

Medicinski fakultet, Beograd  
Institut za fiziologiju<sup>1</sup>  
Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, Beograd<sup>2</sup>  
Klinički centar Srbije  
Institut za kardiovaskularne bolesti<sup>3</sup>

Pregledni članak  
Review article  
UDK 612.17.014.42  
DOI 10.2298/MPNS0704156P

## ELEKTROFIZIOLOŠKE KARAKTERISTIKE SPORTSKOG SRCA

### ELECTROPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ATHLETE'S HEART

Dejana POPOVIĆ<sup>1</sup>, Predrag BRKIĆ<sup>1</sup>, Dejan NEŠIĆ<sup>1</sup>, Stanimir STOJILJKOVIĆ<sup>2</sup>, Ljiljana ŠĆEPANOVIĆ<sup>1</sup> i Miodrag Č. OSTOJIĆ<sup>3</sup>

**Sažetak** - "Sindrom sportskog srca" predstavlja morfološke, funkcionalne i elektrofiziološke promene, nastale kao posledica adaptacije kardiovaskularnog sistema na fizički trening u zoni maksimalnih opterećenja. Uloga ovih promena je da se aktivnim mišićima dopremi dovoljna količina kiseonika pri ponavljanim naporima velikog intenziteta. Sposobnost organizma da ostvari fizičku aktivnost velikog intenziteta je zasnovana na funkcionisanju niza organa i organskih sistema, ali kardiovaskularni sistem ima centralnu ulogu u ovom procesu, te su i neurohumoralna preostrojanja prilikom ovakve aktivnosti usmerena uglavnom na funkcionisanje ovog sistema. Ta preostrojanja se odnose na depresiju simpatičke aktivnosti i favorizovanje parasimpatičke aktivnosti, te posledično, sportsko srce karakteriše i drugačije elektrofiziološke karakteristike u odnosu na srce nesportista. Sportsko srce je "siva zona" između fiziologije i patologije, područje nepoznato i podložno različitim tumačenjima. S obzirom na česte primere iznenadne srčane smrti u sportu, važno je razlikovanje promena na srcu koje nastaju kao posledica adaptacije na fizičku aktivnost, od promena karakterističnih za neka patološka stanja.

**Ključne reči:** Kardiološke elektrofiziološke metode; Sport; Srce + fiziologija

#### Uvod

Sposobnost organizma da ostvari fizičku aktivnost velikog intenziteta je zasnovana na funkcionisanju niza organa i organskih sistema, ali kardiovaskularni sistem ima centralnu ulogu u ovom procesu. Da bi se aktivnim mišićima dopremila dovoljna količina kiseonika pri ponavljanim naporima velikog intenziteta srce podleže morfološkim, funkcionalnim i elektrofiziološkim promenama, koje nazivamo "sindromom sportskog srca" ili samo sportskim srcem, tj. atletskim srcem [1].

Atletsko srce je veoma kompleksan fenomen, nedovoljno istražen, kako u anatomskom i funkcionalnom smislu, tako i sa aspekta njegovog odnosa prema zdravlju. Ono je "siva zona" između fiziologije i patologije, dakle područje nepoznato i podložno različitim tumačenjima. Definiše se kao skup morfoloških i funkcionalnih karakteristika srca koje se razvijaju tokom vremena pod uticajem sportskog treninga. Odlikuje se povećanjem srca u celini [2], sa povećanjem njegovih šupljina i/ili hipertrofijom srčanog mišića, kao i povećanjem ekonomičnosti srčanog rada u mirovanju i u uslovima fizičkog opterećenja sa proširivanjem njegovih maksimalnih funkcionalnih kapaciteta. Posledica je adaptacije kardiovaskularnog sistema na fizički trening u zoni maksimalnih opterećenja [3].

Vežbanje u submaksimalnoj zoni fizičkog opterećenja, karakterisano je relativnom usklađenošću između potreba aktivnih tkiva za kiseonikom i sposobnosti kardiovaskularnog sistema da te potrebe zadovolji. Što je utreniranost veća, to je i sposobnost kardiovaskularnog sistema u ovom smislu veća. U ovoj zoni opterećenja osnovni adaptacioni mehanizam predstavlja prilagođavanje regulatornih

neurohumoralnih funkcija i ono što je karakteristično to je da su interindividualne razlike vrednosti intenziteta ovog nivoa opterećenja veoma velike. Takođe, ovi submaksimalni nivoi su veoma širokog raspona kod jedne individue, i osciluju u zavisnosti od stepena utreniranosti [3,4].

Maksimalno fizičko opterećenje, sa druge strane, karakterisano je dostizanjem funkcionalnih limita srca i krvnih sudova. U ovoj zoni opterećenja efekti regulacionih mehanizama na kardiovaskularni sistem su mali, pa prema tome uticaj fizičkog treninga u ovoj zoni opterećenja ne utiče na neurohumoralne regulacione mehanizme. Za ovu zonu opterećenja daleko su značajnije morfološke i funkcionalne karakteristike samog srca. Interindividualne karakteristike su na ovom nivou opterećenja daleko manje nego na submaksimalnom. Treniranje u ovoj zoni, tzv. zoni maksimalizacije, dovodi do morfoloških i funkcionalnih promena srca i krvnih sudova, što terminološki nazivamo "sportskim srcem" [3,4].

Ako sumiramo zaključke Astranda i Rhodola, koji su analizirali faktore koji utiču na radnu efikasnost srca, uzimajući u obzir i La Placeov zakon, može se reći da srce ima bolju radnu efikasnost ako je dilatirano (tj. povećano enddiastolnog volumena), hipertrofisano (povećane debljine zida) i niske srčane frekvencije [5,6]. Dakle, u trajne promene koje vode većoj radnoj efikasnosti srca spadaju i elektrofiziološke promene.

#### Elektrofiziološke karakteristike sportskog srca

Elektrofiziološke promene u vezi sa sindromom sportskog srca su promene u ritmu srca, zatim promene provođenja i repolarizacije, kao i promene

prekordijalne voltaže, što se sve manifestuje promenama u EKG-u. Ove promene su posledica povećanog tonusa vagusa, kao i supresije simpatičke nervne regulacije. Međutim, ono što je interesantno, jeste da se neke od ovih promena mogu pripisati intrizičkoj kardijalnoj komponenti, koja je zaslužna za nižu frekvenciju denervisanog (atropinom ili propranololom) sportskog srca. Dakle, intenzivan trening ima uticaja kako na autonomnu regulaciju tako i na intrizičku kardijalnu pejsmejker funkciju [7].

Najčešći nalaz, kada su u pitanju promene ritma kod dobro utreniranih sportista jeste sinusna bradikardija u mirovanju, koja je prisutna kod preko polovine svih sportista koji treniraju dinamičke sportove. Zabeležena je frekvencija od čak 25 udara u minuti (bpm). Sinusna aritmija je takođe jedan od veoma čestih nalaza, u 13 - 69% slučajeva sportskog srca, što je značajno više nego u opštoj populaciji (2,4 - 20%), a sinusne pauze su kod njih takođe češće i duže. Lutajući atrijski pejsmejker se manje često sreće kod sportista, ali je češći nego u opštoj populaciji. Svi ovi ritmovi iščezavaju sa fizičkom aktivnošću, kako raste simpatička komponenta autonomne regulacije [6,8].

Poremećaji provođenja su takođe veoma čest nalaz kod aktivnih sportista. Atrioventrikularni blok prvog stepena je zastupljen sa 6 - 33% kod sportista, što je značajno više nego u opštoj populaciji (0,65%). Tamo gde je ovaj blok odsutan, često se vidi relativno produženje PR intervala. Ove promene se takođe gube sa početkom vežbanja [6,9]. Blok drugog stepena, tipa Mobitz I i II, je u asimptomatskoj opštoj populaciji zastupljen sa svega 0,003%, dok je Mobitz I kod sportista zastupljen sa 0,125 - 10% [6,9]. Prema nekim autorima Valsalvin manevr i naprezanje mogu prekinuti blok u nekim slučajevima, dok atropin to čini u svim slučajevima. Takođe, prekid treniranja vodi normalizaciji srčanog rada i nalaza u EKG-u [10]. Ovaj blok obično ne progredira u blokove višeg stepena, što je dokazano studijom devetogodišnjeg praćenja. Blok trećeg stepena se takođe može sresti kod sportista, ali ređe nego u opštoj populaciji (0,0002% naspram 0,0017%) [6,9]. Manevri koji aktiviraju simpatičku nervnu regulaciju i prekid treniranja normalizuju sve ove kondukcione poremećaje kod sportista [6,9].

Međutim, *junctional* ritam je opet češći kod sportista nego u opštoj populaciji (0,31-7% spram 0,06%), i naročito je očigledan neposredno nakon vežbanja, dok je kompletni blok grane Hisovog snopa opisan kod veoma malog broja sportista i smatra se da nije češći nego u opštoj populaciji [6, 11] (Tabela 1).

Ventrikularni ektopični ritmovi su retka pojava kod sportista, i deo su sindroma sportskog srca. Smatra se da ne povećavaju rizik od iznenadnih smrti u sportu [9,12,13].

Promene u repolarizaciji pod uticajem sportskog treninga mogu biti svrstane u četiri kategorije:

**Tabela 1.** Promene ritma kod sportskog srca

**Table 1.** Electrophysiological alterations of the athlete's heart

| Aritmije<br><i>Arrhythmias</i>                                    | Zastupljenost u opštoj<br>populaciji/ <i>In normal</i><br>population (%) | Zastupljenost kod<br>sportista/ <i>In ath-</i><br><i>letes</i> (%) |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Sinusna bradikardija/ <i>Sinus bradycardia</i>                    | 23,7                                                                     | 50 - 85                                                            |
| Sinus aritmija/ <i>Sinus arrhythmia</i>                           | 2,4 - 20                                                                 | 13,5 - 69                                                          |
| Lutajući atrijski pejsmejker<br><i>Wandering atrial pacemaker</i> | -                                                                        | 7,4 - 19                                                           |
| Blok prvog stepena/ <i>1<sup>st</sup> degree block</i>            | 0,65                                                                     | 6 - 33                                                             |
| Mobitz I                                                          | 0                                                                        | 0,125 - 10                                                         |
| Mobitz II                                                         | 0                                                                        | Ne zna se<br><i>Unknown</i>                                        |
| Blok trećeg stepena/ <i>3<sup>rd</sup> degree block</i>           | 0                                                                        | 0,02                                                               |
| <i>Junctional</i> ritam/ <i>"Junctional" rhythm</i>               | 0,06                                                                     | 0,031 - 7,0                                                        |

1. Elevacija ST segmenta od 0,5 mm ili veća, obično konkavna i udružena sa elevacijom J tačke ili terminalnim prebacivanjem R talasa, brzom QRS tranzicijom i visokim prekordijalnim T-talasima;

2. Retka depresija J tačke, sa depresijom ST segmenta, koja može biti horizontalna ili ushodna i T-talasima koji su pozitivni, niske amplitude, izoelektrični ili bifazični;

3. Juvenilni T-talas (bifazični sa terminalnim negativitetom) u odvodima V1-V4;

4. Terminalna inverzija T-talasa u lateralnim ili prekordijalnim odvodima, sa ili bez promena u ST segmentu [6].

Do sada je kao najčešći nalaz nađena promena u ranoj repolarizaciji (prva kategorija) i to kod 10 - 100% sportista. Kod nesportske populacije, smatra se da ovaj se fenomen javlja usled nehomogene repolarizacije, gde se epikard prvi repolarise, i to je fenomen koji je najčešći kod afričkih Amerikanaca, najčešće u odvodima V2-V4, kao i recipročnim promenama u donjim odvodima. J tačka je najčešće elevirana, a T-talasi mogu biti izvrnuti ili visoki i šiljati. Smatra se da je uzrok ove pojave smanjenje tonusa simpatikusa u mirovanju, koji razotkriva inherentnu asimertiju u repolarizaciji. U prilog ovoj teoriji govori to da se ove promene normalizuju sa naporom i nestaju sa prestankom treniranja. Smatra se da tonus simpatikusa ujednačava trajanje akcionih potencijala, te dovodi do nestanka ovakvih promena. Međutim, ova teorija se još uvek smatra spekulativnom, jer ponekad ove promene sa prestankom treniranja ne nestaju, a takođe kod nekih kardiomiopatija ova normalizacija se dešava sa naporom, tako da se kod ove pojave kod sportista ne sme automatski isključiti patološka osnova promena [6]. Elevacija ST segmenta nad desnim odvodima je pronađena u 14% slučajeva iznenadnih srčanih smrti [11].

Depresija ST segmenta se mnogo ređe javlja i takođe nestaje sa naporom, mada je i ovde bilo slučajeva da se to ne dešava ni sa naporom, a ni po prestanku treniranja [6].

T-talas, kao što je već navedeno se menja u dva pravca kod sportskog srca. On može biti visok zašiljen ili izvrnut. Visoki T-talasi su najčešće posledica

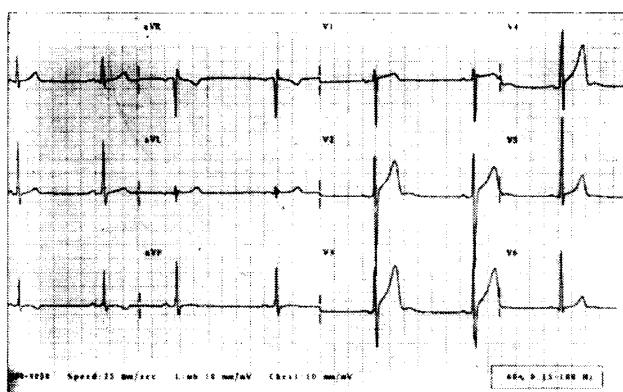
rane repolarizacije, i još uvek nije dokumentovano da li se oni mogu javiti nezavisno od ST promena. Prema iskustvu nekih autora to je moguće, i smatra se da to nije posledica povećanja koncentracije jona kalijuma u krvi, što dokazuje smanjenje amplitude T-talasa tokom napora, dok koncentracija jona kalijuma raste [6]. Visina ovog T-talasa raste kako utreniranost postaje veća, što je povezano sa progresivnom elevacijom ST segmenta; ali i obrnuto sa prestankom treniranja ove promene regresiraju. Smatra se da je promena u visini T-talasa posledica promena u repolarizaciji i prateći efekat povećane mase leve komore [6]. Izvrnut T-talas u prekordijalnim i donjim odvodima takođe se sreće kod sportista i nestaje sa naporom i prestankom treniranja [6]. Smatra se da ova promena EKG-a nema patološko značenje [14]. I sportisti sa izvrnutim, kao i oni sa neizvrnutim T-talasom imali su normalan talijum tredmil test u jednoj studiji, međutim, oni sa izvrnutim T-talasom su pokazivali veću prekordijalnu voltažu QRS kompleksa, imali su veću debljinu zida i masu leve komore [15]. Međutim, da li je izvrnut T-talas posledica adaptacije na fizičku aktivnost ili je refleksija povećane mase leve komore po sebi, još uvek je kontroverzno. Ima mišljenja i da je posledica varijacije u trajanju akcionog potencijala [6]. Bifazičan T-talas ili terminalno negativan, koji se obično javlja u odvodima V3-V5, kao varijacija izvrnutosti T-talasa, ne zna se da li je posledica samo juvenilnog ispoljavanja ili adaptacije na fizičku aktivnost [6]. Sve u svemu, potreban je veliki oprez u tumačenju kompletne ili nekompletne inverzije T-talasa na EKG-u, naročito ako je ona udružena sa simetričnom konturom T-talasa, ST depresijom, produženim QT intervalom, kao i odsustvom normalnih septalnih Q-talasa. U ovim uslovima promene T-talasa mogle bi biti znak patoloških dešavanja na srcu [6,16].

Promene u voltaži QRS kompleksa su veoma česte kod sportista u odnosu na nesportiste, međutim problem u standardizaciji kriterijuma za njihovo registrovanje dovodi do velikog variranja procenta kojim bi se to dokumentovalo, koji se stoga kreće 8-76%. U proseku se pod promenama u voltaži kada je leva komora u pitanju smatrao zbir defleksija SV1 i RV5 veći od 35 mm. Ovaj procenat za desnu komoru je 18-69%, gde je kao kriterijum uzet zbir defleksija RV1 i SV5 veći od 10,5 mm. Dokazano je da dinamički trening daje veće promene u voltaži nego statički, kako za levu tako i za desnu komoru. Ono što je interesantno jeste da se promene u voltaži za 25% dešavaju već posle 11 nedelja treniranja, a isto se tako prestankom treniranja smanjuju, ali nešto sporije [6].

Osovina QRS kompleksa postaje više vertikalna što je utreniranost veća, a to je često udruženo sa inkompletnim blokom desne grane, što se može objasniti povećanjem miokardne mase na vrhu desnog ventrikula. I ovo bi bila promena koja nakon prestanka treniranja nestaje [6].

Povišena amplituda P-talasa, kao i zupčasti P-talasi, mogu se takođe sresti kod sportista, a nije redak ni prominentan U-talas [6].

Sumarno, za sportiste je karakteristična sinusna bradikardija, sinusna aritmija, AV blok prvog stepena i Mibitz I, kao i *junctional* ritam; zatim elevacija ST segmenta, visoki i zašiljeni, ili bifazični T-talasi češće, dok ST depresija ili izolovana inverzija T-talasa ređe; povećana amplituda P-talasa i QRS kompleksa, rotacija QRS osovine udesno i na kraju inkopletni blok desne grane. Nedovoljno podataka postoji o zastupljenosti AV bloka III stepena, kao i atrijalnih i ventrikularnih ektopičnih ritmova, ali ima izgleda da su i oni posledica adaptacije na fizičku aktivnost [6] (Slika 1).



Slika 1. Reprezentativan primer EKG promena karakterističnih za sportsko srce. Na slici se može videti izražena bradikardija, nazubljeni P talasi, povećana voltaža QRS kompleksa i rana repolarizacija

**Fig. 1.** A representative ECG of an athlete's heart: sinus bradycardia, characteristic P-waves, high QRS voltage and early depolarization

Analiza EKG-a prilikom ergospirometrijskog testiranja sportista se ne razlikuje od analize u opštoj populaciji, s tim da treba obratiti pažnju na specifičnosti EKG nalaza kod sportista. Uopšteno govoreći na EKG u mirovanju često se mogu videti hipertrofija leve i desne komore, kao i poremećaji interventrikularnog provođenja. Oni često imaju pozitivne ST promene, koje bi mogle lažno ukazivati i na ishemiju. Ipak, ove abnormalne promene su retke. Kratkotrajne ventrikularne tahikardije su takođe retke, ali moguće, i često ukazuju na ishemiju i druga oštećenja leve komore [17]. Ektopični ventrikularni ritmovi prilikom ergospirometrijskog testiranja su kod sportista, kao i u opštoj populaciji, povezani sa povećanim rizikom od iznenadnog umiranja [18].

## Zaključak

Veoma je važno da se jasno razgraniče adaptabilne od patoloških karakteristika kardiovaskularnog sistema kod sportista, s obzirom da smo svedoci čestih primera iznenadne srčane smrti sportista, u kojima su česti razlozi umiranja upravo elektro-

fiziološki poremećaji. To ima veliki značaj u planiranju fizičke aktivnosti kako kod vrhunskih sportista, tako i onih koji tek počinju da se bave sportom. Prilagođavanje trenažnih opterećenja, pa i prestanak bavljenja fizičkom aktivnošću, u mnogim slučajevima će sprečiti pojavu iznenadne srčane smrti tokom napora i neposredno posle, a zasigurno i dru-

gih poremećaja koji su posledica njenog neadekvatnog sprovođenja. S obzirom na veliki zdravstveni i društveno-ekonomski značaj sporta, treba znati da su sa druge strane i posledice odluka o zabrani treniranja velike, naročito kada je vrhunski sport u pitanju, te kriterijumi za takve odluke moraju biti strogo definisani.

## Literatura

1. Levine BD. Exercise physiology for the clinician. In: Thompson PD, ed. Exercise and sports cardiology. Singapore: McGraw-Hill; 2001:3-30.
2. Scharhag J, et al. Athlete's heart: right and left ventricular mass and function in male endurance athletes and untrained individuals determined by magnetic resonance imaging. J Am Coll Cardiol 2002;40:1856-63.
3. Durđević V, editor. Sportsko srce. Beograd: Sportska knjiga; 1981:245-55.
4. Kindermann W. Physiologische anpassungen des herz – kreislauf - systems an koerperliche belastung. In: Kindermann W, Dickhuth HH, Niess A, Roecker K, Urhausen A, editors. Sport - Kardiologie. Darmstadt: Steinkopff; 2003:1-18.
5. Astrand P, Rodahl K, editors. Textbook of work physiology. New York: McGraw-Hill Book Company; 1977:176.
6. Puffer JC. Overview of the athletic heart syndrome. In: Thompson PD, ed. Exercise and sports cardiology. Singapore: McGraw-Hill; 2001:30-42.
7. Huston TP, Puffer JC, Rodney WM. The athletic heart sindrom. N Engl J Med 1985;313:24-32.
8. Landelius J, Norinder U, Svedenhag J, Nowak J, Sylven C. Beat to beat QRS amplitude variability in elite endurance athletes. Clin Physiol 2000;20(1):79-89.
9. Mark S, et al. Cardiac arrhythmias in the athlete. Cardiol Rev 2001; 9(1):21-30.
10. Zeppilli P, et al. Wenkebach second-degree A-V block in top-ranking athletes: an old problem revisited. Am Heart J 1980;100:281-93.
11. Corrado D, et al. Right bundle branch block, right pre-cordial ST segment elevation, and sudden death in young people. Circulation 2001;103:710-7.
12. Biffi A, et al. Long - term clinical significance of frequent and complex ventricular tachyarrhythmias in trained athletes. J Am Coll Cardiol 2002;40(3):446-52.
13. Biffi A, et al. Impact of physical deconditioning on ventricular tachyarrhythmias in trained athletes. J Am Coll Cardiol 2004;44(5):1053-8.
14. Serra-Grima R, et al. Marked ventricular repolarization abnormalities in highly trained athletes' echocardiograms: clinical and prognostic implications. J Am Coll Cardiol 2000;36(4):1310-6.
15. Nishimura T, et al. Noninvasive assessment of T wave abnormalities in precordial electrocardiograms in middle-aged professional bicyclists. J Electrocardiogr 1981;14:357-63.
16. Pelliccia A, et al. Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes. Circulation 2000;102:278-84.
17. Ferguson CM, Myers J, Froelicher VF. Overview of exercise testing. In: Thompson PD, editor. Exercise and sports cardiology. Singapore: McGraw-Hill; 2001:71-109.
18. Morshedi-Meibody A, et al. Clinical correlates and prognostic significance of exercise - induced ventricular premature beats in the community: the Framingham heart study. Circulation 2004;109:2417-22.

## Summary

### Introduction

The athletic heart syndrome is characterized by morphological, functional and electrophysiological alterations as an adaptive response to vigorous physical activity. Athletes heart is predominantly associated with a programmed, intensive training. But as there are different kinds of physical activities, the degree of these changes is highly variable.

### Electrophysiological characteristics of the athlete's heart

The response of the body to vigorous physical activity is a multiorgan system phenomenon. The integrated functioning of each of these organ systems is very important, but the cardiovascular system plays a critical role in mediating the activity. Because of that, most changes in the neurohumoral regulation pre-

dominantly affect the cardiovascular system. These changes include: depression of sympathetic activity and stimulation of parasympathetic activity, so electrophysiological characteristics of the athlete's heart must differ from the sedentary. Although these facts, are well known, the athlete's heart is not a precisely defined concept. It is a gray zone between physiology and pathology.

### Conclusion

Considering the number of sudden cardiac deaths in athletes, it is needless to say how important it is to distinguish physiological changes of the heart due to physical activity, and pathological changes due to some cardiac diseases.

**Key words:** Electrophysiologic Techniques, Cardiac; Sports; Heart – physiology

Rad je primljen 12. XII 2005.

Prihvaćen za štampu 27. III 2006.

BIBLID.0025-8105:(2007):LX:3-4:156-159.