest jako wewnętrzny opór przepływu lub też w znaczeniu odwrotnym jako zdolność do przepływu. Jeśli krew rozpatrywana będzie, jako składnik dwóch równoległych warstw, to lepkość może być także określana przez tarcie dwóch sąsiednich warstw względem siebie. W środku tarcie jest mniejsze, a warstwy w wyniku parabolicznego profilu przepływu, przesuwały się szybciej niż te znajdujące się przy nieruchomej ścianie naczynia [15]. Podczas przepływu, warstwy cieczy przemieszczają się równolegle względem siebie w różnym tempie. Pomiędzy tymi warstwami powstaje gradient prędkości, określany jako szybkość ścinania (ang. *shear rate*). Gradient prędkości jako wynik oddziaływania siły tarcia jest największy w pobliżu ściany naczynia. Siła potrzebna do wytworzenia gradientu prędkości, inaczej siła poruszająca warstwy cieczy określana jest jako naprężenie ścinające. Tak więc lepkość (η) określana jest jako relacja naprężenia ścinającego (τ) do szybkości ścinania ($\dot{\gamma}$) [1, 5, 8, 16].

Eryocyty posiadają specyficzne właściwości mechaniczne, takie jak odkształcalność oraz oporność osmotyczną i mechaniczną, które są ważnymi wyznacznikami ich funkcji hemodynamicznej i przetrwania w krwiobiegu [17]. Lepkosprężyste zachowanie erytrocytów można zauważyć, kiedy krwinka wydłuża się, a następnie powraca do pierwotnego kształtu. Dzieje się tak, ponieważ cytoplazma jest cieczą zdolną do odzyskiwania oryginalnego kształtu, po ustaniu działających sił, a także w wyniku magazynowania energii sprężystej w błonie erytrocytu. Możliwość krwinek czerwonych do zmiany kształtu zależy od lepkości cytoplazmy, która określona jest przez wewnątrzkomórkowe stężenie hemoglobiny [18, 19].

Na odkształcalność erytrocytów mają wpływ geometria i rozmiar mikronaczyń, mechaniczne właściwości błony komórkowej krwinki i jej cytoszkieletu oraz lepkość wewnątrzkomórkowa. Zmiany w odkształcalności erytrocytów wpływają z kolei na lepkość krwi. Wysoka lepkość krwi, szczególnie przy niskich siłach ścinania (ang. *shear stress*) wynika częściowo ze zwiększonej agregacji erytrocytów. Z kolei przy wysokich siłach ścinania wysoka lepkość krwi jest głównie spowodowana zmniejszeniem odkształcalności erytrocytów. Zmniejszenie odkształcalności czerwonych krwinek krwi jest istotnym wyznacznikiem zaburzenia perfuzji, wzrostu lepkości krwi, niedokrwienia oraz niedrożności naczyń włosowatych, a także może doprowadzić do ograniczenia dotlenienia narządów i upośledzać ich fizjologiczne funkcje [20, 21, 22].

Agregacja jest to naturalny, odwracalny proces fizjolo-

giczny, polegający na formowaniu się tzw. rulonów czy agregatów, przypominających stos monet. Powstawanie i rozpad rulonów podlega działającym siłom ścinania. Agregaty krwinkowe obserwowane są w wielu stanach zarówno fizjologicznych jak i patofizjologicznych, na przykład w anemii sierpowatej, niewydolności nerek czy w cukrzycy. Agregacja może mieć także wartość prognostyczną w chorobach niedokrwienych, w których wzrost agregacji erytrocytów jest związany z niepomyślnym przebiegiem choroby [23-28].

Czynniki mające wpływ na tworzenie się agregatów krwinkowych dzielą się na dwie grupy. Pierwsza grupa to czynniki zewnętrzne, do których zalicza się poziom białek osocza (fibrynogen, lipoproteiny, makroglobuliny, immunoglobuliny), siły ścinania oraz hematokryt. Drugą grupę stanowią czynniki wewnętrzne, takie jak kształt erytrocytów, ich odkształcalność oraz właściwości powierzchni błony komórkowej [29]. Zauważono, że duże białka krwi lub specyficzne konfiguracje białek, takich jak fibrynogen, alfa₂-makroglobuliny czy immunoglobuliny przylegają do ujemnie naładowanych powierzchni erytrocytów. Kiedy takie połączenia staną się wystarczająco duże, mogą jednocześnie przylegać do sąsiadujących ze sobą powierzchni krwinek czerwonych i tworzyć z nimi łańcuch. Wzrost koncentracji takich połączeń prowadzi do zwiększenia agregacji erytrocytów [30, 31].

Tworzeniu agregatów krwinkowych sprzyja również poziom fibrynogenu i hematokrytu oraz kwasica i niedotlenienie tkanek. Zwiększona masa czerwonych krwinek krwi lub zmniejszenie objętości osocza, prowadzą głównie do zwiększenia wartości hematokrytu, co w konsekwencji przyczynia się do wzrostu lepkości krwi. Zaobserwowano wyraźny wzrost lepkości krwi przy hematokrycie wynoszącym ponad 50%. Podobną zależność obserwuje się przy dużym stężeniu fibrynogenu, co prowadzi do nasilonej agregacji krwinek, wzrostu lepkości osocza oraz oporu w mikrokrażeniu [32-35].

Zgodnie z prawem Poiseuille'a zaburzenia reologiczne krwi objawiają się głównie w mikrokrażeniu, gdzie światło naczyń jest minimalne. Wśród różnych czynników hemoreologicznych powodujących takie zaburzenia, agregacja erytrocytów jest z pewnością czynnikiem najważniejszym, ponieważ powoduje spowolnienie przepływu krwi w mikronaczeniach, aż do jej pełnego zatrzymania, pomimo zachowanego gradientu ciśnień w naczyniach włosowatych [36, 37].

Czynniki fizjologiczne wpływające na właściwości reologiczne krwi

Spadek odkształcalności erytrocytów, wzrost lepkości krwi oraz wzrost poziomu fibrynogenu obserwuje się między innymi u osób starszych. Te niekorzystne zmiany są przyczyną zmniejszenia przepływu krwi przez naczynia krwionośne i mogą nasilać wystąpienie chorób sercowo-naczyniowych [22]. U osób starszych występują także różnice w zakresie aktywności niektórych enzymów antyoksydacyjnych w krwinkach czerwonych. Jak podają Olędzki i Harasym [38] w erytrocytach, zarówno w młodych, jak i starszych krwinkach osób starszych występuje obniżona aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (ZnCuSOD). Natomiast w młodych krwinkach czerwonych osób starszych zaobserwowano obniżoną

aktywność katalazy (CAT) oraz zwiększoną zawartość dialdehydu malonowego (MDA) w starych erytrocytach w tej samej grupie wiekowej [38].

Intensywny wysiłek fizyczny to kolejny czynnik, który powoduje szereg zmian we właściwościach reologicznych krwi. Bilski i wsp. [39] podają, że po wysiłku fizycznym wzrasta lepkość krwi, której towarzyszy wzrost hematokrytu, spadek odkształcalności erytrocytów oraz wzrost agregacji krwinek czerwonych. Dodatkowo posiłek spożyty po ćwiczeniach powoduje dalsze obniżenie odkształcalności krwinek oraz zwiększenie sztywności błony komórkowej erytrocytów. Autorzy zwracają uwagę, że powyższe zmiany hemoreologiczne nie powinny osłabiać funkcji układu krążenia u zdrowych, wysportowanych osób, ale mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia w różnych stanach patofizjologicznych [39].

Zauważono, że lepkość krwi u osób zdrowych wzrasta zarówno po długotrwałym, jak i po krótkotrwałym wysiłku fizycznym, a także po wysiłku submaksymalnym i maksymalnym. Zmiany te skorelowane są głównie ze wzrostem lepkości osocza i z poziomem hematokrytu [40, 41]. Okazuje się również, że wiek nie ma istotnego wpływu na poziom zmian lepkości krwi po wysiłku fizycznym [42]. Według Harrisona [43] pozycja ciała w czasie wykonywania ćwiczeń fizycznych także może zmieniać właściwości reologiczne krwi. Zwiększenie hemokoncentracji, a tym samym spadek objętości osocza występuje podczas wykonywania ćwiczeń w pozycji stojącej lub siedzącej oraz przy zmianie pozycji z siedzącej na stojącą [43]. Do zagęszczania krwi przyczynia się także odwodnienie organizmu. Utrata wody przez erytrocyty ma ścisły związek z ich odkształcalnością i agregacją. Długotrwałe odwodnienie powoduje destabilizację błony komórkowej erytrocytu i zwiększa jej sztywność. Zatem odpowiednie nawodnienie organizmu w trakcie, jak i po wysiłku fizycznym powinno być silnie promowane w celu zmniejszenia nadmiernej lepkości krwi [44, 45].

Zwiększenie agregacji erytrocytów obserwuje się również podczas obniżenia temperatury kończyn, co między innymi ułatwia powstanie odmrożeń [3]. Cinar i wsp. [46] także podają, że spadek temperatury wpływa na wzrost lepkości krwi. Warto zauważyć, że zabiegi z zastosowaniem niskich temperatur (krioterapia ogólnoustrojowa) czy kąpiel w zimnej wodzie powodują również zmiany w hemoreologii krwi. Teległów i wsp. [47] porównując grupę pływaków zimowych z grupą poddaną zabiegom krioterapii ogólnoustrojowej podają, że dwumiesięczne zabiegi kąpeli w zimnej wodzie wpływają na znaczną redukcję fibrynogenu w osoczu w porównaniu z poziomem wyjściowym. Z kolei po tym samym czasie w grupie poddanej krioterapii ogólnoustrojowej stężenia fibrynogenu w osoczu były znacznie wyższe niż przed eksperymentem. Inne badania Teległów i wsp. z zastosowaniem dziesięciu zabiegów krioterapii ogólnoustrojowej pokazują natomiast wzrost elongacji erytrocytów przy *shear stress* od 0,30 Pa do 0,58 Pa po zabiegach, przy równoczesnym spadku indeksu agregacji. W podanych badaniach nie odnotowano istotnych zmian w poziomie połowicznego czasu całkowitej agregacji, w stopniu całkowitej agregacji oraz w lepkości osocza krwi i fibrynogenu [48].

Jak podają Tripolino i wsp. [49] istnieje także zależność między lepkością krwi, a masą ciała. W badaniach autorów zauważono sil-

ną korelację wskaźnika LAP (*lipid accumulation product*), markera ryzyka chorób sercowo-naczyniowego z lepkością krwi. Podobne wyniki prezentuje Guiraudou i wsp. podając, że otluszczenie ciała wpływa na zwiększenie agregacji erytrocytów [50]. Autorzy podają również, że tkanka tłuszczowa w jamie brzusznej jest czynnikiem powodującym wzrost lepkości krwi poprzez wzrost hematokrytu. Natomiast wskaźnik masy ciała BMI (*Body Mass Index*) ma związek ze zwiększoną lepkością osocza i sztywnością błony erytrocytów. Właściwości reologiczne krwi zmieniają się również w różnych stanach chorobowych, takich jak na przykład: choroba sercowo-naczyniowa, cukrzyca, sepsa, choroby hematologiczne, stwardnienie rozsiane czy niedokrwienny udar mózgu [5, 15, 51, 52]. Badania reologiczne krwi rozpatrywane łącznie ze wskaźnikami morfologicznymi i biochemicznymi krwi dostarczają cennych informacji o stanie zdrowia pacjenta. Każda zmiana w lepkości krwi i osocza powinna być monitorowana, gdyż może wskazywać na problemy zdrowotne. Warto dodać także, że na terenie naszego kraju występują nieliczne laboratoria dysponujące aparaturą reologiczną i w przypadkach konieczności rozszerzenia badań diagnostycznych, a zwłaszcza przy pewnych wątpliwościach postawienia diagnozy schorzenia, możemy polecić ich uzupełnienie o badania reologiczne.

Piśmiennictwo

1. Stuart J, Kenny MW. Blood rheology. *J Clin Pathol* 1980; 33: 417-429.
2. Merrill E.W. Rheology of Blood. *Physiol. Rev* 1969; 49: 863-888.
3. Dąbrowski Z. Hemoreologia. *Diagn Lab* 2010; 46: 365-369.
4. Mokken FCh, Kedaria M, Henny ChP, et al. The clinical importance of erythrocyte deformability, a hemorrheological parameter. *Ann Hematol* 1992; 64: 113-22.
5. Baskurt OK. Pathophysiological Significance of Blood Rheology. *Turk J Med Sci* 2003; 33: 347-355.
6. Kowal P, Niśkiewicz I, Marcinkowska-Gapińska A. Badania hemoreologiczne w wybranych chorobach neurologicznych. *Neuroskop* 2011; 13: 128-132.
7. Pearson TC. Hemorrheology in the erythrocytoses. *Mt Sinai J Med* 2001; 68: 182-191.
8. Hardeman MR, Dobbe JGC, Ince C. The lasser – assisted optical rotational cell analyzer (LORCA) as red blood cell aggregometer. *Clin Hemorheol* 2001; 25:1-11.
9. Hardeman MR, Goedhart PT, Dobbe JGC, Lettinga KP. Lasser-assisted optical rotational cell analyser (LORCA), A new instrument for measurement of various structural hemorrheological parameters. *Clin. Hemorheol* 1994; 14:605-618.
10. Nykiel P. Spektroskopia ramana: nowoczesna technika w diagnostyce medycznej i analizie biochemicznej. *Biul. Wydz. Farm. WUM*, 2013; 4: 27-36.
11. Ember KJL, Hoeve MA, McAughtrie SL, et al. Raman spectroscopy and regenerative medicine: a review. *NPJ Regen Med* 2017; 2: 12. doi: 10.1038/s41536-017-0014-3.
12. Zemla J, Danilkiewicz J, Orzechowska B, et al. Atomic force microscopy as a tool for assessing the cellular elasticity and adhesiveness to identify cancer cells and tissues. *Review Article. Semin Cell Dev Biol* 2018; 73: 115-124.
13. Loyola-Leyva A, Loyola-Rodríguez JP, Atzori M, González FJ. Morphological changes in erythrocytes of people with type 2 diabetes mellitus evaluated with atomic force microscopy: A brief review. *Micron* 2018; 105: 11-17. doi: 10.1016/j.micron.2017.11.001.
14. Libionka A, Figiel W, Maga P, et al. Lepkość krwi w chorobach układu krążenia ze szczególnym uwzględnieniem kardiologicznego zespołu X. *Folia Cardiologica* 2005; 12: 465-470.
15. Kowal P, Modestowicz R. Wpływ niskich wartości naprężenia ścinającego na odkształcalność krwinek czerwonych w przewlekłym niedokrwieniu mózgu. *Neuroskop* 2003; 1: 112-115.
16. Brunc JF, Varlet-Mariea E, Connesb P, Aloulouc I. Hemorrheological alterations related to training and overtraining. *Biorheology* 2010; 47: 95-115.
17. Hochmuth R M, Worthy P R, Evans E A. Red cell extensional recovery and the determination of membrane viscosity. *Biophys J* 1979; 26: 101-114.

18. Mohandas N, Gallagher PG. Red cell membrane: past, present, and future. *Blood* 2008; 112: 3939-3948.
19. Langenfeld JE, Machiedo GW, Lyons M, et al. Correlation between red blood cell deformability and changes in hemodynamic function. *Surgery* 1994; 116(5): 859-867.
20. Viallat A, Abkarian M. Red blood cell: from its mechanics to its motion in shear flow. *Int Jnl Lab Hem* 2014; 36: 237-243.
21. Yaginuma T, Oliveira MSN, Lima R, et al. Human red blood cell behavior under homogeneous extensional flow in a hyperbolic-shaped microchannel. *Biomicrofluidics* 2013; 7: 054110, doi: 10.1063/1.4820414.
22. Marchewka A, Filar-Mierzwa K, Teległów A. Właściwości reologiczne krwi a wysiłek fizyczny w procesie starzenia. *Rehabil Med* 2009; 13: 29-32.
23. Cloutier G, Qin Z, Durand LG, Beng Ghee Teh. Power Doppler ultrasound evaluation of the shear rate and shear stress dependences of red blood cell aggregation. *IEEE Trans Biomed Eng* 1996; 43: 441-450.
24. Sherwood JM, Dusting J, Kaliviotis E, Balabani S. The effect of red blood cell aggregation on velocity and cell-depleted layer characteristics of blood in a bifurcating microchannel. *Biomicrofluidics* 2012; 6: 024119. doi: 10.1063/1.4717755.
25. Simmonds JM, Meiselman HJ, Baskurt OK. Blood rheology and aging. *J Geriatr Cardiol* 2013; 10: 291-301.
26. Pietrzycka A, Słoczyńska K, Teległów A, et al. Aggregation and elongation indices of erythrocytes of patients with chronic renal insufficiency relate to antioxidant capacity FRAP and CAT/SOD Ratio values. *Nefrol Dial Pol* 2010; 14: 22-26.
27. Qin Z, Durand LG, Allard L, Cloutier G. Effects of a sudden flow reduction on red blood cell rouleau formation and orientation using RF backscattered power. *Ultrasound Med Biol* 1998; 24: 503-511.
28. Saldanha C, Loureiro J, Moreira C, MartinseSilva J. Behaviour of human erythrocyte aggregation in presence of autologous lipoproteins. *Biochem Res Int* 2012. doi:10.1155/2012/261736.
29. Meiselman H J, Neu B, Rampling MW, Baskurt OK. RBC aggregation: Laboratory data and models. *Indian J Exp Biol* 2007; 45: 9-17.
30. Reinhart WH, Singh A, Straub PW. Red blood cell aggregation and sedimentation: the role of the cell shape. *Br J Haematol* 1989; 73: 551-556.
31. Marcinkowska-Gapińska A, Kowal P. Podstawy i znaczenie hemoreologii. *Neuroskop* 2007; 7: 176-182.
32. Marton Z, Kesmarky G, Vekasi J, et al. Red blood cell aggregation measurements in whole blood and in fibrinogen solutions by different methods. *Clin Hemorheol Microcirc* 2001; 24: 75-83.
33. Simmonds JM, Meiselman HJ, Baskurt OK. Blood rheology and aging. *J Geriatr Cardiol* 2013; 10: 291-301.
34. Wasilewski J, Poloński L. Znaczenie fibrynogenu i właściwości reologicznych krwi w miażdżycy i chorobie wieńcowej. *Chor Serca Naczyń* 2010; 7: 62-71.
35. Mchedlishvili G. Red blood cell aggregability in blood. Criteria for scoring the techniques. *Clin Hemorheol Microcirc* 1998; 19: 161-162.
36. Muravyov A, Tikhomirova I. Signaling pathways regulating red blood cell aggregation. *Biorheology* 2014; 51: 135-145.
37. Dąbrowski Z. Reologiczne właściwości krwi, rozdział XIII w *Fizjologia krwi. Wybrane zagadnienia* T. 2. pod redakcją Z. Dąbrowskiego. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000; p.302-303.
38. Olędzki R, Harasym J. Zmiany aktywności dysmutazy nadadtlenkowej i katalazy w zróżnicowanych wiekowo krwinkach czerwonych u osób starszych. *Probl Hig Epidemiol* 2017; 98: 89-98.
39. Bilski J, Teległów A, Pokorski J, et al. Marchewka J. Effects of a meal on the hemorheologic responses to exercise in young males. *Biochem Res Int* 2014. doi.org/10.1155/2014/862968.
40. Ikeda N, Yasu T, Tsuboi K, et al. Effects of submaximal exercise on blood rheology and sympathetic nerve activity. *Circ J* 2010; 74: 730-734.
41. Brun JF. Hormones, metabolism and body composition as major determinants of blood rheology: potential pathophysiological meaning. *Clin Hemorheol Microcirc* 2002; 26:63-79
42. Ahmadizad S, Moradia A, Nikookheslatb S, et al. Effects of age on hemorheological responses to acute endurance exercise. *Clin Hemorheol Microcirc* 2011; 49: 165-174.
43. Harrison MH. Effects on thermal stress and exercise on blood volume in humans. *Physiol Rev* 1985; 65: 149-209.
44. Tikhomirova IA. The effect of dehydration on macro- and microrheological blood properties. *Clin Hemorheol Microcirc* 2002; 26: 85-90.
45. Tripette J, Alexy T, Hardy-Dessources MD, et al. Red blood cell aggregation, aggregate strength and oxygen transport potential of blood are abnormal in both homozygous sickle cell anemia and sickle-hemoglobin C disease. *Acta Haematol* 2009; 94:1060-1065.
46. Cinar Y, Senyol AM, Duman K. Blood viscosity and blood pressure: role of temperature and hyperglycemia. *Am J Hypertens* 2001;14:433-438.
47. Teległów A, Dąbrowski Z, Marchewka A, et al. Effects of winter swimming and whole body cryotherapy on the hematological and rheological properties of blood in regular winter swimmers and individuals exposed to whole-body cryotherapy. *Med Sport* 2014;18:52-57.
48. Teległów A., Ptaszek B., Marchewka J, et al. Impact of systemic cryotherapy on the rheological properties of the blood in healthy young males. *JKES* 2014; 68:39-46.
49. Tripolino C, Irace C, Carallo C, et al.. Body fat and blood rheology: Evaluation of the association between different adiposity indices and blood viscosity. *Clin Hemorheol Microcirc* 2017; 65:2 41-248. doi: 10.3233/CH-16172.
50. Guiraudou M, Varlet-Marie E, Raynaud de Mauverger E, Brun JF. Obesity-related increase in whole blood viscosity includes different profiles according to fat localization. *Clin Hemorheol Microcirc* 2013; 55: 63-73, doi: 10.3233/CH-131690.
51. Kowal P, Niśkiewicz I, Marcinkowska-Gapińska A. Właściwości reologiczne krwi u pacjentów ze stwardnieniem rozsianym. *Neuroskop* 2011;13:124-127
52. Kowal P, Marcinkowska-Gapińska A. Wstępna analiza porównawcza własności hemorologicznych w grupie chorych na stwardnienie rozsiane i chorych z ostrym niedokrwieniem mózgu. *Neuroskop* 2006;8: 137-139.

Autor do korespondencji:

dr Magdalena Kępińska
Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie
Zakład Biochemii i Podstaw Kosmetologii
31-571 Kraków, Al. Jana Pawła II 78
e-mail: magdalena.kepinska@awf.krakow.pl
tel. +48 12 6831164

Otrzymano: 04.07.2017
Akceptacja do druku: 31.11.2017

Konflikt interesów: nie zgłoszono