

Michalik Kamil, Woźniak Artur, Wierzbicka-Damska Iwona. The influence of aerobic performance on HRR in road cyclists and footballers. *Journal of Education, Health and Sport*. 2017;7(4):77-89. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.376348>  
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/4313>

The journal has had 7 points in Ministry of Science and Higher Education parametric evaluation. Part B item 1223 (26.01.2017).  
1223 Journal of Education, Health and Sport eISSN 2391-8306 7

© The Author (s) 2017;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, 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/4.0/>) 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/4.0/>) 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: 12.02.2017. Revised 23.02.2017. Accepted: 10.03.2017.

## **Wpływ poziomu wydolności aerobowej na tempo restytucji u kolarzy szosowych i piłkarzy nożnych**

**The influence of aerobic performance on HRR in road cyclists and footballers**

**Kamil Michalik<sup>1</sup>, Artur Woźniak<sup>2</sup>, Iwona Wierzbicka-Damska<sup>1</sup>**

**1 - Akademia Wychowania Fizycznego, Wrocław, Polska**

**2 – absolwent Akademii Wychowania Fizycznego**

### **Adres:**

Katedra Fizjologii i Biochemii

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

Polska

ul. Paderewskiego 35

51-612 Wrocław

### **Autor korespondencyjny:**

Kamil Michalik

ul. Jaśminowa 11, 49 – 130 Tułowice

kamil.michalik@awf.wroc.pl

693 023 875

### **Słowa kluczowe:**

maksymalny pobór tlenu, restytucja częstości skurczów serca, kolarstwo, piłka nożna

### **Key words:**

maximal oxygen uptake, heart rate recovery (HRR), cycling performance, football

## Streszczenie

**Wstęp.** Przyjmuje się, że skuteczna restytucja częstości skurczów serca związana jest z wyższym poziomem wydolności tlenowej organizmu.

**Cel pracy.** Celem pracy była analiza zależności występujących między poziomem wybranych wskaźników restytucji częstości skurczów serca (HR - heart rate) w odniesieniu do wydolności tlenowej u kolarzy szosowych i piłkarzy nożnych.

**Materiał i metody.** W badaniu udział wzięło 30 mężczyzn, trenujących piłkę nożną w polskiej drugiej klasie rozgrywkowej (n=9) oraz kolarzy szosowych, członków profesjonalnych klubów (n=21). Kolarzy podzielono na dwie grupy na podstawie wartości maksymalnego poboru tlenu ( $VO_{2max}$ ), zmierzonego w teście progresywnym. Test progresywny przeprowadzono na cykloergometrze, a po jego zakończeniu badani przez 5 minut pozostawali w pozycji siedzącej w celu rejestracji restytucji częstości skurczów serca.

**Wyniki.** W przebiegu fazy szybkiej restytucji najniższe wartości wykazali badani piłkarze. W fazie wolnej nie wystąpiły różnice pomiędzy grupami. Posłużono się również względnymi wartościami w odniesieniu do  $HR_{max}$  i nie stwierdzono istotnych różnic. W żadnej z grup nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji pomiędzy zmiennymi związanymi z restytucją częstości skurczów serca, a poziomem wydolności fizycznej.

**Wnioski.** Najszybszą restytucję częstości skurczów serca zaobserwowano w grupie badanych piłkarzy. Kolarze szosowi pomimo istotnych różnic w poziomie wydolności fizycznej nie różnią się istotnie względem uzyskanej mocy maksymalnej restytucji częstości skurczów serca.

## Abstract

**Introduction.** Effective heart rate recovery is associated with higher levels of aerobic performance

**Aim.** The aim of this study was to investigate the relationship between level of aerobic performance describe of maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) value and heart rate recovery (HRR) in road cyclist and footballers.

**Materials and methods.** The study involved of 30 male trainees football in the Polish second leauge (n = 9) and road cyclists, members of the professional clubs (n = 21). Road cyclist were divided into terms of level  $VO_{2max}$  into two groups RC1 (higher value) and RC2 (lower value), based on the incremental exercise test. The test was performed on cycloergometer, and after the completion of the test for 5 minutes stayed seated for recorded of HRR.

**Results.** The differences were not statistically significant. In the course of fast phase restitution lowest values showed subjects from the group of football players. We also used a relative values with respect to the maximum heart rate ( $HR_{max}$ ), and no significant differences were found between the groups. In any group there was no statistically significant correlation between the variables related to the HRR and the level of  $VO_{2max}$ .

**Conclusions.** Restitution of the fastest heart rate, also in relation to the  $HR_{max}$  was observed in the group of footballers. Road cyclists despite significant differences in the level of aerobic performance do not differ significantly of HRR.

### Wstęp

Badania wydolności fizycznej wykorzystywane są w kontroli efektywności treningu oraz do porównania korzyści płynących z zastosowania różnych programów treningowych [1, 2]. Najczęściej badanym parametrem świadczącym o poziomie wydolności człowieka jest maksymalny pobór tlenu ( $VO_{2max}$ ) [3]. Jego wartość odzwierciedla poziom wydolności tlenowej organizmu, gdyż opisuje szereg reakcji fizjologicznych bezpośrednio wpływających na zdolność do pracy [4]. Ma również znaczenie w efektywnej spłacie zaciągniętego długu tlenowego podczas powysiłkowej restytucji [5]. Zmiany poziomu  $VO_{2max}$  opisywane są jako najbardziej popularny wskaźnik w procesie treningu [6]. Standardowym postępowaniem prowadzącym do ustalenia submaksymalnych i maksymalnych wartości zmiennych fizjologicznych jest wysiłkowy test progresywny. W zależności od rodzaju dyscypliny sportowej i jej specyfiki, można stosować jego zróżnicowane warianty [7].

Ze względu na występujące w sporcie wyczynowym różne rodzaje wysiłków (od krótkich fosfagenowych, po trwające nawet kilkanaście godzin tlenowe) trudno uznać  $VO_{2max}$  jako jeden uniwersalny wskaźnik fizjologiczny, którym można określić stan wydolności fizycznej sportowców [3]. Jednak niewątpliwie, jak podkreśla Durocher i wsp. [8], osoby charakteryzujące się wyższymi wartościami  $VO_{2max}$  posiadają wyraźną przewagę nad posiadającymi jego niższy poziom. Sportowcy z wyższym poziomem  $VO_{2max}$  mają wyższe stężenie mioglobiny, enzymów sterującymi przemianami tlenowymi, a także podwyższoną liczbę mitochondriów, ich rozmiar oraz powierzchnię. Natomiast w efekcie treningu wytrzymałościowego zwiększa się m. in. objętość wyrzutowa serca, kapilaryzacja tkanki mięśniowej, objętość krwi i stężenie hemoglobiny [9,10]. Wówczas, organizm potrzebuje mniej energii na utylizację produktów przemiany materii, która dodatkowo

wspomagana jest przez sprawniejszy przepływ i pojemność buforową krwi. Wszystkie wymienione czynniki przyspieszają proces odnowy (restytucji) organizmu po wysiłku [5].

Obrazem restytucji może być tempo obniżania wartości HR lub  $VO_2$  po zaprzestaniu wysiłku [11,12]. Natomiast jak uważają Vianna i wsp. [13] kinetyka powrotu poboru tlenu ( $VO_2$ ) i częstości skurczów serca (HR) po wysiłku fizycznym są ważnymi czynnikami, które wskazują na sprawne funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego. Restytucja cechuje się dwufazowością [14]. Pierwsza faza trwa od kilkunastu sekund do kilku minut i charakteryzuje się szybkim spadkiem częstości skurczów serca oraz ilości pobieranego tlenu. Po niej następuje faza wolniejsza, trwająca nawet wiele godzin. Podwyższony metabolizm jest wynikiem eliminowania mleczanu oraz jonów wodorowych, podwyższoną temperaturą ciała, działaniem katecholamin, czy resyntezą glikogenu mięśniowego [5]. Bardzo kosztowna energetycznie jest powysiłkowa resynteza białek [15]. W ocenie restytucji stosuje się różne metody: bezwzględną różnicę między wartością maksymalną, osiągniętą w czasie trwania wysiłku, a zanotowaną w pierwszej minucie po jego zakończeniu, regresje logarytmiczne, wskaźnik skuteczności restytucji wg Klonowicza i inne [11,16].

### **Cel pracy**

Biorąc pod uwagę przytoczone powyżej spostrzeżenia przyjęto, że ocena efektywności restytucji powysiłkowej może uzupełniać ocenę stanu wydolności fizycznej opartej o poziom  $VO_{2max}$ . Dlatego celem niniejszej pracy jest określenie powysiłkowej restytucji u sportowców o różnym poziomie  $VO_{2max}$  i odmiennym charakterze wysiłku – kolarzy szosowych oraz piłkarzy nożnych.

### **Material i metody**

**Osoby badane.** W badaniu udział wzięło łącznie trzydziestu mężczyzn, trenujących piłkę nożną w polskiej drugiej klasie rozgrywkowej ( $n=9$ ) oraz kolarzy szosowych, członków profesjonalnych klubów ( $n=21$ ). Kolarzy podzielono na dwie grupy, na podstawie testu, dzięki któremu zmierzono indywidualną wartość  $VO_{2max}$  każdego zawodnika (K1 i K2) (tab.1):

- grupa PN - piłkarze nożni ( $n=9$ )
- grupa K1,  $VO_{2max}$  w przedziale 4,01 – 5 l/min ( $n=10$ )
- grupa K2 –  $VO_{2max}$  powyżej 5,01 l/min,  $n=10$ )

**Badanie wysiłkowe.** Każdy z badanych został poddany testowi wysiłkowemu w Pracowni Badań Wysiłkowych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (Certyfikat PN – EN ISO 9001:2001). Dzień przed mieli za zadanie nie podejmować ciężkiego wysiłku lub

całkowicie zrezygnować z treningu. Badania trwały jeden dzień i obejmowały: pomiar wysokości i masy ciała na wadze lekarskiej WPT 200 (RADWAG, Polska), test progresywny oraz badanie stężenia mleczanu we krwi. Wszyscy uczestnicy podpisali pisemną zgodę na udział w badaniach oraz zostali zapoznani z techniką wykonywania badania. W każdym momencie mogli z nich zrezygnować.

**Test progresywny.** Przeprowadzony został na cykloergometrze Excalibur Sport (Lode BV, Holandia), który kalibrowany był przed rozpoczęciem badań specjalnym programem komputerowym. Test rozpoczynał się od obciążenia 50W, które co trzy minuty było zwiększane o 50W. Częstotliwość obrotów utrzymywana była powyżej 60 na minutę. Test trwał do odmowy badanego lub osiągnięcia  $VO_{2max}$ , czyli jego stabilizacji mimo wzrostu mocy wysiłku. Pomiar częstości skurczów serca (HR) prowadzony był za pomocą sport-testera S810 (Polar Electro, Finlandia) i również rejestrowany przez komputer. Rejestracja parametrów oddechowych rozpoczynała się na dwie minuty przed wysiłkiem i kończyła pięć minut po jego zakończeniu. Badany oddychał przez maskę, a powietrze wydechowe było analizowane przez analizator K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Włochy). Aparat kalibrowany był powietrzem atmosferycznym i mieszką gazową o składzie:  $CO_2$  – 5%,  $O_2$  – 16% i  $N_2$  – 79%. Rejestracja parametrów oddechowych odbywała się w każdym oddechu (breath by breath).  $VO_{2max}$  wyznaczony został jako najwyższa wartość  $VO_2$  uzyskana podczas testu progresywnego, po uśrednieniu wyników co 30 sekund. Oznaczono także stężenie mleczanu ( $La^-$ ) testem (Dr Lange 140) na fotomerze (LP 400 Dr Lange, Niemcy). Krew pobierano z opuszka palca ręki w trzeciej minucie po zakończeniu testu.

Tabela 1. Wartości średniej arytmetycznej (powyżej) oraz odchylenia standardowego (poniżej) wybranych cech budowy ciała oraz parametrów fizjologicznych badanych grup.

Grupa	Wiek [lata]	Wysokość [cm]	Masa [kg]	BMI [km/m <sup>2</sup> ]	VO <sub>2max</sub> [l/min]	VO <sub>2max</sub> /kg [ml/min/kg]	La <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mmol/l]
PN (n=9)	19,89 ±28,90	179,33 ±3,97 <sup>c</sup>	72,53 ±5,86	22,59 ±1,78	3,50 ±0,33 <sup>ac</sup>	48,28 ±1,71 <sup>c</sup>	9,46 ±1,24 <sup>ac</sup>
K1 (n=10)	20,00 ±2,75	180,40 ±4,06	74,21 ±4,39	23,15 ±1,28	4,40 ±0,15 <sup>ab</sup>	58,79 ±1,51 <sup>b</sup>	11,68 ±1,90 <sup>a</sup>
K2 (n=11)	19,64 ±2,98	183,91 ±5,07 <sup>c</sup>	75,25 ±5,35	22,22 ±0,84	5,62 ±0,41 <sup>bc</sup>	75,04 ±5,77 <sup>bc</sup>	11,47 ±1,62 <sup>c</sup>

Różnica istotna statystycznie na poziomie  $p < 0,05$ : a – pomiędzy PN i K1, b – pomiędzy K1 i K2, c – pomiędzy PN i K2.

**Obliczenia.** Obliczono wskaźnik BMI – Queteleta II (masa ciała/wysokość ciała<sup>2</sup>). Na podstawie wartości zarejestrowanych w badaniu wysiłkowym wyznaczono następujące parametry: Pmax – maksymalna moc osiągnięta w teście (W), HR<sub>max</sub> – maksymalna częstość skurczów serca (bpm – beats per minute), HR<sub>1'</sub> – częstość skurczów serca w pierwszej minucie restytucji (bpm), HR<sub>5'</sub> – częstość skurczów serca w piątej minucie restytucji (bpm), La<sub>3</sub><sup>-</sup> – poziom stężenia mleczanu we krwi arterializowanej w trzeciej minucie po wysiłku (bpm), VO<sub>2max</sub> – maksymalny pobór tlenu (l/min) oraz (ml/min/kg). Obliczono także takie wskaźniki, jak:  $\Delta HR_{max-1'}$  – bezwzględna różnica pomiędzy HR<sub>max</sub>, a HR<sub>1'</sub> (bpm),  $\Delta HR_{max-5'}$  – bezwzględna różnica pomiędzy HR<sub>max</sub>, a HR<sub>5'</sub> (bpm), %spHR<sub>5'</sub> – procentowy spadek HR z wartości maksymalnej do wartości w piątej minucie restytucji (%). %HR<sub>max</sub> – wartość względna częstości skurczów serca w danej minucie restytucji w odniesieniu do wartości maksymalnej uzyskanej w teście wysiłkowym (%). Obliczono również wskaźnik skuteczności restytucji częstości skurczów serca WSR [18]:

$$WSR = \frac{HR_2 - HR_3}{HR_2 - HR_1} * 100 [\%]$$

Gdzie: HR<sub>1</sub> – spoczynkowa częstość skurczów serca (bpm), HR<sub>2</sub> – najwyższa częstość skurczów serca w wysiłku (bpm), HR<sub>3</sub> – częstość skurczów serca zmierzona w piątej minucie restytucji (bpm).

**Statystyka.** Do opracowania statystycznego danych użyto programu Statistica 12,5. Dla każdej zmiennej wyznaczono średnią arytmetyczną ( $\bar{x}$ ) oraz odchylenie standardowe (Sd). Test Shapiro-Wilka użyto do oceny normalności rozkładu badanych cech. Testem Levene'a posłużono się do oceny jednorodności wariancji. Jednoczynnikowa ANOVA posłużyła do analizy istotności różnic wybranych cech pomiędzy grupami, a ANOVA z powtarzanymi pomiarami w analizie różnic podczas restytucji. W obu posłużono się testem testem post-hoc Bonferroniego. W przypadku niespełnienia warunku o jednorodności wariancji została wykorzystana nieparametryczna analiza wariancji. Dla wybranych zmiennych obliczono współczynnik korelacji rang Spearmana. Poziom  $p < 0,05$  przyjęto za istotny statystycznie i tak rozpatrywano wyniki badań.

### Wyniki

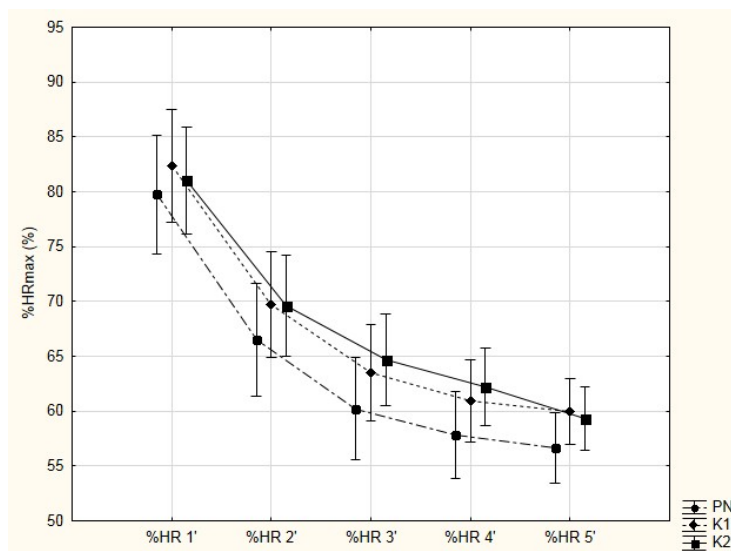
Grupy nie różniły się istotnie pod względem wieku, masy ciała i BMI. Różnice względnych wartości maksymalnego poboru tlenu były istotne pomiędzy PN i K2 oraz K1 i K2, natomiast pomiędzy PN i K1 różnica była na granicy istotności (,056). Spoczynkowe wartości stężenia mleczanu oscylowały w granicach 1,2 – 1,6 (mmol/l) i nie różniły się istotnie pomiędzy grupami. Najniższe powysiłkowe  $La_3^-$  zanotowano w grupie PN i różniło się istotnie pomiędzy grupą K1 i K2 (Tab.1). Moc maksymalna była najwyższa w grupie K2, a najniższa w PN. Różnice uzyskanej mocy maksymalnej nie były istotne statystycznie. Najniższa wartość  $HR_{max}$  wystąpiła w grupie PN natomiast w grupie K1 oraz K2 były takie same (tab. 2).

Skuteczność fazy szybkiej restytucji została przedstawiona za pomocą średniej różnicy pomiędzy  $HR_{max}$ , a  $HR_{1'}$ . Wśród badanych z grup PN i K2 wartość tego parametru była podobna odpowiednio. Najmniejszy spadek stwierdzono u osób o średniej wydolności. Efektywność wolniejszej fazy restytucji analizowano na podstawie różnicy pomiędzy  $HR_{max}$ , a  $HR_{5'}$ . We wszystkich grupach średnia różnica była podobna. Najwyższy WSR zanotowano w PN, najniższy w K1. Różnica pomiędzy tymi grupami była na granicy istotności (,061) (tab. 2). Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy względnymi wartościami w odniesieniu do  $HR_{max}$ . (Rys.1). WSR dodatnio koreluje z  $\Delta HR_{max-1'}$  oraz  $\Delta HR_{max-5'}$  we wszystkich grupach. Pomiędzy WSR i  $\% spHR_{5'}$  istnieje istotna statystycznie korelacja ( $p < 0,001$ ) we wszystkich grupach. Tylko w grupie PN wystąpiła istotna korelacja pomiędzy stężeniem mleczanu po wysiłku, a  $\Delta HR_{max-5'}$  ( $r = -0,81$ ),  $\% spHR_{5'}$  ( $r = -0,73$ ) i WSR ( $r = -0,67$ ).

Tabela 2. Wartości średniej arytmetycznej oraz odchylenia standardowego wybranych parametrów testu progresywnego i restytucji HR w badanych grupach.

Parametr	Grupa		
	PN (n=9)	K1 (n=10)	K2 (n=11)
Pmax [W]	355,56 ±30,05	400,00 ±33,33	409,09 ±88,93
HR <sub>max</sub> [bpm]	187 ±5 <sup>ac</sup>	199 ±12 <sup>a</sup>	199 ±8 <sup>c</sup>
HR <sub>1'</sub> [bpm]	149 ±16	165 ±24	161 ±19
HR <sub>5'</sub> [bpm]	106 ±9 <sup>ac</sup>	120 ±14 <sup>a</sup>	118 ±11 <sup>c</sup>
ΔHR <sub>max-1'</sub> [bpm]	38 ±13	35 ±16	37 ±14
ΔHR <sub>max-5'</sub> [bpm]	81 ±9	80 ±9	81 ±7
WSR [%]	63,93 ±7,29	57,49 ±8,60	58,34 ±6,45

Różnica istotna na poziomie  $p < 0,05$ : a – pomiędzy PN i K1, b – pomiędzy K1 i K2, c – pomiędzy PN i K2.



Rysunek 1. Względne wartości HR (średnia oraz odchylenie standardowe) w odniesieniu do wartości maksymalnej w badanych grupach podczas kolejnych minut restytucji.

W żadnej z grup nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji pomiędzy zmiennymi związanymi z restytucją HR, a poziomem  $VO_{2max}$ . Mimo braku istotności związek między  $VO_{2max}$  i WSR jest najwyższy w grupie K2 ( $r = 0,47$ ;  $p = ,141$ ).



## Dyskusja

Monitoring częstości skurczów serca stosuje się zwykle w celu regulacji intensywności wysiłku oraz w kontroli efektów treningu [18]. Zależność między maksymalnym poborem tlenu, a restytucją HR pozostaje niejasna. Część badaczy podaje, że taki związek nie istnieje [19,20]. Inni natomiast sugerują, że jest umiarkowany lub duży [21,22,23]. Analizując poziom skuteczności restytucji HR w badanych grupach stwierdzono, że najszybciej cecha ta wraca do stanu wyjściowego u piłkarzy. Wyniki te są sprzeczne z wieloma dotychczasowymi badaniami [14,22]. Osoby o wysokiej wydolności tlenowej, posiadają przyspieszoną restytucję częstości skurczów serca. Potwierdzają to wyniki badań Ostojic i wsp. [24] przeprowadzone na piłkarzach, gdzie zanotowano istotne statystycznie różnice w 10 i 20 sekundzie po wysiłku, u osób z  $VO_{2max}$  powyżej 60 (ml/min/kg). W naszych badaniach nie stwierdzono takiej zależności ani w pierwszej ani w piątej minucie restytucji. Hautala i wsp. [21] sugerują wpływ czynnika genetycznego na tempo restytucji. Natomiast Lamberts i wsp. [11] podają że, restytucja HR może być wskaźnikiem wydolności, która powszechnie wyrażana jest również poprzez wartość maksymalnego poboru tlenu. Jednak samo  $VO_{2max}$  ma ograniczoną wartość przewidywania zdolności sportowych. Mając na uwadze charakter dyscyplin sportowych, wyniki badań Ostojic i wsp. [24] wskazują, że kolarze szosowi oraz biegacze długodystansowi mają wolniejszą restytucję od koszykarzy, piłkarzy nożnych, czy piłkarzy ręcznych o zbliżonej wydolności. Należy dodać, że wyniki te są istotne tylko w przypadku restytucji HR po 10 oraz 20 sekundach od zakończenia maksymalnego wysiłku. Takie przedziały czasowe nie były jednak brane pod uwagę w opisywanym badaniu, lecz powinny być przedmiotem oddzielnych analiz.

Aktywność serca w trakcie i po wysiłku w głównej mierze regulowana jest przez autonomiczny układ nerwowy. Aktywacja układu sympatycznego oraz osłabienie pobudzenia nerwu błędnego przyczynia się do wzrostu HR, podczas gdy spadek aktywności układu współczulnego i wzrost pobudzenia dziesiątego nerwu czaszkowego powoduje obniżenie częstości skurczów serca [25,26]. Osoby nisko wydolne wykonują mniejszy wysiłek, niż sportowcy charakteryzujący się wysokim poziomem  $VO_{2max}$  [27]. Wiąże się to ze słabszym pobudzeniem sympatycznego układu nerwowego, którego aktywność po wysiłku jest szybciej wypierana oraz zastępowana przez działanie części przywspółczulnej [28,29]. Spostrzeżenia Buchheit i wsp. [30] wskazują, że działanie autonomicznego układu nerwowego i jego wpływ na regulację pracy serca, w dużej mierze zależy od poziomu

zawartości w organizmie metabolitów pochodzących z przemian anaerobowych (mleczan, jony  $H^+$ ), a także wydzielanej na zakończeniach włókien układu sympatycznego adrenaliny i noradrenaliny. Powodują one opóźnienie pobudzenia, co wiąże się z wolniejszą aktywacją przywspółczulnego układu nerwowego w rezultacie odpowiedzi metabolicznej i chemorefleksyjnej. W obu grupach kolarzy stężenie mleczanu we krwi po wysiłku, było o ponad 2 mmol/l wyższe niż u piłkarzy. Zaskakujące może być, że tylko w tej grupie (PN) wystąpiła istotna statystycznie, ujemna korelacja między powysiłkowym stężeniem mleczanu, a parametrami restytucyjnymi. Zatem, im większa była wydolność oraz poziom mleczanu po wysiłku, tym wolniej regenerowała się częstość skurczów serca. W podobny sposób Buchheit i wsp. [31] tłumaczą szybszą restytucję HR u dzieci, w porównaniu z dorosłymi. Badane dzieci (11-13 lat) wykazują mniejszą akumulację metabolitów po wysiłku, dzięki czemu ich organizm w krótszym czasie wraca do stanu wyjściowego.

WSR we wszystkich grupach prawie idealnie skorelowany jest z  $\Delta HR_{max-5}$ . Stąd wniosek, że skuteczność restytucji HR podczas kilku minut po wysiłku nie jest związana z wielkością spadku wartości HR podczas pierwszych 60 sekund (mimo tego, że wówczas następuje jej największe obniżenie), niż w kolejnych minutach. Tak więc, WSR w głównej mierze podporządkowany jest szybkości wycofywania się aktywności części współczulnej autonomicznego układu nerwowego, które nie następuje natychmiast po wysiłku, a jak donoszą inni autorzy kilka minut później [29].

Niniejsze badanie przyniosło kilka spostrzeżeń, jednak należy uwzględnić występujące w nim ograniczenia. Restytucja HR była mierzona tylko przez pięć minut po wysiłku. Powrót do wartości spoczynkowych trwa znacznie dłużej [5]. Po zakończonym badaniu ochotnicy pozostawali w pozycji siedzącej na cykloergometrze, podłączeni do aparatury pomiarowej, co z pewnością powodowało podwyższoną aktywność układu krążenia oraz nerwowego [30]. W przypadku badań innych autorów [23,32] bezpośrednio po wysiłku badani przechodzili do pozycji leżącej, co powodowało szybsze uspokojenie organizmu. Ponadto, w badaniu wzięła udział nieliczna grupa zawodników trenujących piłkę nożną oraz kolarstwo. Obie dyscypliny różnią się specyfiką wysiłku startowego (treningowego). Powoduje to inny rodzaj adaptacji organizmu do wysiłku w porównaniu z kolarzami szosowymi. Co więcej, osiągnięta w teście wysiłkowym moc maksymalna, a w konsekwencji jego całkowita praca mogą mieć wpływ na tempo restytucji. Stąd sugeruje się, aby mierzyć ją po jednakowym wysiłku odnośnie intensywności i czasu trwania [11].

## **Wnioski**

1. Najszybszą restytucję częstości skurczów serca, także w odniesieniu do  $HR_{max}$  zaobserwowano w grupie badanych piłkarzy.
2. Kolarze szosowi pomimo istotnych różnic w poziomie wydolności fizycznej nie różnią się istotnie względem restytucji częstości skurczów serca.
3. Skuteczność restytucji HR w trakcie pięciu minut po wysiłku nie jest determinowana przez wielkość spadku wartości tego parametru w pierwszych 60 sekundach.
4. Wskaźnik skuteczności restytucji (WSR) i procentowy spadek HR w piątej minucie restytucji ( $\%spHR_5$ ) mogą być używane zamiennie.

## **Piśmiennictwo**

1. Iaia F. M., Rampinini E., Bangsbo J. (2009). „High-intensity” training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 4:291-306
2. Bogdanis C. G., Papaspyrou A., Souglis A. G., Theos A., Sotiropoulos A., Maridaki M. (2011). Effects of two different half-squat training programs on fatigue during repeated cycling sprints in soccer players. *J. Strength. Cond. Res.* 25(7)
3. Joyner M.J., Coyle E.F. Endurance exercise performance: the physiology of champion. *Journal of Physiology* (2008), 586 (1):35-44.
4. Poole D.C., Richardson R.S. Determinants of oxygen uptake – implications for exercise testing. *Sports Medicine* (1997) (5):308-320
5. Tomlin D. L., Wenger H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 31(1):1-11
6. Bassett D. R., Howley E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(1)
7. Bentley D. J., Newell J., Bishop D. (2007). Incremental exercise test design and analysis. *Sports. Med.* 37(7)
8. Durocher J. J., Leetun D. T., Carter J. R. (2008). Sport-specific assessment of lactate threshold and aerobic capacity throughout a collegiate hockey season. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33:1165-1171
9. Lewis, M. I., Fournier, M., Wang, H., Storer, T. W., Casaburi, R., & Kopple, J. D. (2015). Effect of Endurance and/or Strength Training on Muscle Fiber Size, Oxidative Capacity and Capillarity in Hemodialysis Patients. *Journal of Applied Physiology*, jap-01084.

10. Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(4), 603-612.
11. Lamberts RP, Swart J, Noakes TD, Lambert MI. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* (2009); 105:705–713
12. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Eng J Med* (1999); 341:1351-57.
13. Vianna, J. M., Werneck, F. Z., Coelho, E. F., Damasceno, V. O., & Reis, V. M. (2014). Oxygen Uptake and Heart Rate Kinetics after Different Types of Resistance Exercise. *Journal of Human Kinetics*, 42, 235–244.
14. Du N., Bai S., Oguri K., Kato Y., Matsumoto I., Kawase H., et. al. (2005). Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female maraton runners. *J. Sports Sci. Med.* 4:9-17
15. Borsheim E., Bahr R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med.* 33 (14)
16. Zatoń M., Michalik K., 2015, Effects of interval training-based glycolytic capacity on physical fitness in recreational long-distance runners. *Human Movement*, 16(2):71-77.
17. Zatoń M., Jastrzębska A. (eds.), *Physiological tests in the assessment of physical fitness [in Polish]*. PWN, Warszawa (2010).
18. Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European journal of applied physiology*, 112(2), 711-723.
19. Mourot, L., Fabre, N., Andersson, E., Willis, S., Buchheit, M., & Holmberg, H. (2015). Cross-Country Skiing and Postexercise Heart-Rate Recovery. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 11-16.
20. Ranadive, S. M., Fahs, C. A., Yan, H., Rossow, L. M., Agliovlastis, S., & Fernhall, B. (2011). Heart rate recovery following maximal arm and leg-ergometry. *Clinical autonomic research*, 21(2), 117-120.
21. Hautala, A. J., Rankinen, T., Kiviniemi, A. M., Mäkikallio, T. H., Huikuri, H. V., Bouchard, C., et. al. (2006). Heart rate recovery after maximal exercise is associated with acetylcholine receptor M2 (CHRM2) gene polymorphism. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), H459-H466.

22. Boulosa, D. A., Tuimil, J. L., Leicht, A. S., & Crespo-Salgado, J. J. (2009). Parasympathetic modulation and running performance in distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 626-631.
23. Ostojic S. M., Stojanovic M. D., Calleja – Gonzalez J. (2011) Ultra short-term heart rate recovery after Maxima exercise: relations to aerobic power in sportsmen. *Chinese Journal of Physiology* 54(2)
24. Ostojic, S. M., Markovic, G., Calleja-Gonzalez, J., Jakovljevic, D. G., Vucetic, V., & Stojanovic, M. D. (2010). Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. *European journal of applied physiology*, 108(5), 1055-1059.
25. Buchheit M., Laursen P. B., Ahmaidi S. (2007) Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 293:133-141
26. Miyamoto T., Kawada T., Takaki H., Inagaki M., Yanagiya Y., Jin Y., Sugimachi M., et. al. (2003) High plasma norepinephrine attenuates the dynamic heart rate response to vagal stimulation. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 284:H2412-H2418
27. Kusy, K., & Zieliński, J. (2014). Aerobic capacity in speed-power athletes aged 20–90 years vs endurance runners and untrained participants. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 68-79.
28. Daanen, H. A., Lamberts, R. P., Kallen, V. L., Jin, A., & Van Meeteren, N. L. (2012). A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes.
29. Borresen J., Lambert M. (2008) Autonomic control of heart rate during and after exercise. Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.* 38(8):633-646.
30. Buchheit, M., Al Haddad, H., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2009). Effect of body posture on postexercise parasympathetic reactivation in men. *Experimental physiology*, 94(7), 795-804.
31. Buchheit M., Duche P., Laursen P. B., Ratel S. (2010). Postexercise heart rate recovery in children: relationship with power output, blood pH and lactate. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 35
32. Shelter K., Marcus R., Froelicher V. F., Vora S., Kalisetti D., Prakash M., et. al. (2001) Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *J. Am. Coll. Cardiol.* 38:1980-1987.