

Mrozkowiak Mirosław. Zmiany wybranych wskaźników i cech gazometrii krwi w okresie fizjologicznej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym mężczyzny w 6 dekadzie życia. Opis przypadku = Changes in selected indicators and characteristics of blood gases during the period of physiological restitution after exercise endurance man in the 6 decade of life. A case report. Journal of Education, Health and Sport. 2015;5(7):489-506. ISSN 2391-8306. DOI [10.5281/zenodo.21437](https://doi.org/10.5281/zenodo.21437)
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/2015%3B5%287%29%3A489-506>
<https://pbn.nauka.gov.pl/works/594545>
<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.21437>
Formerly Journal of Health Sciences. ISSN 1429-9623 / 2300-665X. Archives 2011–2014
<http://journal.rsw.edu.pl/index.php/JHS/issue/archive>

Deklaracja.

Specyfika i zawartość merytoryczna czasopisma nie ulega zmianie.
Zgodnie z informacją MNiSW z dnia 2 czerwca 2014 r., że w roku 2014 nie będzie przeprowadzana ocena czasopism naukowych; czasopismo o zmienionym tytule otrzymuje tyle samo punktów co na wykazie czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r.

The journal has had 5 points in Ministry of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Part B item 1089. (31.12.2014).

© The Author (s) 2015;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland and Radom University in Radom, Poland
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.
Received: 20.06.2015. Revised 15.07.2015. Accepted: 25.07.2015.

Zmiany wybranych wskaźników i cech gazometrii krwi w okresie fizjologicznej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym mężczyzny w 6 dekadzie życia. Opis przypadku

Changes in selected indicators and characteristics of blood gases during the period of physiological restitution after exercise endurance man in the 6 decade of life. A case report

Mirosław Mrozkowiak

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Instytut Kultury Fizycznej Zdrowia i Turystyki, ul. Ogińskiego 16, Bydgoszcz

Słowa kluczowe: wysiłek wytrzymałościowy, wczesna i późna samoistna restytucja.
Keywords: exercise endurance, early and late spontaneous restitution.

Streszczenie

Wprowadzenie.

Wypoczynek rozumieniu fizjologicznym jest dynamicznie zmiennym stanem ustroju, następującym bezpośrednio po zakończeniu bądź też zmniejszeniu intensywności wysiłku fizycznego lub umysłowego. W tym okresie dominują procesy asymilacyjne nad dysymilacyjnymi. Spadek wydolności fizycznej w starszym wieku należy tłumaczyć pogorszeniem stopnia perfuzji mięśni podczas wysiłku. Jego przyczyn należy upatrywać w anatomicznych zmianach zachodzących zarówno w mięśniu sercowym, jak i w naczyniach krwionośnych.

Celem pracy jest wykazanie zmian wybranych wskaźników i cech gazometrii krwi w okresie fizjologicznej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym u mężczyzny w 6 dekadzie życia.

Materiał i metody. Badany mężczyzna realizujący zdrowy styl życia poddał się oznaczeniu wybranych wskaźników krwi po wysiłku wytrzymałościowym w czasie restytucji samoistnej: pH, PCO₂, PO₂, BB, BE, BE_{art}, cHCO₃, SO₂(c).

Uzyskane wyniki. Pozytywne wyniki zaobserwowano w większości mierzonych wskaźników i cech gazometrii krwi. Przy czym różnie prezentowała się ich konfiguracja w trakcie 5 dniowego cyklu pomiarowego. Najbardziej pozytywne zmiany zaobserwowano w wielkości: BB, BE, PCO₂.

Wnioski

1. W okresie wczesnej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym u 61 letniego mężczyzny normalizacji ulega: ciśnienie skurczowe i rozkurczowe krwi, tętno, ciśnienie parcjale dwutlenku węgla, zasady buforujące osocze, stan zasad (nadmiar / niedobór). W okresie restytucji późnej: saturacja tlenowa, ciśnienie parcjale tlenu.
2. Należy przyjąć, że wskaźnik aktualnego nadmiaru zasad i stężenia jonów wodorowęglanowych wymaga dłuższego okresu normalizacji niż 54 godzina restytucji późnej.

Abstract

Introduction.

Rest meaning is dynamically variable physiological state of the body, immediately following the completion or reducing the intensity of physical or mental. During this period, dominated by the processes of assimilation over dissimulation. The decline of physical performance in older extent be explained by the deterioration of muscle perfusion during exercise. Its causes should be sought in anatomical changes occurring both in the myocardium, as well as blood vessels.

The aim of the study is to demonstrate the changes in selected indicators and characteristics of blood gases during the period of physiological restitution after exercise endurance for a man in 6 decade of life.

Materials and methods. Tested man pursuing a healthy lifestyle surrendered to the designation of selected indicators of blood after exercise endurance during spontaneous restitution pH, PCO₂, PO₂, BB, BE, BE_{art}, CHCO₃, SO₂(c).

Obtained results. Positive results were observed in most measured rates and characteristics of blood gases. At the same time differently they presented their configuration during the 5-day measurement cycle. The most positive changes were observed in the size of BB, BE, PCO₂.

Conclusions

1. During the early restitution after exercise endurance in a 61 year old male normalization is: systolic and diastolic arterial blood pressure, heart rate, the partial pressure of carbon dioxide, the principle of buffering plasma, state principles (excess / deficiency). In the late restitution: oxygen saturation, partial pressure of oxygen.

2. It is assumed that the current rate of excess bases and bicarbonate ion concentration requires a longer period of normalization than 54 hours restitution of late.

Wprowadzenie

Typowe wielkości maksymalnego poboru tlenu ($\dot{V}O_{2max}$) u osób w wieku 20–25 lat wynoszą: 32–45 ml $\times$ kg masy ciała⁻¹ $\times$ min⁻¹ u kobiet oraz 45–55 ml $\times$ kg masy ciała⁻¹ $\times$ min⁻¹ u mężczyzn. Najniższe wartości $\dot{V}O_{2max}$ rejestruje się u pacjentów z zaawansowaną niewydolnością krążeniowo-oddechową oraz u osób w starszym wieku. Uważa się, że wartość $\dot{V}O_{2max}$ umożliwiającą pełną niezależność lokomocyjną człowieka wynosi ok. 15 ml $\times$ kg masy ciała⁻¹ $\times$ min⁻¹. Po przekroczeniu 20 roku życia maksymalny pobór tlenu zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn maleje. Robinson w pionierskich badaniach przeprowadzonych w latach 30. XX wieku wykazał, że maksymalny pobór tlenu u osób aktywnych fizycznie między 25. a 75. rokiem życia wyrażony w ml $\times$ kg masy ciała⁻¹ $\times$ min⁻¹ spada średnio o 1% na rok, tj. o 10% na dekadę [1]. Wyniki badań Robinsona uzyskały potwierdzenie w pracach Dehna i Bruce'a, którzy na podstawie analizy wyników 17 longitudinalnych badań z udziałem 700 osób w wieku od 10 do 90 lat wykazali również, że maksymalny pobór tlenu spada wraz z wiekiem w tempie ok. 10% na dekadę [2]. Szacując maksymalny pobór tlenu osób w starszym wieku, należy pamiętać, że jego spadek w wyniku procesu starzenia się nie jest stały u wszystkich tych osób. U osób prowadzących siedzący tryb życia tempo spadku $\dot{V}O_{2max}$ w relacji do wieku jest znacznie szybsze niż u osób aktywnych fizycznie. U sportowców kontynuujących trening wytrzymałościowy obserwowano spadek $\dot{V}O_{2max}$ w tempie zaledwie 5–6% na dekadę, natomiast zawodnicy, którzy drastycznie ograniczyli lub zaprzestali uprawiania treningów wytrzymałościowych

tracili ok. 15% $\dot{V}O_2\text{max}$ na dekadę [1]. Istnieje wiele przyczyn spadku $\dot{V}O_2\text{max}$ w procesie starzenia się [3]. Według Cobba i wsp. [4] spadek wydolności fizycznej w starszym wieku należy tłumaczyć pogorszeniem stopnia perfuzji mięśni podczas wysiłku. Jego przyczyn należy upatrywać w anatomicznych zmianach zachodzących zarówno w mięśniu sercowym, jak i w naczyniach krwionośnych. Zmiany te w większym stopniu upośledzają funkcję rozkurczową niż funkcję skurczową komór serca. W wyniku anatomicznych zmian w układzie krążenia spada objętość wyrzutowa i frakcja wyrzutowa serca w czasie wysiłku fizycznego. Ponadto na skutek reakcji autonomicznego układu nerwowego dochodzi do zmniejszenia się maksymalnej częstości skurczów serca, co powoduje stopniowy spadek maksymalnej pojemności minutowej serca. Według Jethon'a [1] istotny udział w spadku $\dot{V}O_2\text{max}$ u osób w starszym wieku może mieć spadek zdolności śródbłonna naczyniowego do uwalniania tlenu azotu i prostacykliny, skutkujący zarówno redukcją przepływu krwi przez mięśnie w czasie wysiłku, jak i spadkiem pojemności minutowej serca. Silny wpływ na spadek $\dot{V}O_2\text{max}$ w wyniku procesu starzenia się mogą mieć również takie czynniki, jak spadek efektywności wymiany gazowej na poziomie płuc, zmniejszenie masy mięśniowej, spadek liczby mitochondriów w mięśniach oraz spadek „pojemności” fosforylacji oksydacyjnej dla produkcji ATP w mięśniach. Coraz częściej czynnikiem istotnie obniżającym relatywne wielkości $\dot{V}O_2\text{max}$ w populacji polskiej staje się przyrost masy ciała wywołany wzrostem masy tkanki tłuszczowej.

Celem pracy jest wykazanie zmian wybranych wskaźników i cech gazometrii krwi w okresie fizjologicznej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym u mężczyzny w 6 dekadzie życia.

1. Materiał badawczy

Badany mężczyzna był w wieku 61 lat o masie - 83,3 kg i wysokości ciała - 172 cm, wskaźniku BMI - 28,2, tłuszczu całkowitym - 24,4 i wewnętrznym - 14, odsetku mięśni - 34,1. Pomiarów dokonano na wadze Obron BF511. Badany posiadał wskaźniki krwi w granicach referencyjnych i diagnozę lekarską, umożliwiającą wykonywanie wysiłków fizycznych w III zakresie intensywności. Badany realizuje zasady dekalogu zdrowego stylu życia, szczególnie w zakresie aktywności fizycznej [5].

2. Metodyka i przedmiot badania

Badania przeprowadzono zgodnie z zasadami zawartymi w Deklaracji Helsińskiej, a dla ich przeprowadzenia uzyskano: zgodę komisji bioetycznej na badania inwazyjne i funkcjonalne, pozytywną decyzję lekarza o dopuszczeniu do testów funkcjonalnych układu krążeniowo-oddechowego z maksymalnym wysiłkiem. Pomiary przeprowadzano w Zakładzie

Rehabilitacji Szpitala PODIMED w Szczecinku, tym samym zabezpieczając: defibrylator i zestaw do ratowania życia osób z zawałem, obecność lekarza kardiologa, odpowiednie warunki sanitarno-higieniczne dla poboru materiału badawczego. Ze względów na właściwości krwi, jej pobór odbywał się w bezpośrednim sąsiedztwie laboratorium analitycznym szpitala PODIMED, tak aby natychmiast po jej pozyskaniu trafiła do analizy. Przed podjęciem badań dokonano wstępnej oceny przydatności zakresu analizowanych cech, kalibracji narzędzi oraz opracowanej procedury badawczej.

Określenie okresów samoistnej odnowy nie jest możliwe bez diagnostyki stanu zmęczenia i przebiegu wypoczynku. Do ich oceny stosuje się wiele wskaźników, a dobór ich zależy od rodzaju i wielkości obciążenia oraz technicznych możliwości badającego. Przy wyborze przydatnych w realizacji celu badań wskaźników krwi, kierowano się rekomendacjami Łukaszewskiej i wsp. [6]: kwasowość/zasadowość (pH), ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla (PCO_2), ciśnienie parcjalne tlenu (PO_2), zasady buforujące (BB), niedobór/nadmiar zasad (BE), aktualny nadmiar zasad (BE_{art}), stężenie jonów wodorowęglanowych ($CHCO_3$), wysycenie tlenem, saturacja tlenowa ($SO_2(c)$).

Pobór krwi i pomiary odbywały zgodnie z opracowanym programem, zawsze w tej samej porze dnia, aby uniknąć zmian wydolności fizycznej w dobowym rytmie biologicznym i obejmowały: ciśnienie atmosferyczne, tętno, ciśnienie krwi skurczowe i rozkurczowe oraz temperaturę ciała. Pobór krwi zawsze z tętnicy łokciowej lub promieniowej kończyny górnej lewej lub prawej, przy całkowicie rozluźnionych mięśniach ręki i przedramienia.

Jako standardowy wysiłek fizyczny obrano pracę o dużej intensywności. Przyjęto za Ulatowskim [7], że powinna wywołać ciśnienie skurczowe w przedziale 130-180 mm Hg, a wskaźnik Browna powinien być poniżej 50. Zastosowany wysiłek wytrzymałościowy trwał 66 min. i składał się z dwóch bezpośrednio po sobie następujących cykli. Jeden cykl składał się z następujących obciążeń: 2 minuty: 20 W, 4 minut: 40 W, 2 minuty: 20 W, 4 minuty: 60 W, 2 minuty 20 W, 5 minut: 80 W, 2 minuty: 20 W, 4 minuty: 60 W, 2 minuty: 20 W, 4 minuty: 40 W i 2 minuty: 20 W. Pomiaru ilości obrotów na cykloergometrze dokonano elektronicznym miernikiem i wahał się od 60 do 70 obr/min. W ostatnich 15 sekundach drugiego cyklu badany pozostawał na ergometrze z zaleceniem dowolnej pracy bez obciążenia, co miało zapobiec zapaści krążeniowej. Elektrody kardiomonitora i mankiety ciśnieniomierza zakładany był w ostatniej minucie realizowanego obciążenia standardowego.

Materiał do analizy pobierany był przez pięć kolejnych dni, zgodnie ze schematem:

1. Przed wysiłkiem o 9.30 i 10.30: krew, pomiar tętna obwodowego, wielkość skurczowego i rozkurczowego ciśnienia tętniczego krwi, masy i wysokości ciała

2. Po wysiłku od 11.36

Okres wczesnej odnowy

- a. cechy krwi o godz. 11.36, 12.30, 13.30, 15.30.
- b. SO_2 od zakończenia wysiłku do 10,51 z odczytem co 15 s.
- c. pomiar tętna obwodowego od zakończenia wysiłku do 10.51 z odczytem co 15 s.
- d. ciśnienie skurczowe i rozkurczowe krwi od zakończenia wysiłku do 10.50 z odczytem co 10 minut

Okres późnej odnowy

- a. cechy krwi, przez kolejnych 5 dni zawsze o 8.00.

2. Analiza statystyczna

Z uwagi na to, że badania przeprowadzono na jednej osobie, zastosowane metody statystyczne obejmowały: wyliczenie średniej wielkości ciśnienia skurczowego i rozkurczowego oraz istotności różnic między uzyskanymi wynikami analizowanych wskaźników krwi. Dla uchwycenia zmian w przebiegu wielkości i odsetka analizowanych cech, każdą przedstawiono na osobnej rycinie od 1 do 6.

3. Uzyskane wyniki

Ciśnienie atmosferyczne podczas realizacji badań wahało się od 719,8 do 732 mm Hg, temperatura ciała badanego od 36,6 do 37⁰C, ciśnienie skurczowe krwi od 120 do 121 mmHg przed rozpoczęciem wysiłku fizycznego i spadało od 145 do 110 mm Hg po jego zakończeniu. Rozkurczowe odpowiednio od 78 do 81 mm Hg i od 88 do 87 mm Hg. Średnie wielkości ciśnienia skurczowego i rozkurczowego (M) wahały się od 99 do 101 mmHg przed rozpoczęciem wysiłku standardowego i od 116 do 98 mmHg po jego zakończeniu, ryc. 1. Wysycenie krwi tlenem przed wysiłkiem wahało się od 95 do 96 %, a po standardowym obciążeniu od 92 do 94% natomiast tętno przed wysiłkiem wynosiło od 69 do 78 ud/min, a po standardowym obciążeniu stopniowo obniżało swoją wielkość z 111 do 77 ud/min, ryc. 2.

Wielkość pH krwi od pierwszego pomiaru do końca realizacji standardowej pracy rośnie, w kolejnej godzinie gwałtownie spada. Od 19 godziny po wysiłku przybiera na wartości, aby dalej ponownie przesunąć się w kierunku mniejszych wielkości i w 56 godzinie po wysiłku osiągnąć wielkość nieco większą niż początkowa, ale niemal taką samą jak po zakończonej pracy, ryc. 3.

Wielkości PCO_2 we krwi obniża się od pierwszego pomiaru do zakończenia pracy, dalej w pierwszej godzinie restytucji wykazuje tendencję wzrostową, w kolejnych 56 godzinach jej wielkość spada do wielkości zbliżonej w pierwszym pomiarze. Wielkość BB

wykazuje niewielkie falowe wahania. Po upływie 54 godzin od zakończenia pracy jej wielkość nieistotnie mniejsza w stosunku do wyjściowej sprzed podjęcia pracy. Wielkości SO_2 (c) we krwi w obniża się od pierwszego pomiaru do rozpoczęcia obciążenia standardowego, natomiast podczas trwania pracy rośnie, po czym od jej zakończenia obniża się w pierwszej godzinie restytucji. W kolejnych 3 godzinach wielkość wysycenia tlenem istotnie zwiększa się. W następnych 15 godzinach wielkość wysycenia istotnie obniża się, a w kolejnych 12 istotnie zwiększa aby dalej przez kolejne 24 godziny przyjąć tendencję spadkową, rys. 4.

Przebieg wielkość BE i BE_{act} we krwi jest podobny. Przy czym wielkości BE są zawsze większe. Od pierwszego pomiaru do końca pracy zmniejszają się, dalej wielkość BE zwiększa się w pierwszej godzinie restytucji, natomiast BE_{act} w ciągu dwóch godzin. Dalsze pomiary wykazały spadek do 16 godziny po zakończeniu pracy, wzrost BE w kolejnych 12 a BE_{act} 24 godzinach. W okresie kolejnych 24 godzin wielkości obu cech istotnie nie zmieniają się, ryc. 5.

Wielkości CHCO_3 zmniejszają się od pierwszego pomiaru do rozpoczęcia pracy, dalej istotnie zwiększają do końca pierwszej godziny restytucji. Następne pomiary wykazały nieistotne zmiany wielkości w stężeniu jonów wodorowęglanowych do 54 godziny od zakończeniu pracy. Wielkość PO_2 od pierwszego pomiaru do rozpoczęcia pracy istotnie zmniejsza się, dalej przez 5 godziny ciśnienie parcjale tlenu zwiększa się, a w kolejnych 16 godzinach znacząco obniża się. Następne 12 godzin przynosi istotne zwiększenie ciśnienia, a w końcowych 24 ulega nieistotnym wahaniom, ryc. 6.

4. Dyskusja

Zwiększony transport O_2 z płuc do mięśni i aktywnych narządów oraz CO_2 z tego obszaru do płuc jak też substancji energetycznych w czasie maksymalnego wysiłku fizycznego – są uwarunkowane nie tylko wzmożoną pracą mięśnia serca, lecz także dostosowaniem całkowitego obwodowego oporu naczyniowego do wzmożonego przepływu krwi. Zmiany przystosowawcze wiążą się z odpowiednim rozdziałem krwi do tkanek aktywnych i biernych. Mięśnie szkieletowe otrzymują około 90% krwi ze zwiększonej pojemności minutowej serca. Całkowity opór naczyniowy spada. Ciśnienie skurczowe podnosi się średnio do 200 mm Hg, rozkurczowe do 90 mm Hg [8]. Oddziaływanie ciśnienia tętniczego na obciążenie ustroju pracą o tej samej intensywności wykazuje istotne różnice zależne od wieku, płci i wydolności oraz innych czynników natury pozaustrojowej [9]. U osób wybitnie sprawnych zmiany ciśnienia tętniczego pod wpływem maksymalnego wysiłku są dość jednolite: u 96% stwierdza się oddziaływanie, polegające na wzroście ciśnienia

skurczowego do 180 mm Hg oraz niewielki spadek ciśnienia rozkurczowego [10]. Oddziaływanie ciśnienia tętniczego osób średniowydolnych na obciążenie wysiłkiem maksymalnym jest bardzo zróżnicowane. Odczyn normotoniczny występuje tylko u 23% badanej grupy. Większość osobników bo 64%, wykazało tendencję do hipertensji (dużego wzrostu ciśnienia skurczowego), co przejawia się w odczynach typu hipertensyjnego u 37% badanych. Odczyny typu dystonicznego (z dużym jednocześnie spadkiem ciśnienia rozkurczowego, poniżej 40 mm Hg) wystąpiły u 20% probantów, a typu hipertonicznego (z równoczesnym wzrostem ciśnienia rozkurczowego, powyżej 95 mm Hg), odwrotnie niż w poprzedniej postaci u 7%. Ponadto 13% probantów średniowydolnych wykazało skłonność do oddziaływania hipotonicznego na maksymalny wysiłek fizyczny (odczyny typu hipotonicznego) i – typu opóźnionego wzrostu ciśnienia skurczowego [11, 12, 13, 14]. Górski [15] twierdzi, że ciśnienie tętnicze skurczowe rośnie równolegle do obciążenia wysiłkowego i może wynosić nawet 250 mm Hg. Ciśnienie rozkurczowe nie ulega znacznym zmianom. Przy czym w czasie wykonywania wysiłków kończynami górnymi o obciążeniu takim samym jak w czasie wykonywania wysiłków kończynami dolnymi, wzrosty ciśnienia skurczowego są większe. Ma też miejsce niewielki wzrost ciśnienia rozkurczowego. Wg Nazar i wsp. [16] ciśnienie tętnicze skurczowe zwiększa się podczas wysiłków, osiągając stan równowagi po 3-4 minutach, a przy dłużej trwających wysiłkach obserwuje się pewną tendencję do jego obniżania. Przy czym często rozwojowi zmęczenia towarzyszy niewielki wzrost ciśnienia skurczowego i wzrost ten jest proporcjonalny do obciążenia, ponieważ zależy od pojemności minutowej serca, która rośnie z kolei wraz ze wzrostem intensywności wysiłku. Ciśnienie tętnicze rozkurczowe mierzone pośrednią metodą Korotkowa w czasie wysiłku nie zmienia się, obniża lub wykazuje niewielki wzrost. Średnie ciśnienie tętnicze w czasie wysiłków zwiększa się istotnie, przede wszystkim dzięki wzrostowi ciśnienia skurczowego. Jaskólski Artur i Jaskólska Anna [17] uważają, że w następstwie starzenia się organizmu człowieka mięsień sercowy wykazuje zwiększenie grubości ścian lewej komory, co powoduje zwiększenie jego masy, a częściowo związane jest to ze wzrostem ciśnienia skurczowego, wywołanego głównie zwiększeniem sztywności ścian naczyń tętniczych. Ciśnienie to u osób starszych jest około 35 mm Hg wyższe niż u młodszych. Ponadto podczas wysiłku ciśnienie tętnicze krwi wzrasta do wyższych wielkości u osób, które mają to ciśnienie wyższe w spoczynku. Zatem, chociaż osoby starsze mają mniejszą objętość wyrzutową i pojemność minutową serca, to jednak tętnicze ciśnienie skurczowe jest u nich podczas wysiłku maksymalnego wyższe niż u osób młodszych, co może wynikać ze stanu naczyń tętniczych. Przy czym maksymalna częstość skurczów serca osiągając swoje najwyższe wartości (ok.

195-200 ud/min) w wieku 20-30 lat stopniowo się obniża. Można przyjąć, że stosując regułę określającą maksymalną częstość skurczów serca w postaci $220 - \text{wiek}$ (w latach), należy się spodziewać u 65-letniego mężczyzny wartości 155 ud/min, ale podczas pomiarów u probanta wykazano znacznie większe wielkości. Należy więc przyjąć, że osoby starsze mogą osiągać większą częstość skurczów serca aniżeli by wynikało to z cytowanej wyżej formuły, jednak wartości te mogą maleć z wiekiem.

Mikrokrążenie, należy postrzegać jako rodzaj żywego organu będącego składową układu sercowo-naczyniowego odpowiedzialnego za prawidłową dystrybucję tlenu do komórek i tkanek. Prawidłowa funkcja mikrokrążenia zależy od wielu czynników, między innymi od dyfuzji gazów [18]. W działaniu szeroko pojętych mechanizmów adaptacyjno-obronnych szczególne znaczenie mają krwinki czerwone. W stanach obniżonego ciśnienia perfuzyjnego stopień ich elastyczności w znacznym stopniu wpływa na przepływ w mikrokrążeniu, zaś dostępność tlenu na poziomie komórek jest uzależniona między innymi od prawidłowej jego dysocjacji z hemoglobiny. Krwinki czerwone ze względu na szeroką ekspozycję w miejscach powstawania wolnych rodników tlenowych odgrywają także ważną rolę obronną w stanach stresu oksydacyjnego. Przyjmuje się, że zmiany ich potencjału antyoksydacyjnego odpowiadają zmianom ogólnoustrojowym [19, 20].

Obciążenie ustroju maksymalnym wysiłkiem fizycznym, wzmagającym jego wydatek energetyczny (do 10-12 kcal/min) oraz produkcję ciepła, zwłaszcza w mięśniach szkieletowych i w wątrobie, podnosi temperaturę ciała do $37,5 - 38,5^{\circ}\text{C}$ a nawet do 39°C , przy stałym jednoczesnym oddawaniu ciepła do otoczenia przez skórę. Temperatura wewnętrzna ciała, mierzona w naturalnych otworach ciała podnosi się stopniowo w początkowym okresie wysiłku, po czym ustala się na określonym poziomie wyższym niż w spoczynku. Przy czym temperatura skóry obniża się [17]. Inni autorzy uważają, że osoby starsze mają pogorszoną termoregulację, co objawia się trudnościami w utrzymaniu ciepłoty ciała. Starsze osoby mają wyższą temperaturę ciała i większą częstość skurczów serca podczas wysiłków wykonywanych w gorącym środowisku. Zmiany te spowodowane są mniejszą wydolnością mechanizmu parowania [1]. Płowaman i Smith [18] również uważają, że wytrzymałościowe wysiłki fizyczne powodują znaczne obniżenie spoczynkowej częstości tętna, skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi.

Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku powyżej 50% maksymalnego poboru tlenu obniża się pH krwi, ze względu na czerpanie energii z przemian beztlenowych, których końcowym produktem jest kwas mlekowy [1]. Wysiłek fizyczny na skutek gromadzenia się metabolitów przemian energetycznych pracujących mięśni, a szczególnie kwasu

pirogronowego i mlekowego, prowadzi do kwasicy metabolicznej, która korygowana jest między innymi przez jony wapnia znajdujące się we krwi. W przypadku kwasicy trwającej kilka godzin czy nawet dni, proces ten prowadzi do ubytku Ca z kości [21]. Nie bez znaczenia dla wielkości pH jest wzrost stężenia jonów H^+ . Podczas intensywnej pracy, w wyniku aktywacji glikolizy i akumulacji jonów H^+ dochodzi do spadku pH. W skrajnie zmęczonych mięśniach glikolitycznych wewnątrzmięśniowe pH obniża się od wielkości 7,0 w spoczynku do 6,2 po wysiłku [22]. W czasie narastania obciążenia pracą poza zmniejszaniem pH, zwiększaniem ilości kwasu pirogronowego, mlekowego dochodzi do obniżania prężności CO_2 . Stopień gromadzenia tych związków można w przybliżeniu uważać za miarę tzw. „długu tlenowego” [23, 24]. Powinowactwo hemoglobuliny do tlenu zależne jest między innymi od kwasowości środowiska (pH), stężenia 2,3-DPG oraz temperatury. Podczas długotrwałej pracy dochodzi do obniżenia poziomu aminokwasów, zwiększenia stężenia mocznika – do 48mg% w warunkach spoczynku, a 55mg% to przejaw niepełnej restytucji co wskazuje na konieczność wydłużenia okresu wypoczynku (norma 40mg%). Pewną wartość w ocenie efektywności odnowy ma zachowanie się poziomu mleczanów i pH, nadmiar zasad i innych wskaźników równowagi kwasowo-zasadowej krwi [25].

Należy sądzić, że wiele obserwowanych przesunięć w poziomie erytrocytów, retikulocytów i hemoglobiny zależy od zmian fizykochemicznych, zachodzących pod wpływem wysiłków fizycznych w osoczu jak i krwi czerwonej. I tak stwierdzone w czasie pracy zwiększenie CO_2 we krwi, jak i przesunięcie pH w stronę kwaśną może prowadzić do zmniejszenia oporności krwinek czerwonych, a tym samym przyczynić się do nasilenia procesów hemolitycznych, powodujących spadek ilości erytrocytów we krwi obwodowej. Powtarzający się wysiłek fizyczny pozostaje również prawdopodobnie nie bez wpływu na metabolizm krwinek czerwonych [26].

Oznaczenie we krwi prężności O_2 i CO_2 , wielkości rezerwy alkalicznej, ilości kwasu mlekowego i pirogronowego jest cenną wskazówką przy ocenie stanu adaptacji organizmu do wysiłku fizycznego. Okazuje się, że w czasie standardowych wysiłków fizycznych u osób wytrenowanych obserwuje się mniejsze przesunięcia w badanych czynnikach. Wymienione oznaczenia w klinice często są wykorzystywane w celu kwalifikacji chorych do zabiegów operacyjnych, jak również przy ogólnej ocenie stopnia wydolności fizycznej pacjenta [27]. Autorzy wykazali także, że ciężki wysiłek fizyczny skutkuje znaczącym obniżeniem aktywności oddechowej krwi. Wysiłki o średnim obciążeniu istotnie zwiększają aktywność oddechową składników morfotycznych krwi.

Wysiłek fizyczny jest jednym z procesów prowadzących do podwyższenia stężenia oksydantów w organizmie. Zwiększone podczas pracy zużycie tlenu pociąga za sobą wzrost produkcji anionorodnika ponadtlenkowego i innych reaktywnych form tlenu (RFT) [28, 29]. Konsekwencją ubytku naturalnych antyoksydantów i nadmiaru oksydantów w wyniku wysiłku fizycznego jest podwyższony poziom peroksydacji lipidów komórek mięśni [30]. Powstające podczas wysiłku fizycznego RFT powodują nie tylko uszkodzenie mięśni, ale także oksydacyjne uszkodzenia innych struktur komórkowych [30, 31].

Okres wczesnej samoistnej odnowy u badanego 61-letniego mężczyzny przypada pomiędzy 3 a 4 godziną wypoczynku, co potwierdzają doniesienia innych autorów [6, 25, 32]. Tym samym można przyjąć, że okres późnej samoistnej restytucji rozpoczyna się z co najmniej piątą godziną wypoczynku. Wielkość ciśnienia skurczowego w okresie restytucji osiąga stan z bezpośredniego pomiaru przed podjęciem pracy, w 4 godzinie, rozkurczowe w 2 godzinie, ryc. 1. Wielkość tętna i wysycenia krwi tlenem spadła do wielkości wyjściowej po 3 minutach od zakończenia pracy, ryc. 2., pH w 20 godzinie, ryc. 3. Ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla przyjmuje wielkość sprzed podjęcia pracy w 4 godzinie restytucji, zasady buforujące osocze po jednej godzinie, saturacja tlenowa po 20 godzinach, ryc. 4. Zasób zasad (niedobór/nadmiar) normalizuje się po 2 godzinach, aktualny nadmiar zasad nie przyjmuje wielkości wyjściowej do 54 godziny restytucji późnej, ryc. 5. Stężenie jonów wodorowęglowych nie powraca do stanu sprzed rozpoczęcia obciążenia standardowego do 54 godziny restytucji późnej, natomiast ciśnienie parcjalne tlenu powraca po 20 godzinach, ryc. 6. Pomiarzy zrealizowane na większej populacji i z rygorystycznym zachowaniem opisanej procedury, mogą wykazać odmienne ale zbliżone wyniki.

5. Wnioski

Na podstawie analizy literatury i zmian wybranych wskaźników i cech gazometrii krwi można sformułować następujące wnioski:

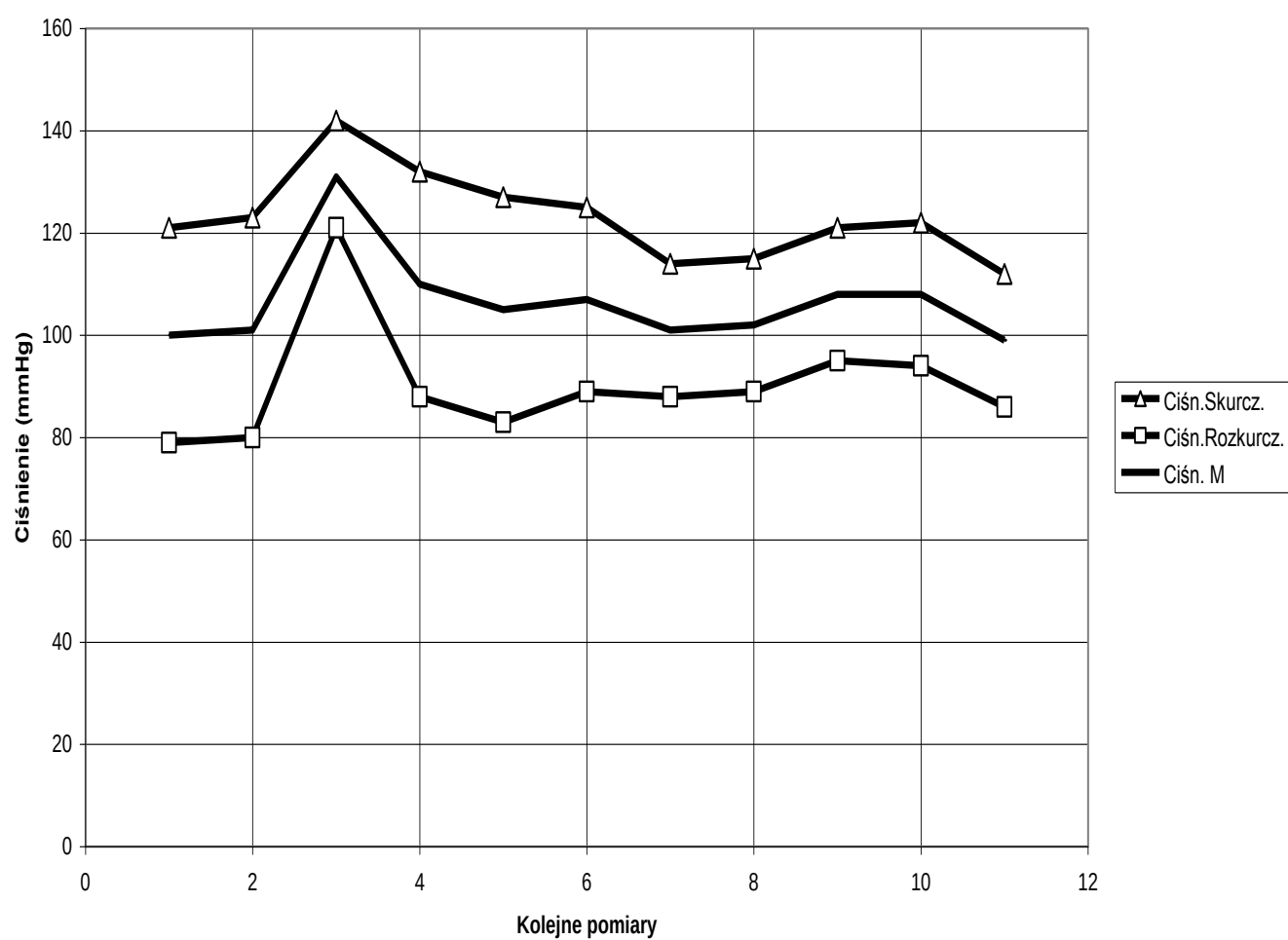
1. W procesie wczesnej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym u 61 letniego mężczyzny normalizacji ulega: ciśnienie skurczowe i rozkurczowe krwi, tętno, ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla, zasady buforujące osocze, stan zasad (nadmiar / niedobór). W okresie późnej restytucji: saturacja tlenowa, ciśnienie parcjalne tlenu.
3. Należy przyjąć, że wskaźnik aktualnego nadmiaru zasad i stężenia jonów wodorowęglanowych wymaga dłuższego okresu normalizacji niż 54 godzina restytucji późnej.

Piśmiennictwo

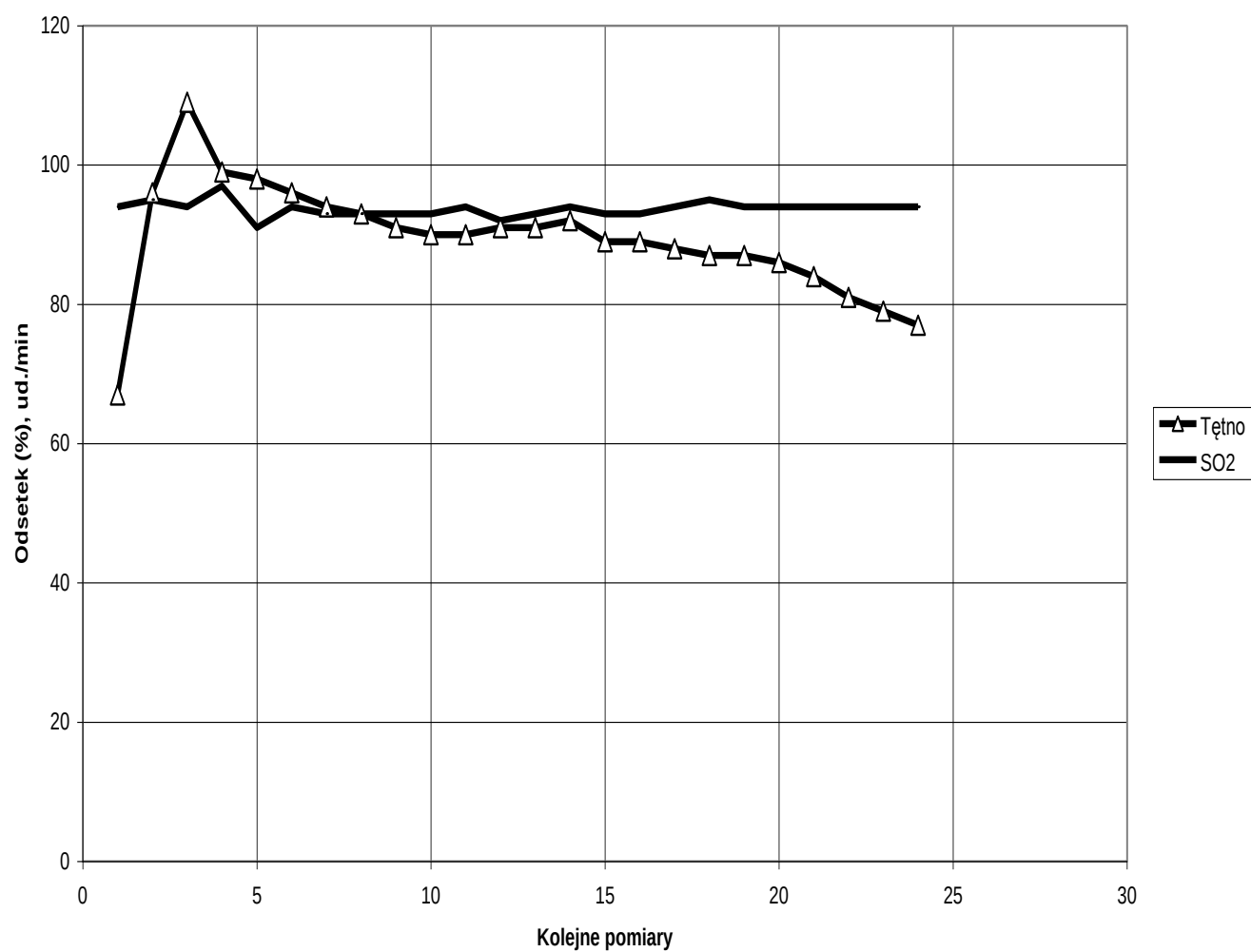
1. Jethon Zb., Aktywność ruchowa jako dystres, *Hygea Public Health*, 2013, 48 (2), 156-161.
2. Dehn M.M., Bruce R.A.: Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity. *J. Appl. Physiol.*, 1972, 33, 805–807.
3. Żołądź J.A.: Wydolność fizyczna człowieka. W: Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego, red. J. Górski. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2006, 465–536.
4. Cobb F.R. i wsp.: Aging: Can the effects be prevented ? W: *Exercise and Circulation in Health and Disease*, red. B. Saltin i wsp. Human Kinetics, Champaign 2000, 245–256.
5. Mrozkowiak Mirosław, Mrozkowiak Magdalena: Co to jest zdrowy styl życia = What is meant by the healthy lifestyle? W: *Ontogeneza i promocja zdrowia : w aspekcie medycyny, antropologii i wychowania fizycznego*, red. nauk. Józef Tatarczuk, Ryszard Asienkiewicz, Ewa Skorupka. Zielona Góra : Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2011, s. 117-130.
6. Łukaszewska J., Raczyńska B., Wawrzyńczak-Witkowska A., Restytucja w procesie treningowym, II Kongres Naukowy Kultury Fizycznej, 1986, s. 298-315.
7. Ulatowski T., Teoria i metodyka sportu, SiT, Warszawa, 1981, s. 67.
8. McDougall J. D. Ward G. R., Sale D. G., Sutton J.R., Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization, *J. Appl. Physiol*, 1977, 43, 4, 800.
9. Preisler E., Fizjologiczne mechanizmy wydolności fizycznej (w zarysie), Monografie, Podręczniki, Skrypty AWF Poznań, nr 57, 1984 r, 41-43.
10. Preisler E., Zachowanie się siły mięśniowej kajakowców i narciarzy po wysiłkach długotrwałych, *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 1958, 2, 53.
11. Preisler E., Zachowanie się siły mięśniowej kajakowców i narciarzy po wysiłkach długotrwałych, *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 1958, 2, 53.
12. Preisler E., Badanie czynnościowe w ocenie wydolności wysiłkowej ustroju, II Zmiany krzywej elektrokardiograficznej. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 1958, 2, 567.
13. Preisler E., Wróblewska D., Doręgowska E., Wydolność fizyczna młodzieży medycznej w świetle próby czynnościowej układu krążenia, *Kultura Fizyczna i Sport*, 1958, 12, 273.
14. Preisler E., Kabza R., Zmiany aktywności aminotrasferazy asparaginianowej i alaninowej pod wpływem wysiłków wytrzymałościowych, *Medycyna Pracy*, 1967, 18, 333.
15. Górski J., Fizjologia człowieka, Wydawnictwo Lekarskie, Warszawa, 2010, 301-302.
16. Jager A., Nazar K., Dziak A., *Medycyna Sportowa*, PZWL, Warszawa, 2013, 48.

17. Jaskólski Artur i Anna, Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka, AWF Wrocław, 2009, 389.
18. Klopp RC, Niemer W, Schulz J., J Complement Integr Med. 2013;10(Suppl):S13-9. doi: 10.1515/jcim-2013-0032
19. Drożdż W., Aktywacja granulocytów obojętnochłonnych i stres oksydacyjny u chorych z przewlekłym niedokrwieniem kończyn dolnych. Pol Przegl. Chirurg, 2000, 72, 5: 403–417.
20. Ernst E, Matar A., Intermittent claudication, exercise and blood rheology. Circulation, 1987, 76: 1110–1115.
21. Bushinsky D.A., Acid-base imbalance and the skeleton. Eur. J. Nutr. 40, 238-244.
22. Żołądź J.A., Fizjologia wysiłku fizycznego, [W] Fizjologia człowieka, [red.] Konturek S., ELSEVIER, Urban & Partner, Wrocław, 2007, 1146.
23. Romanowski W., Eberhard A., Profilaktyczne znaczenie zwiększonej aktywności fizycznej, PZWL, Warszawa, 1972, 33.
24. Harris R.C., Sahlin K., Hultman E., Phosphagen and lactate contents of m. quadriceps femoris of man after exercise, J. Appl. Physiol, 1977, 43/5, 852.
25. Gieremek K., Dec L., Zmęczenie i regeneracja sił. Odnowa Biologiczna, AWF, Katowice, 2000, 35.
26. Swallen T., Erythrocyte osmotic fragility test. Postgraduate Med., 1967, 36, A-46.
27. Romanowski W., Eberhard A., Profilaktyczne znaczenie zwiększonej aktywności fizycznej, PZWL, Warszawa, 1972, 33.
28. Art T., Lekeux P. 2005. Exercise-induced physiological adjustments to stressful conditions in sports horses. Livestock Production Science, 92: 101-111.
29. Williams C.A., Burk A.O. 2012. Antioxidant status in elite three-day event horses during competition. Oxidative Medicine and Cellular Longevity: 1-8.
30. Kirschvink N., de Moffarts B., Lekeux P. 2008. The oxidant/antioxidant equilibrium in horses. The Veterinary Journal, 177: 178-191.
31. Deaton C.M, Marlin D.J. 2003. Exercise-associated oxidative stress. Clin. Tech. in Equine Pract., 2: 278-291.
32. Mrozkowiak M, Przebieg samoistnej restytucji po wysiłku wytrzymałościowym mężczyzny w 6 dekadzie życia. Opis przypadku, [W] Behawioralne i środowiskowe uwarunkowania zdrowia funkcjonariuszy grup dyspozycyjnych, [red.] Kaiser A, Warszawa, 2015 r., 165-182.

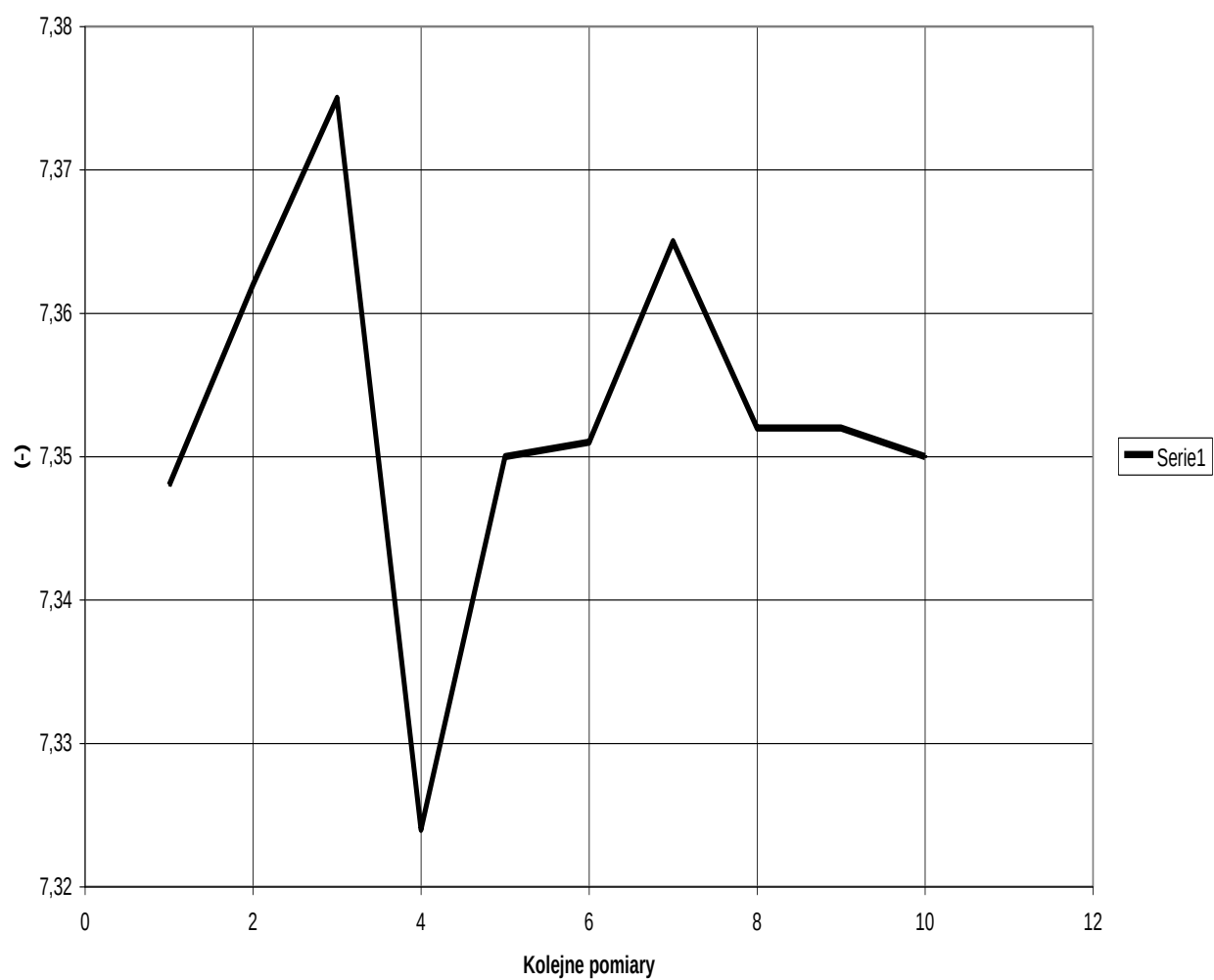
Ryc. 1. Restytucja ciśnienia skurczowego, rozkurczowego i ich średniej wielkości przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1



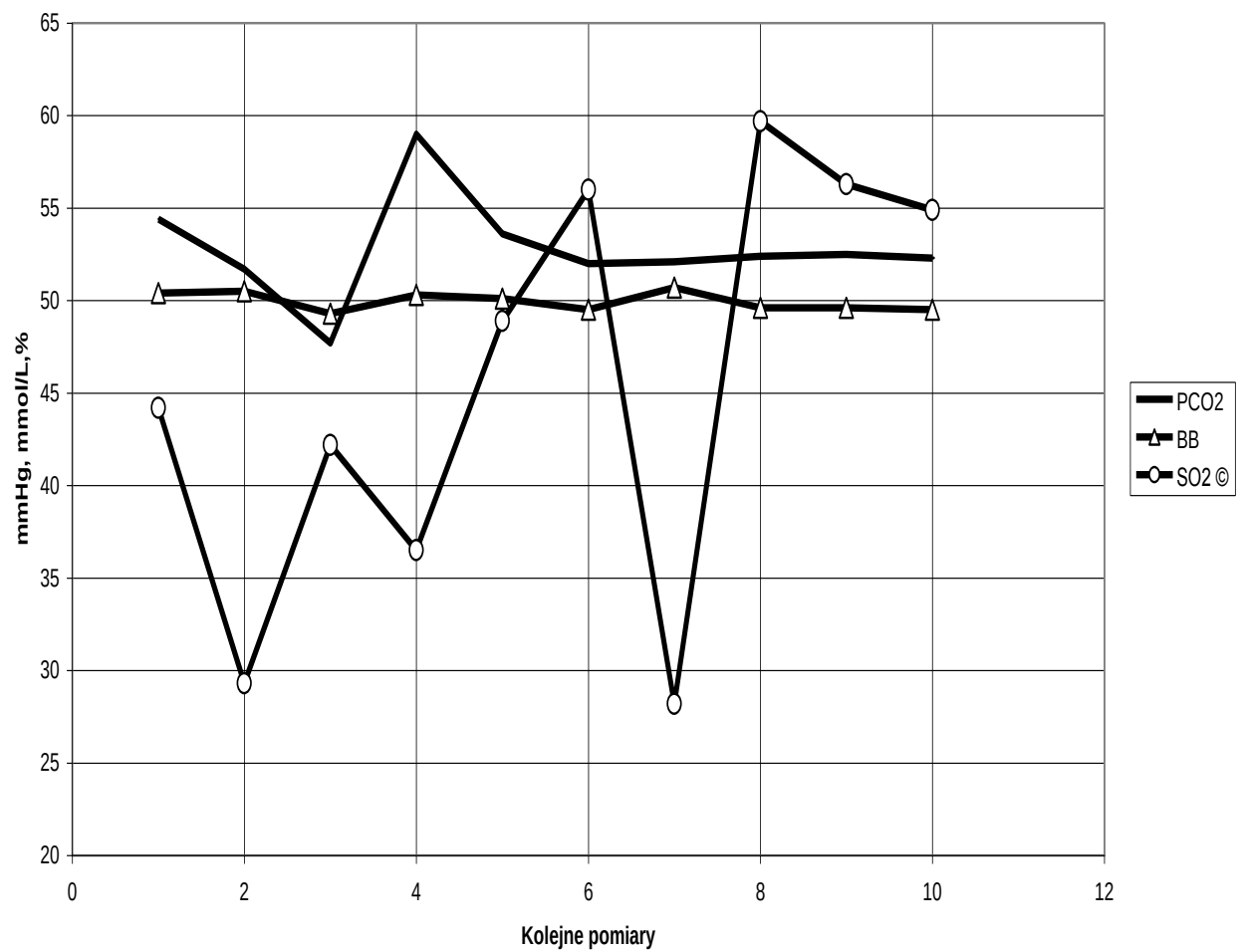
Ryc. 2. Restytucja tętna i wysycenia krwi tlenem przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1



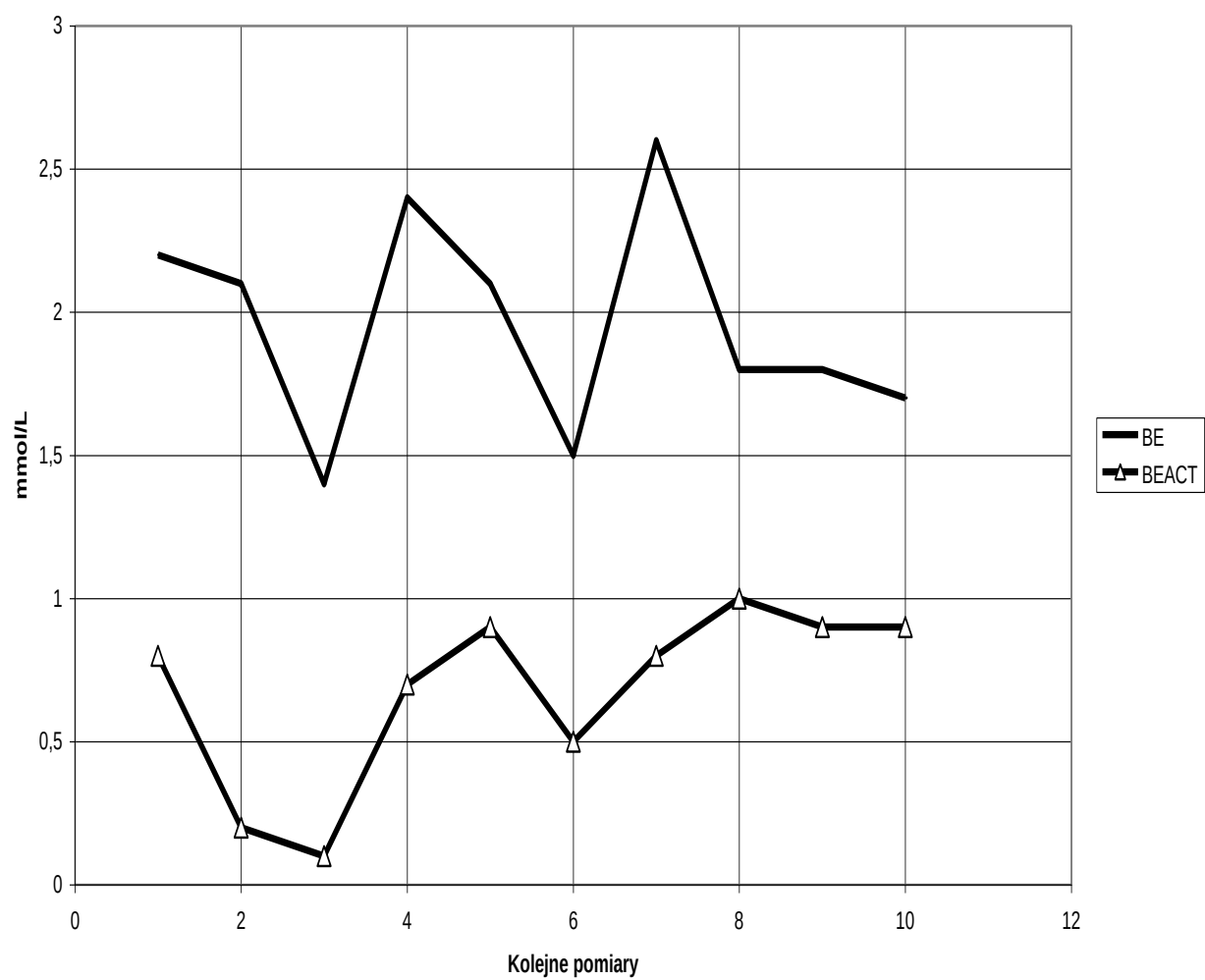
Ryc. 3. Przebieg zmian pH we krwi przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1



Ryc. 4. Przebieg zmian wielkości PCO_2 , BB, $SO_2(c)$ we krwi przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1



Ryc. 5. Przebieg zmian wielkości BE, BE_{ACT} we krwi przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1



Ryc. 6. Przebieg zmian wielkości cHCO_3 , PO_2 we krwi przed i po wysiłku wytrzymałościowym (n) 1

