

ROKICKI, Sebastian, SKOCZYLAS, Kamila, SCHOK, Katarzyna & MIKULSKA, Julia. Endurance Training and Cardiovascular Health: Mechanism and Clinical Implications. Journal of Education, Health and Sport. 2023;39(1):98-104. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2023.39.01.008> <https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/43846> <https://zenodo.org/record/8033529>

The journal has had 40 points in Ministry of Education and Science of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of December 21, 2021. No. 32343. Has a Journal's Unique Identifier: 201159. Scientific disciplines assigned: Physical Culture Sciences (Field of Medical sciences and health sciences); Health Sciences (Field of Medical Sciences and Health Sciences). Punkty Ministerialne z 2019 - aktualny rok 40 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 21 grudnia 2021 r. Lp. 32343. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201159. Przynależność dyscypliny naukowej: Nauki o kulturze fizycznej (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu); Nauki o zdrowiu (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu).
© The Authors 2023;
This article is published with open access at License Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, 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 Share alike. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/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: 04.05.2023. Revised: 05.06.2023. Accepted: 12.06.2023. Published: 13.06.2023.

Endurance Training and Cardiovascular Health: Mechanism and Clinical Implications.

Sebastian Rokicki

Samodzielny Publiczny Specjalistyczny Szpital Zachodni im. św. Jana Pawła II w Grodzisku Mazowieckim

ORCID: 0009-0003-7548-7677

e-mail: sebastianrokicki@icloud.com

Kamila Skoczyłas

Szpital Bielański im. Ks. Jerzego Popiełuszki SPZOZ w Warszawie

ORCID: 0000-0002-9788-605X

e-mail: kamilaskoczyłas0203@gmail.com

Katarzyna Schok

Szpital Bielański im. Ks. Jerzego Popiełuszki SPZOZ w Warszawie

ORCID: 0009-0003-3373-8300

e-mail: kasiaschok@gmail.com

Julia Mikulska

Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa

ORCID: 0009-0003-7452-8983

e-mail: jkmikulska@gmail.com

ABSTRACT

Introduction and objective:

Cardiovascular diseases are the leading cause of death worldwide, but regular physical activity can help reduce the risk of heart disease. Intensive endurance training brings many undeniable benefits but recently there have been scientific studies regarding potential complications that this type of physical activity may cause. This publication attempts to analyze whether the intensity of endurance training can reach a level at which it becomes harmful to the health of athletes.

Materials and methods:

This article reviews the literature on the impact of physical activity on cardiovascular health, with particular emphasis on endurance training. Articles were searched by key words, e.g. endurance training, cardiovascular health, marathon, running, cycling in various configurations, in Pubmed, Medline, Google Scholar databases.

Actual state of knowledge:

Regular physical activity is commonly regarded as the best preventive factor for cardiovascular diseases. Intensive endurance training significantly increases the efficiency of the cardiovascular system. Despite the significant benefits of regular endurance training, scientific reports suggest that athletes practicing this type of activity are more prone to developing certain cardiovascular disorders, such as coronary heart disease, atrial fibrillation, sinus bradycardia, and myocardial fibrosis.

Colclusion:

Regular and moderate aerobic physical activity is key to maintain optimal health. Endurance athletes develop a series of adaptations in the cardiovascular system, exhibit greater survival rates, and are less likely to experience sudden cardiac death compared to those who do not engage in regular physical activity. There is evidence suggesting a higher incidence of certain cardiovascular complications compared to healthy individuals who do not engage in sports. The reasons for these changes and their impact should be the subject of further research.

Keywords: endurance training, physical activity, cardiovascular risk, marathon running, running

ABSTRAKT

Wprowadzenie i cel pracy:

Choroby układu krążenia są główną przyczyną zgonów na świecie. Regularna aktywność fizyczna zmniejsza ryzyko chorób sercowo-naczyniowych. Intensywny trening wydolnościowy przynosi wiele niewątpliwych korzyści, ale w ostatnim czasie pojawiły się prace naukowe dotyczące potencjalnych powikłań, jakie ten rodzaj aktywności fizycznej może wywołać. W niniejszej publikacji dokonano próby odpowiedzi na pytanie czy intensywność treningu wytrzymałościowego może osiągnąć poziom, na którym zaczyna on być szkodliwy dla zdrowia sportowców.

Materialy i metody:

W artykule przedstawiono przegląd literatury na temat wpływu aktywności fizycznej na układ sercowo-naczyniowy, ze szczególnym uwzględnieniem treningu wytrzymałościowego. Artykuły wyszukiwano przy użyciu słów kluczowych: endurance training, physical activity, cardiovascular health, marathon, running, cycling w różnych konfiguracjach w bazach danych Pubmed, Medline, Google Scholar, Elsevier.

Aktualny stan wiedzy:

Regularna aktywność fizyczna jest powszechnie uważana za najlepszy czynnik prewencyjny chorób sercowo-naczyniowych. Intensywny trening wydolnościowy znacznie zwiększa wydajność układu sercowo-naczyniowego. Pomimo istotnych korzyści wynikających z regularnego treningu wytrzymałościowego, doniesienia naukowe sugerują, że sportowcy praktykujący ten rodzaj aktywności są bardziej narażeni na występowanie pewnych zaburzeń układu sercowo-naczyniowego, takich jak choroba wieńcowa, migotanie przedsionków, bradykardia zatokowa oraz włóknienie mięśnia sercowego.

Wnioski:

Regularna i umiarkowana aktywność fizyczna o charakterze aerobowym jest kluczowa dla zachowania optymalnego stanu zdrowia. Sportowcy wytrzymałościowi wykształcają szereg adaptacji w układzie sercowo-naczyniowym, cechują się większą przeżywalnością oraz rzadszym występowaniem nagłych zgonów sercowych w porównaniu z populacją nieuprawiającą regularnej aktywności fizycznej. Istnieją dowody sugerujące większą częstość występowania w tej grupie niektórych powikłań sercowo-naczyniowych w porównaniu ze zdrowymi osobami nie uprawiającymi sportu. Przyczyny występowania tych zmian i ich wpływ powinny być przedmiotem dalszych badań.

Słowa kluczowe: trening wytrzymałościowy, aktywność fizyczna, ryzyko sercowo-naczyniowe, bieg maratoński, bieganie

Wstęp:

Choroby związane z układem krążenia pozostają najczęstszą przyczyną zgonów na całym świecie, szacuje się, że w 2019 roku zmarło z ich powodu 18,56 miliona osób, co stanowiło 33,1% wszystkich zgonów. Istnieją przekonujące dowody potwierdzające korzyści zdrowotne regularnej aktywności fizycznej. Regularne ćwiczenia są związane z mniejszą częstością występowania i lepszą kontrolą czynników ryzyka chorób układu krążenia, takich jak nadciśnienie tętnicze, dyslipidemia, otyłość i cukrzyca. Zgodnie z wytycznymi WHO: Wszyscy dorośli powinni wykonywać 150-300 minut umiarkowanej intensywności lub 75-150 minut wysokiej intensywności aktywności fizycznej aerobowej lub ich równoważną kombinację w ciągu tygodnia.¹ Regularna aktywność fizyczna jest zatem proponowana jako jedno z najskuteczniejszych działań zapobiegawczych w stylu życia, przy czym 150 minut umiarkowanego wysiłku aerobowego na tydzień zmniejsza niekorzystne zdarzenia związane z chorobą wieńcową (CAD) o 50%.² W ostatnich latach coraz więcej osób w starszym wieku przekracza te zalecenia, podejmując intensywną aktywność fizyczną i uczestnicząc w masowych wydarzeniach sportowych.³

Fizjologiczne adaptacje układu sercowo-naczyniowego:

Intensywny trening wytrzymałościowy prowadzi do szeregu modyfikacji w układzie sercowo-naczyniowym sportowców, zwiększa wydajność serca pięciokrotnie do siedmiokrotnie, aby zapewnić odpowiednią ilość dostarczanego tlenu do mięśni, co osiąga się poprzez szereg adaptacji fizjologicznych, strukturalnych i funkcjonalnych serca, zwanych zbiorczo "sercem sportowca". Wysokie wymagania stawiane układowi krążenia podczas ćwiczeń wytrzymałościowych wyjaśniają, dlaczego ci sportowcy rozwijają adaptacje sercowo-naczyniowe. U sportowców wytrzymałościowych obserwuje się wzrost grubości ściany lewej komory o 15-20% i powiększenie jamy lewej (10%) i prawej komory serca (24%).⁴ Zrozumienie adaptacji serca u sportowców w wieku powyżej 35 lat jest skomplikowane ze względu na interakcję pomiędzy adaptacjami fizjologicznymi na skutek ćwiczeń a efektami starzenia się serca. Badania sugerują większe przerastanie mięśnia lewej komory i powiększanie się jamy lewego przedsionka, a mniejszy wzrost objętości lewej komory porównując do sportowców młodszych.⁵

Pozytywny wpływ aktywności fizycznej na zdrowie:

Metaanaliza badająca związek między aktywnością fizyczną (mierzoną za pomocą samooceny lub oceny obiektywnej) a śmiertelnością wśród 883 372 osób wykazała, że grupy aktywnych fizycznie miały o 35% mniejsze ryzyko zgonu z powodu chorób układu sercowo-naczyniowego oraz o 33% mniejsze ryzyko zgonu ogółem przez 20 lat.⁶ Większa sprawność układu sercowo-naczyniowego również zmniejsza ryzyko hospitalizacji z powodu niewydolności serca w starszym wieku, a każdy wzrost o 1 jednostkę metaboliczną (MET) sprawności zmniejsza to ryzyko o 20%.⁷ Podobnie, wśród pacjentów z rozpoznaną niewydolnością serca trening fizyczny poprawia maksymalną konsumpcję tlenu (VO₂ max) i zmniejsza ryzyko hospitalizacji z powodu niewydolności serca oraz śmiertelność odpowiednio o 28% i 35%.⁸ Ćwiczenia również spowalniają starzenie się naczyń krwionośnych. Badanie obejmujące ponad 130 osób wykazało, że trening i ukończenie

pierwszego maratonu w wolnym tempie przyniosło korzystne efekty w zakresie ciśnienia krwi tętniczej i sztywności tętnic, co przełożyło się na redukcję wieku naczyniowego o 4 lata. Najwięcej skorzystali starsi i wolniejsi maratończycy.⁹

Badanie przeprowadzone na 55,137 osobach o średnim wieku 44 lata wykazało, że bieganie przez 5-10 minut dziennie z prędkością poniżej 10 km/h było wystarczające do zmniejszenia śmiertelności ogółem o 38%. Jednakże, maksymalne korzyści uzyskiwane były przez osoby biegnące 10-20 km tygodniowo podzielone na trzy sesje z prędkością 10-11 km/h.¹⁰ Bieganie ponad sześć razy w tygodniu z prędkością powyżej 13 km/h i przebieganie ponad 32 kilometrów tygodniowo nie dawało dodatkowego zmniejszenia śmiertelności w porównaniu do biegania od 1 do 3 razy w tygodniu z prędkością 10-11 km/h i przebieganiem od 10 do 20 km tygodniowo. Dalsza analiza sugerowała spadek trendu zmniejszania śmiertelności z przyczyn sercowo-naczyniowych i ogólnej w porównaniu z osobami nie biegającymi, chociaż przewaga w mniejszej śmiertelności z przyczyn sercowo naczyniowych i ogólnej osób trenujących nad osobami nie trenującymi utrzymywała się niezależnie od tygodniowej objętości treningowej, w związku z tym nie wykazano też górnej granicy, przy której ćwiczenia stawałyby się szkodliwe.¹¹

Ryzyko wystąpienia nagłej śmierci sercowej:

Mimo ogólnych korzyści w postaci zmniejszenia ryzyka śmiertelności, ćwiczenia fizyczne mogą zwiększać ryzyko nagłej śmierci sercowej (SCD) u osób z chorobą serca. Szacuje się, że całkowita zachorowalność na SCD podczas ćwiczeń wytrzymałościowych wynosi 1 na 50 000 uczestników.¹² U młodych sportowców (w wieku ≤ 35 lat) większość nagłych zgonów związanych z wysiłkiem fizycznym wynika z dziedzicznych kardiomiopatii i kanałopatii lub wad wrodzonych naczyń wieńcowych.¹³ Do niedawna uważano, że przerostowa kardiomiopatia jest najczęstszą przyczyną zgonów wśród młodych sportowców, choć jeden rejestr wskazuje, że arytmogenna kardiomiopatia prawej komory (ARVC) była dominującą przyczyną.¹⁴ SCD podczas wytrzymałościowego wysiłku dotyka przede wszystkim mężczyzn w średnim wieku (w wieku od 35 do 65 lat). Miażdżycza wieńcowa odpowiada za około 80% tych zgonów.⁵ Ćwiczenia zwiększają ryzyko pęknięcia blaszki miażdżycowej i wynikającego z tego zawału serca nawet dziesięciokrotnie. Ryzyko ostrego zawału serca i SCD podczas treningu wytrzymałościowego jest odwrotnie proporcjonalne do ilości aktywności fizycznej w życiu codziennym, a osoby wcześniej prowadzące siedzący tryb życia mają 50-krotnie większe ryzyko zawału serca i 7-krotnie większe ryzyko SCD podczas ćwiczeń niż osoby, które regularnie nie ćwiczą.¹⁵

Ryzyko występowania choroby wieńcowej:

Obecnie pojawiają się kontrowersje związane z treningiem wydolnościowym o wysokiej intensywności i częstszym występowaniem w tej populacji choroby wieńcowej, związek przyczynowo skutkowy jest w tym wypadku trudny do ustalenia z powodu wysokiej częstości (52%) występowania byłych palaczy tytoniu wśród maratończyków i przez nieznanie wcześniejsze czynniki ryzyka.¹⁶ Obecność byłych palaczy i rodzinne występowanie choroby wieńcowej są czynnikami ryzyka, które mogły wpłynąć na zmiany w stylu życia, prowadzące do zwiększonej intensywności ćwiczeń u osób mających wyższe ryzyko sercowo-naczyniowe. Warto zwrócić uwagę również na występowanie istotnej różnicy w budowie blaszki miażdżycowej u osób aktywnych - większy odsetek blaszek miażdżycowych zwapniałych, co za tym idzie znacznie bardziej stabilnych, mniej podatnych na pęknięcie.⁵ Potwierdza to badanie DeFina i inni które wykazało wyższą częstość obecności blaszek miażdżycowych, ale bez znaczącego wzrostu śmiertelności i śmiertelności z przyczyn sercowo-naczyniowych u osób z wysokim poziomem aktywności fizycznej.¹⁷ Lin i inni ocenili morfologię tętnic wieńcowych u ośmiu biegaczy przed i po skrajnie wyczerpującym, 140-dniowym wyścigu.¹⁸

Czterech biegaczy z czynnikami ryzyka chorób sercowo-naczyniowych (palenie tytoniu, nadciśnienie) miało miażdżycę tętnic wieńcowych na początku badania, która nasiliła się po wyścigu. Pozostali czterej biegacze nie mieli miażdżycy tętnic wieńcowych na początku badania i nie rozwinęli nowych blaszek miażdżycowych po wyścigu. Czynniki ryzyka chorób sercowo-naczyniowych i blaszki miażdżycowe mogą być zatem warunkami wstępnymi do indukowania dalszej miażdżycy przez ćwiczenia fizyczne.

Ryzyko występowania migotania przedsionków:

Podobnie jak w przypadku choroby wieńcowej, związek między ćwiczeniami a migotaniem przedsionków (AF) nie jest prosty. W przypadku ćwiczeń należy wziąć pod uwagę zarówno intensywność, jak i objętość ćwiczeń. Z jednej strony, niski lub umiarkowany intensywny trening wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem wystąpienia migotania przedsionków (AF). W 2008 roku Mozaffarian i inni opublikowali dane dotyczące mniejszej liczby zachorowań na AF u osób w wieku 65 lat i starszych, które uprawiały niski lub umiarkowany trening fizyczny, takie jak chodzenie.¹⁹ W badaniu przeprowadzonym w Tromsø na ponad 20 000 dorosłych, badacze prospektywnie ocenili związek między aktywnością fizyczną a AF zdiagnozowanym w szpitalu, wykazując o 19% mniejsze ryzyko AF u umiarkowanie aktywnych osób. Z drugiej strony, większa objętość treningu zwiększa ryzyko wystąpienia AF. Badania wykazują większą liczbę zachorowań na AF, gdy trening wytrzymałościowy był wykonywany częściej (tj. > 4/tydzień) i dłużej (tj. > 5 godzin/tydzień) lub gdy występowała historia życiowa > 2000 godzin.²⁰ Metaanaliza z 2009 roku wykazała, że zawodowi sportowcy wytrzymałościowi byli 5,3 razy bardziej narażeni na wystąpienie AF niż próba kontrolna.²¹

Ryzyko wystąpienia włóknienia mięśnia sercowego:

Inny potencjalnie niekorzystny wpływ ćwiczeń na serce to włóknienie mięśnia sercowego (MF). Wykazano zróżnicowany profil bliznowacenia mięśnia sercowego u sportowców wytrzymałościowych, jeśli chodzi o występowanie, lokalizację, rozległość, etiologię i znaczenie kliniczne. Udokumentowano wyższą częstość występowania włóknienia mięśnia sercowego, zdefiniowaną jako późne wzmocnienie gadolinu na obrazowaniu rezonansu magnetycznego serca u pozornie zdrowych maratończyków w porównaniu z próbą kontrolną złożoną z osób w tym samym wieku (12% vs. 4%).⁴ Zaproponowano kilka etiologii włóknienia mięśnia sercowego, między innymi związek ze zwężeniem światła tętnic wieńcowych przez blaszkę miażdżycową, jednak w niektórych przypadkach włóknienia mięśnia sercowego nie znaleziono żadnych nieprawidłowości tętnic wieńcowych, co może sugerować nieaterosklerotyczne mechanizmy (skurcz naczyń wieńcowych, zwiększona krzepliwość, mikrozatory).⁵

Ryzyko wystąpienia bradykardii zatokowej:

Bradykardia zatokowa i przerwy zatokowe są częste u sportowców wytrzymałościowych. Powszechnie akceptowanym wyjaśnieniem tego zjawiska jest tłumienie węzła zatokowo-predsionkowego spowodowane wysokim napięciem nerwu błędnego, jednak nowoczesne badania na zwierzętach sugerują, że redukcja ilości kanałów If (funny) może być odpowiedzialna za bradykardię.²² Te obserwacje prowadzą do spekulacji, że dożywotnie uprawianie sportów wytrzymałościowych może sprzyjać niekorzystnej przebudowie układu bodźco-przewodzącego. W innym badaniu, byli kolarze mieli wyższą częstotliwość występowania choroby węzła zatokowego (16% w porównaniu z 2%) oraz większą potrzebę wszczepienia stymulatora serca z powodu bradyarytmii (3% w porównaniu z 0%) niż relatywnie mało aktywni golfiści.²³

Podsumowanie:

Regularna i umiarkowana aktywność fizyczna o charakterze aerobowym jest kluczowa dla zachowania optymalnego stanu zdrowia. Właściwe podejście do aktywności fizycznej może przynieść wiele korzyści dla organizmu, w tym zmniejszenie ryzyka wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych, cukrzycy, nadciśnienia, a także poprawę kondycji fizycznej. Trening wytrzymałościowy znajduje się na skrajnym końcu spektrum objętości treningowej przez co wywołuje szczególne adaptacje w układzie sercowo-naczyniowym. Dowody sugerują większą częstość występowania w tej populacji zwapnienia naczyń wieńcowych, włóknienia mięśnia sercowego, migotania przedsionków i choroby węzła zatokowego w porównaniu ze zdrowymi osobami nie uprawiającymi sportu. Mechanizmy, w których dochodzi do rozwoju tych zaburzeń są wciąż niedostatecznie poznane, a ich kliniczne znaczenie pozostaje przedmiotem dyskusji. Obecne dane nie wykazują związku pomiędzy tymi wynikami, a śmiertelnością z przyczyn sercowo-naczyniowych. Konieczne są dalsze badania, dlaczego tylko niektórzy sportowcy wykazują potencjalnie niekorzystne przemodelowanie mięśnia sercowego. Sportowcy wytrzymałościowi pomimo tych zmian cechują się większą przeżywalnością od populacji nie uprawiającej regularnej aktywności fizycznej, a nagłe zgony sercowe pozostają rzadkie. To, czy istnieje próg, w którym ryzyka treningu wytrzymałościowego przeważają nad korzyściami, pozostaje bez odpowiedzi.

References:

1. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput JP, Chastin S, Chou R, Dempsey PC, DiPietro L, Ekelund U, Firth J, Friedenreich CM, Garcia L, Gichu M, Jago R, Katzmarzyk PT, Lambert E, Leitzmann M, Milton K, Ortega FB, Ranasinghe C, Stamatakis E, Tiedemann A, Troiano RP, van der Ploeg HP, Wari V, Willumsen JF. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020 Dec;54(24):1451-1462. doi: 10.1136/bjsports-2020-102955. PMID: 33239350; PMCID: PMC7719906.
2. Blair SN, Morris JN. Healthy hearts--and the universal benefits of being physically active: physical activity and health. *Ann Epidemiol* 2009;19:253–6.
3. Lepers R, Cattagni T. Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? *Age* 2012;34:773–81.
4. Maron, B. J. Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 7, 190–203 (1986).
5. Merghani A, Maestrini V, Rosmini S, et al. Prevalence of subclinical coronary artery disease in masters endurance athletes with a low atherosclerotic risk profile. *Circulation* 2017;136:126–37.
6. Nocon, M. et al. Association of physical activity with all-cause and cardiovascular mortality: a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Cardiovasc. Prev. Rehabil.* 15, 239–246 (2008)
7. Berry, J. D. et al. Physical fitness and risk for heart failure and coronary artery disease. *Circ. Heart Fail.* 6, 627–634 (2013).
8. ExTraMATCH Collaborative. Exercise training meta-analysis of trials in patients with chronic heart failure (ExTraMATCH). *BMJ* 328, 189 (2004).
9. Bhuvana, A. N. et al. Training for a first-time marathon reverses age-related aortic stiffening. *J. Am. Coll. Cardiol.* 75, 60 (2020).
10. Lee, D.-C. et al. Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk. *J. Am. Coll. Cardiol.* 64, 472–481 (2014).
11. Lee, D.-C., Lavie, C. J., Sui, X. & Blair, S. N. Running and mortality: is more actually worse? *Mayo Clin. Proc.* 91, 534–536 (2016).
12. Maron, B. J., Poliac, L. C. & Roberts, W. O. Risk for sudden cardiac death associated with marathon running. *J. Am. Coll. Cardiol.* 28, 428–431 (1996).

13. Finocchiaro, G. et al. Etiology of sudden death in sports: insights from a United Kingdom regional registry. *J. Am. Coll. Cardiol.* 67, 2108–2115 (2016)
14. Corrado, D., Basso, C., Schiavon, M. & Thiene, G. Does sports activity enhance the risk of sudden cardiac death? *J. Cardiovasc. Med.* 7, 228–233 (2006).
15. Siscovick, D. S., Weiss, N. S., Fletcher, R. H. & Lasky, T. The incidence of primary cardiac arrest during vigorous exercise. *N. Engl. J. Med.* 311, 874–877 (1984).
16. Möhlenkamp S, Lehmann N, Breuckmann F, et al. Running: the risk of coronary events : Prevalence and prognostic relevance of coronary atherosclerosis in marathon runners. *Eur Heart J* 2008;29:1903–10.
17. DeFina LF, Radford NB, Barlow CE, et al. Association of all-cause and cardiovascular mortality with high levels of physical activity and concurrent coronary artery calcification. *JAMA Cardiol* 2019;4:174–81.
18. Lin J, DeLuca JR, Lu MT, et al. Extreme endurance exercise and progressive coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2017;70:293–5.
19. Mozaffarian D, Furberg CD, Psaty BM, et al. Physical activity and incidence of atrial fibrillation in older adults: the cardiovascular health study. *Circulation* 2008;118:800–7.
20. Aizer A, Gaziano JM, Cook NR, et al. Relation of vigorous exercise to risk of atrial fibrillation. *Am J Cardiol* 2009;103:1572–7.
21. Abdulla J, Nielsen JR. Is the risk of atrial fibrillation higher in athletes than in the general population? A systematic review and metaanalysis. *Europace* 2009;11:1156–9.
22. D’Souza, A., Sharma, S. & Boyett, M. R. CrossTalk opposing view: bradycardia in the trained athlete is attributable to a downregulation of a pacemaker channel in the sinus node. *J. Physiol.* 593, 1749–1751 (2015)
23. Baldesberger, S. et al. Sinus node disease and arrhythmias in the long-term follow-up of former professional cyclists. *Eur. Heart J.* 29, 71–78 (2008).