

HRV-analízisről a sportban és a klinikumban

APOR PÉTER DR.^{1, 2} ■ PETREKANICH MÁTÉ DR.^{1, 2} ■ SZÁMADÓ JÚLIANNA²

¹Semmelweis Egyetem, Testnevelési és Sporttudományi Kar, Budapest

²Budapesti Honvéd Sport Egyesület Terhelésélettani Laboratóriuma, Budapest

A szívütések egymásutánosságának időbeli eltérései – nem számolva az extra ütéseket – a szimpatikus és a paraszimpatikus tónus súlyát tükrözik a sinuscsomóra. E tónushullámzás váltakozása összefügg a napszakokkal, a légzéssel, a baroreflexszel, a fizikai terhelés által előidézett vegetatív tónusváltozásokkal. Diagnosztikus teszt reményét kelti, hogy a sympathicotonia felé eltolódással járó élettani és patológiai helyzetekben, mint az intenzív fizikai aktivitás, a szívinfarktus utáni állapot, a szívfrekvencia változékonysága, eléggé jellemző, reprodukálható és a kórfolyamattal párhuzamosan változó jellegzetességeket mutat. Mind az ütéskülönbségek időbelisége, mind a varianciaváltozások frekvenciája ugyanazt a jelenséget írja le más-más módon. A vagushatás inkább a magasabb frekvencia-tartományt gazdagítja, a szimpatikus stressz összeszűkíti a szívkontrakciók egymásutánosságának szóródását. Megfigyelések igazolják annak logikáját, hogy az utóbbi a kevésbé kívánatos helyzet. A technikailag egyszerű, nem költséges mérés és automatizált kiértékelés lehetősége sok klinikai és sportélettani szituáció vizsgálatát sugallta. Bizonyos tendenciák igazolódni látszanak, de egyéni diagnózisra, illetve prognózisra az egyszeri mérés még a definitív klinikai helyzetekben, például az infarktus utáni állapot is, csak nagy óvatossággal alkalmazható.

Kulcsszavak: vegetatív tónus, fizikai terhelés és edzés hatása a szívfrekvencia-variabilitásra, hirtelen halál előrejelzése, klinikai állapotok és HRV, túledzés

Heart rate variability analysis in sports

Differences in the duration of the cycles reflects the balance of the sympathetic and parasympathetic influence on the heart. Variability in the heart rate correlates to the breathing cycle, to baroreflex sensitivity, to day and night alternations and to changes in the vegetative tone evoked by physical exercises. Analysis of the time and/or frequency power domain of the heart rate variability is expected to have diagnostic value in physiological and pathological situations as adaptation to training, overtraining, heart disease etc. Both time- and frequency domains reflect the same physiological phenomenon but from different point of view. Vagus tonus is reflected in the high frequency part of the range of variability, while an increased sympathetic tone enriches the low frequency part of the variations of the duration of the consecutive heart cycles. This technically simple and relatively inexpensive method has inspired a couple of clinical and sports medical studies. Certain tendencies seem to be clear, but for individual diagnosis or for prognosis the data must be treated very carefully.

Keywords: vegetative imbalance, effects of exercise and training on heart rate variability, diagnostic and prognostic value of heart rate variability in clinical entities, sudden cardiac death, overtraining

(Beérkezett: 2009. március 1.; elfogadva: 2009. március 23.)

Rövidítések

HRV = szívfrekvencia-változékonyság; mRR és SDRR = az egymás utáni szívütések tartamának átlaga és szórása; SDNN = az egymás utáni ütések tartama különbségeinek a szórása; pNN50 = az 50 ms-ot meghaladó ütéstartam-különbségek száma vagy aránya; LF és HF = alacsony és magas frekvenciájú hullámtartomány; LDL és HDL = alacsony és magas sűrűségű lipoprotein-koleszterin; VO₂ = oxigénfelvétel (V = volumen); VCO₂ = szén-dioxid-leadás; RR-távolság: az EKG egymást követő R hullámainak távolsága; PTCA = perkután koronarográfia; ICD = intracardialis pacemaker

Az egyes szívösszehúzódások (az EKG-n az R hullámcsúcsok) nem pontosan azonos időben követik egymást. Közismert a légzési aritmia, a préeléssel járó, az arc lehűtését kísérő „aritmia”, amelyet okozhat a testhelyzetváltozás (baroreflex), bármely külső inger kiváltotta stressz, a diurnális oszcillációt pedig a légzőmozgással, a légzőközpont tevékenységével, a vérnyomás-szabályozással hozzák kapcsolatba, emellett genetikus adottságok is be-

folyásolják az egymást követő RR-távolságok különbözőségét. Az ezt leíró módszer a szívfrekvencia-változékonyság elemzése (heart rate variability – HRV – analysis). Csak a sinuscsomóból eredő komplexumokat veszik figyelembe, az ectopiás ütések ki kell szűrni.

A mérőszámok vonatkozhatnak az időbeli különbségek leírására (time domain). A legegyszerűbb, de keveset eláruló mutató az egyes szív ciklusok átlaga és szórása (mRR és mSDRR). Az egymás utáni ciklusok különbségei (NN) és ezek szórása (SDNN), valamint egyes kijelölt tartamkülönbség gyakorisága, így az 50 ms-nál hosszabb cikluskülönbség százalékos előfordulása a regisztrált időszak összes ciklusához képest (pNN50) a leggyakrabban használt jellemző [1].

Az RR-távolságkülönbségek teljesítményeloszlása a frekvencia függvényében a power-spektrum domain módszer, elemzését leginkább a Fast Fourier-transzformációval végzik. A 0,04 Hz alatti – very low frequency és ultra low frequency tartomány – nagy sűrűséggel tartalmaz (igen csekély) ütéskülönbségeket, amelyek értelmezése még várat magára. A low frequency (LF) tartomány a 0,04–0,15 Hz szakaszt jelenti, alapvetően a szimpatikus (adrenerg) tónus, de inkább mindkét vegetatív tónus befolyásának mértékeként tekintik, míg az e feletti, 0,40 vagy magasabb Hz-ig terjedő high frequency (HF) tartomány egyértelműen a paraszimpatikus tónust, benne a légzéstevékenységgel kapcsolatos légzési aritmiát jellemzi. Az LF/HF arány a vegetatív egyensúlyra utal. A teljes teljesítmény (total power) is használatos mutató. Grafikus megjelenítésre, például az eloszlás ellipszissel körülrajzolására is lehetőséget adnak a forgalomban lévő eszközök programjai (polar tester, omegawave sport technology system). A látott ellipszis (Poincare) formáját leíró hosszanti (Index a) és haránt átmérő (Index b) szóródásáról (Stda és Stdb) is számszerűen tájékozódhatunk. Mint az atropinnal előidézett vagusblokád utáni visszatérés is mutatja, nagy a különbség az egyes személyek, sportolók és nem sportolók HRV-mutatói változásának dinamikájában [2].

Újabb mutatókról is olvashatunk [3, 4, 5]. A leuveni munkacsoport [3, 6, 7] a nem lineáris varianciakülönbséget az 1/f slope, a fraktális dimenziók, a detrended fluktuációs analízis rövid és hosszú korrelációival, a komplexitást a korrelációdimenzióval, a Lyapunov-kitevővel, az entrópia mérőszámával igyekeznek jellemezni és értelmezni. A paraszimpatikus hatást a nem lineáris hullámszámításban, az éjszakai HRV-fluktuációban látják megjeleníteni, ez a korrallal csökken, de 40 éves kor táján a csökkenés megállni látszik. 40 és 79 év között a HRV abszolút értékei: szóródás, total power, VLF, LF, HF a korrallal mindkét nemben csökkennek, a relatívak: LF/HF, LF%, HF% nem változnak Kuo és mtsai [8], Platisa és mtsai [5] a rövid skála exponent alfa 1-et, Banzser és mtsai [9] a stresszindexet, Buchheit és mtsai [10] a HRR-tartományt tartják hasznos(abb) mutatóknak a korábbiakhoz képest. Ezen új adatkezelések a cardiovascularis, de egyéb kórállapotokban is prognosztikus értékű információkat nyújtanak

[10], ezért a „klasszikus” rizikófaktorok közé emelésüket javasolják, noha az élettani értelmezés még igen hiányos.

Mivel igen sok külső és belső tényező befolyásolja a HRV-t, ezért nagyfokban standardizált körülmények között kell (lene) regisztrálni, és csak azonos tartamú regisztrátumok vehetők össze. Minimumnak az 5 perces – sportvizsgálatokban olykor rövidebb –, a klinikumban a 24 órás felvétel elemzését tartják a leginkább megfelelőnek, de ilyenekkel már ritkán találkozunk.

Az egészséges, olykor sok száz személyen észlelt HRV „normálértékek” a közleményekben [5. táblázat 1, 8, 12, 13, 14] fellelhetők, azonban a számítási különbségek (lineáris paraméterek, log és ln transzformációk keveredése) miatt ezeket nem tudjuk itt összefoglalva bemutatni. Figyelembe kell venni, hogy csaknem minden szerző méréseiben az átlagértékek 20–100%-át teszik ki a szórások. Tájékozódásul szolgál, hogy az LF/HF arány 1 (100%) körüli a normális, egészséges személyeken. A Poincare-ellipszis hosszanti átmérője 50 ms, a keresztátmérője 20 ms-nál hosszabb. A pNN50 az egészséges, nem sportoló személyeken legalább 10%, az állóképességi sportágakban 20% felett szokott lenni.

Változnak az értékek a korrallal. Ez legjobban Kuo és mtsai [8] ábráin látható, akik mintegy 1100, 40–79 éves férfi és nő adatát ismertették. Az abszolút értékek (time-varianciák, VLF, LF, HF) lineárisan csökkennek a korrallal, az LF/HF és a százalékos megadott power értékek csak 60 év felett csökkennek. A nők a menopauzáig kisebb sympathicotoniát jelző HRV-értékekkel rendelkeznek, ez után közelítenek a férfiak adataihoz [13].

A menstruációs ciklus csekély változással jár [15], elsősorban az ovuláció idejével, a magas ösztrogénszinttel korrelál a szélesebb szóródás – ez a cardiovascularis védelemre utal. Az 55 év körüli, posztmenopauzás vegetáriánusok minden lipidértéke, vérnyomása, éhomi vércukra, de hemoglobinszintje is alacsonyabb a kontrollszemélyekéhez képest, a HRV a nagyfrekvenciás sávban nagyobb teljesítményt mutatott, és a baroreflex-érzékenységek is nagyobb volt, vagyis a tartósan húsmentes étkezés paraszimpatikus irányú eltolódásra utaló jeleket hoz létre a HRV-ben [16].

HRV-analízis a sportban

Évtizedek óta ismert, hogy az újszülöttkori distresszt megelőzi a HRV változása.

A szívinfarktust szenvedettek HF-teljesítményspektruma megcsappan, a sympathicotonia rossz prognosztizálást ígér, a helyreállítódás akár egy évet is igényel. Szív elégtelenségben ugyanez a helyzet. A szívesemény után elbocsátáskor (körülbelül 7 nap) az SDNN 50 alatt súlyos, az SDNN 100 alatt közepesen súlyos állapotot/kilatásokat jelez. (Populáris megfogalmazás a „kardiostresszmérés”). A középkorú coronariabetegeken a HF kisebb, az LF nagyobb, az SDNN, RMSSD és pNN50 kisebb, mint az egészséges kontrollokon, és a terhelést

követő első 3 percben a pulzusuk lassabban csillapodik [17]. A cukorbeteg vegetatív neuropathiájának korai, akár a klinikumot megelőző jele a HF csökkenése, például a 24 órás regisztrátumban normálisan 500–2000 ütéstavolság-különbség van 50 ms felett (pNN50), míg neuropathiával járó diabetesben alig néhány. A pánikbetegségben kaotikus vérnyomás- és szívfrekvencia-viselkedés észlelhető [18].

A korábbi években infarktust átéltek nyugalmi HRV-értékei az egészséges kontrollokkal szemben az SDNN: 36, illetve 71 ms, a pNN50 1,7, illetve 9,9%, és a grafikus eloszlás „üstököstípusú”, sokkal rövidebb harántátmérről. Terhelésre a betegek pNN50-e és többi mutatója nem változott, és egy új csúcs jelent meg a HF-zónában, amelynek magyarázata ismeretlen *Torres és mtsai* szerint [19]. Az átültetett szív 216 betegen, 10 évig terjedő kísérés során körülbelül két év után kezd az éjszakai és az összes teljesítményben növekedni, 4 év után nő az LF-tartományban a teljesítmény, de a magas (HF) frekvenciatartományban csak 16 betegen állt helyre a „normális-hoz közeli” HRV – jelezve a reinnerváció és az egyéb befolyásoló tényezők elhúzódó és nem teljes javulását [11].

A *szívrehabilitációban* tapasztalt ellentmondó adatokért valószínűleg a metodikai különbségek is okolhatók – írják az e téren vizsgálódó szerzők. *Sandercocock és mtsai* [20] egy nyolchetes edzésprogram után az 5 perces felvételeken a 31, infarktuson frissen átesett betegen az LF és a HF, az RR-intervallum és a többi HRV-mutató szignifikáns változását látták a variabilitás növekedése (paraszimpatikus felé tolódás) irányába, a kontrollokkal szemben. A coronaria-angioplastican átesettek 8 hetes ambuláns edzésprogramja a paraszimpatikus hatás fokozódását idézte elő az edzést nem végzőkhöz képest. A ballon- vagy a stentmegoldás nem jelentett különbséget, s az sem, hogy átesettek-e korábban PTCA-n [21].

Új megközelítést képviselnek a HRV és a *krónikus gyulladáshoz* mutatók kapcsolatát felismerő munkák. A kolinerg tónus gyulladáellenes; a vegetatív befolyás eltolódása a szimpatikus felé együtt jár a citokinek felszaporodásával [22]. A magas CRP- és IL-6-szint azonban nem a vagushatást jelző „klasszikus” HF csökkenésével, hanem az ultra- és nagyon alacsony frekvenciás sáv teljesítménnyel áll fordított kapcsolatban [23]. Ha ez így van, a nagyon alacsony frekvenciatartomány is diagnosztikus értelmezést kaphat.

A középkorú elhízott nők edzésprogramjában az intenzitást a HRV alapján megállapított „küszöbterheléssel” állították be *Shibata és mtsai* [24].

A hirtelen halál kockázata

Mivel az aritmiák gyakran a fokozott szimpatikus és csökkent paraszimpatikus tónus kapcsán lépnek fel, logikus a HRV alkalmazása. Az RR-távolság magas frekvenciájú oszcillációja leginkább a légzési aritmiával kapcsolatos, ez metronómmal szabályozott légzéssel jobban

kontrollálható. A 2 perces EKG-n szimpatikus tónus-fokozódást jelző, dominánsan az alacsony frekvenciájú sávba tartozó 900 személyen a cardiovascularis halálozás nagyobb volt, mint a HF-dominanciájú személyeken [25]. Krónikus szívelégtelen betegeken a csökkent magas frekvenciájú komponens, az alacsony LF/HF arány az aritmiás halálozás 5-6-szoros gyakoriságát jelezte [26]. Egészségesnek tudott személyeken ilyen megfigyeléseket nem közöltek. A 24 órás elemzést a napi ritmus és a személy fizikai tevékenysége befolyásolja, így nehéz kideríteni, hogy melyik HRV-komponensnek lehet köze a specifikus patológiához. Az alacsony time-domain és az alacsony frekvenciadomainú anginás, szívelégtelen személyek mortalitási esélyeit egyaránt 2-3-szor gyakoribb-
nak írták le többen is, de inkább az összhála-
lozás terén és nem a cardiovascularisban. A néhány száz, néhány ezer, infarktust átélő személyen a DINAMIT, az ATRAMI és egyéb tanulmányok is inkább a nem szívhalálozást látták gyakrabban az alacsony variabilitással működő szívű betegeken. Az alacsony balkamra-teljesítményű és csekély frekvenciaváltozékonyságú személyek ICD-t kapva, csökkent ugyan az aritmia miatti, de nőtt a pumpafunkció romlása okozta halálozásuk.

A tekintélyes szakmai ajánlás szerint az elméleti patofiziológiai megfontolások ellenére az alacsony szívverés-variabilitás a már szívbetegesen inkább a nem aritmiás halálozás prediktora [27], ám egyéni diagnózis felállítására nem tartják alkalmas eljárásnak.

HRV-elemzés a sportolás során

Az edzettséggel a vagotonia krónikus formában rögzül (edzettségi bradycardia és a sportolászív működésének egyéb jellemzői), így kézenfekvő a törekvés az edzés okozta vegetatív egyensúly-eltolódások ismeretében az „optimális” terhelés volumenének/intenzitásának megállapítására, a versenyző edzéstűrése képességének, a túlnyúlás-tüledés-letörés korai felismerésére a HRV-analízis segítségével [28, 29, 30].

Az *egyszeri fizikai terhelés* növeli a pulzusszámot, így abszolút egységben kisebbedik az RR-ek egymástól való távolsága és azok különbözősége, s ez megmutatkozik a szokásos mutatók csökkenésében is. Ezt figyelembe véve egy 3000 méteres tesztfutás elején a HF (0,15–1 Hz) csökkent, majd stabilizálódott, az LF/HL előbb nőtt, majd mélyen csökkent, s ebből arra következtettek, hogy a paraszimpatikus aktivitás csökkenése után a szimpatikus beállt egy bizonyos szintre a 20 év körüli női távfutók egyenletes intenzitásának mondható terhelése során [31]. Érdekes az a megfigyelésük is, hogy a HF-csúcsfrekvenciák és a -lépések között erős kapcsolat volt – ismert, hogy a távfutók légzése és lépésszáma, pulzusszáma és lépésszáma sokszor összefügg, olykor tudatos önszabályozás eredményeként.

A terhelés intenzitása (30, illetve 60%-os kerékpározás) a 10 perces megnyugvási szakasz percről percre kísérése során megmutatkozott abban, hogy a kisebb terhe-

lést követően gyorsabban állt helyre a vagustónust jelző HF-tartomány. Az anaerob kapacitást mérő Wingate-teszt után a hossznövekedési csúcstól még fiatalabb fiúk HRV-je nagyobb, mint az érettebbeké, noha a nyugalmi értékek nem különböztek [32].

Az egyenletes és az interval terhelések az intenzitástól is függően akár fél óráig elhúzódó és némileg különböző változásokat váltottak ki a futókon, az azonos intenzitású folyamatos terhelést nagyobb mérvű eltolódás követte, mint a szakaszos [33].

Jellemző-e bizonyos HRV-profil az egyes sportágakra?

Ezt vizsgálták *Sztajzel és mtsai* [34] állóképességi sportolók, hokijátékosok és edzetlen kontrollok 24 órás Holter-regisztrátumán. A kontrollokhoz képest a sportolók pulzusszáma alacsonyabb és összes „paraszimpatikus vonatkozású” mutatója magasabb volt, beleértve az LF/HF arányt, míg az RR-eltérések nagy standard deviációja (SDNN) csak a futók és biciklisták HRV-jére volt jellemző. Az SDNN-t és a frekvenciateljesítmény-arányokat (LF/HF) tartják a legjellemzőbb, a klinikumban is leginkább használható mutatóknak. Az elit sportolókon nagyobb mérvű a paraszimpatikus hatás [35], mint a kisebb teljesítményűeken. A maratonistákat nagyfokú paraszimpatikus túlsúlyra valló HRV jellemzi.

A *klinikum és a terheléselétan közös területéről Banzer és mtsai* [9] közleményét említjük: a PROCAM (PROspective CArdiovascular Münster) Score a kor, az LDL- és HDL-koleszterin-, a trigliceridszint, a dohányzás, a diabetes, a szisztolés vérnyomás, a családi anamnézis szerint pontozza a 10 éves szívesemény valószínűségét. Az *e* szerint magas rizikójú, 50,8 pontot elérő, 50 éves kor körüli személyek maximális kerékpár-teljesítménye 1,8 Watt/kg, a 28,7 pontos kis rizikójúaké 2,4. A nagy rizikójúak kiténtek a kisebb SDNN-nel (20, illetve 30 ms), kisebb RMSSD-vel (18, illetve 22 ms), kisebb HF-fel (18, illetve 43 ms²) és a kisebb totál powerrel, vagyis mindazzal, amit a szimpatikus tónus felé toldásnak tartunk. Emellett egy, az úrkutatásból átvett úgynevezett HRV-stresszindexszel igen nagy különbség (322, illetve 90) adódott a két csoport között. Ennek alapján mind az aerob teljesítőképesség (fittség), mind a HRV-analízis értékes adat a kockázat felmérésében.

Az idősödő, 50 év körüli maratonisták vita maxima futása után (VO₂ max. 49, illetve a nőknél 45 ml/kg/perc) a szaporább szívverés miatt természetesen csökkent az RR-távolság és annak szórása, csökkent a teljes teljesítménysűrűség, de az ezzel normalizált LF-komponens nem változott, a HF-komponens csökkent 34-ről 18-ra, vagyis a paraszimpatikus hatás csökkenésére vallott a HRV-analízis [36].

Ha a megszokott, rendszeres edzést abbahagyjuk, a hangulatunk romlik. *Weinstein és mtsai* [37] szerint az LF/HF-fel jellemzett kiindulási nyugalmi tónus alakulása korrelál a hangulatváltozással annak két hete során.

Ez a felismerés a kényszerpihenőre szorult sportolók el-látását segítheti.

A nagy terheléseket követő kollapszushajlam oka nem az agyi vérkeringés romlása, hanem a posturalis és baro-reflexkontroll gyengülése – írták egy hegyi maratonfutás során végzett tanulmányukban *Murrell és mtsai* [38].

Az Andok lakói között kiváló maratonisták vannak, akik 2 óra 27 perc alatt képesek 4220 méteres magasságban a 42 km lefutására. A befutást 8 órával követő HRV-analízis sympathicotoniát jelzett, de 24 óra alatt visszatértek a verseny előtti HRV-értékek, vagyis a hypoxiás magaslaton élés nem zavarja a vegetatív alkalmazkodást [39].

A maximális erő 70 és 85%-ával végzett *statikus térd-feszítések* után mintegy 10 percig tartott a HRV-mutatók változása az előtti értékekhez képest, de a 2,5 percre bontott elemzések szerint *e* 10 percen belül korántsem egyirányúak voltak a változások [40]. Noha várható lenne, az erődedzett és az állóképességileg edzett sportolók között nem találtak különbséget a vegetatív tónus mutatóiban, csak a nemek szerint.

A különböző szupramaximális (anaerob) edzésfajták hatása különbözik a HRV-re, és ennek elemzése segít annak megtalálásában, amelyik kevésbé csökkenti a paraszimpatikus tónust [10].

A *terhelés módja* is különböző HRV-változást idéz elő, még ha a maximális pulzusszám azonos (50 és 65) százalékával végezték is a 15-15 perces karergometriás, futószalagos vagy kerékpáros steady state terhelést [41]. Az utóbbi kettő hatása nem különbözött lényegesen, de a karral végzett munka kisebb oxigénfelvétellel, nagyobb szubjektív nehézségérzettel és nagyobb HRV-komponens-változásokkal járt (főleg a nagyon alacsony és az alacsony frekvenciasávokban).

A sportban talán a legtöbb érdeklődésre az a tapasztalás érdemes, hogy a HRV (valamelyik) mérőszáma csaknem egybeesik, de legalábbis szorosan *korrelál a ventilációs és a laktátküszöb* [42, 43, 44, 45]. A küszöb(ök) ismerete az optimális edzésintenzitás, illetve az edzési szint változásának megítélésében igen fontos. *Cottin és mtsai* [43, 44] állítása szerint a növekvő terhelés során a HF-frekvencia-csúcs, illetve annak szorzata az akkor mért HF-fel ugyanúgy és egyidejűleg két nem lineáris emelkedőbe fordul, mint a ventiláció-VO₂, illetve VCO₂-VO₂ kapcsolat, vagyis jelzi a VT1 ventilációs küszöböt (ami a laktátszint-emelkedés kezdete) és a VT2-t (a respirációs kompenzációs pontot: RCP). A pulzusmeg-törései ponttal (olykor) egybeeső „második ventilációs (anaerob) küszöb”, amikor a puffer-szén-dioxid kezd nagymértékben ürülni, megegyezett a nagyfrekvenciás csúcs és powersűrűség-trenddel jellemzett HRV küszöb-*bel* *Buchheit és mtsai* vizsgálatában [46].

Anosov és mtsai [42] a légzési és a szívfrekvenciajel kapcsolatát Hilbert-transzformációval vizsgálták. Különböző mintázatokat észleltek, de az esetek 90%-ában a HF instant frekvenciáját leíró hiperbolikus görbe eltolódása egybeesett a V-slope módszerrel talált ventilációs

küszöb. *Karapetian és mtsai* [47] csupán 60–120 ml/perc oxigénfelvételi különbséget láttak a HRV-időtartomány SD és MSD-indexe, valamint a három módon is megállapított ventilációs küszöb és a laktátszintemelkedés-küszöb között. Az RR-távolságok különbözősége a növekvő terheléssel csökkent egy bizonyos szintig, ezt a deflexiós pontot a szerzők az MSD-nél 125 Wattnál, az SD-nél 100 Wattnál jelölték. A küszöb a nem versenysportoló 18–42 éves férfiak maximális oxigénfelvételének a 62%-ánál, a nők VO_2 -maximuma 72%-ánál volt, és a kerékpározás-intenzitás 3. percében 3,8, illetve 3 mmol/l tejsavszintet mértek. Az SD és az MSD nagyon egyszerűen nyerhető Polár-teszter vagy Holter-felvétel elemzésével bármilyen számítógéppel. Ez nagy előny a tesztcsíkok miatt nem egészen olcsó és némi fájdalommal járó ismételt tejsavmérésekkel szemben, és hatalmas előny a laboratóriumi spiroergometriás méréshez képest, amely ugyan nagyon sok és hiteles információt ad, ám drága műszerezettséget és szakemberek időigényes közreműködését igényli.

A szerzők állítása, hogy a „klasszikus” küszöbök a HRV révén is megállapíthatók, még igazolásra szorul, noha élettani megfontolások és tapasztalások mutatják, hogy a vagusaktivitás megszűnik egy bizonyos terhelés-intenzitás felett – de ezt helyesebb vagustónusküszöbnek nevezni.

Edzőtábor, túledzés, edzésvezetés

A nem nagy terheléseket nyújtó kéthetes edzőtábor a középkorú férfiak aerob kapacitásának 12%-os növekményét eredményezte, a HRV-mutatók nyugalomban nem változtak, míg a nem maximális terhelés alatt valamennyi index nőtt, a szubmaximális pulzusszám csökkent. Mindez a nagyobb vagusbefolyásra vall [48].

A „detrended fluctuation analysis” az átlagos RR-távolság jelentős csökkenését mutatta egy kéthetes, megterhelő edzőtáborozást követően [49], ugyanakkor a baroreflex érzékenysége is jelentősen csökkent, de 3–4 nap után a mutatók közelítettek az „előtte” értékekhez, megerősítve azt, hogy az ismételt terhelések is a paraszimpatikus hatás csökkenését és a szimpatikus tónus növelését váltják ki.

Az edzőtáborban a reggelente megismételt HRV-analízis alapján szabták meg az aznapi edzésterhelést, törekedve az értékek visszaállítására a kiindulási szintre. Az ily módon edzett sportolók aerob kapacitása és teljesítménye nagyobb mértékben fejlődött, mint az előre elkészített edzéstervet teljesítőké [50]. *Lewis és mtsai* [51] az emelkedő terheléssel változó HRV- és légzés-számértékeket elemezték annak a terhelésintenzitásnak a megtalálására, amely 50%-os HRV-power-csökkenést okozott („HRV-romlás-konstans”). Ezt a szubmaximális munkakapacitás jellemzőjének tartják.

Ha az elit futók edzésintenzitása nem haladja meg az első ventilációs küszöböt (amikor csak a ventiláció emelkedik meredekebben, mint az oxigénfelvétel és a VCO_2

nem), akkor a HRV 5–10 percen belül visszatér a kiindulási – amúgy igen magas paraszimpatikus befolyást tükröző – szintre [52].

A túledzés diagnózisa, jellemzése élettani mutatókkal ma sem megoldott feladat. *Hynynen és mtsai* [53] felálláskor és a színesszó-felismerés (Stroop) próbája során kisebb mértékű HRV-változásokat láttak, mint a nem túledzett kontrollszemélyeken. Ismerjük azonban, hogy a nyugalmi, a terhelés alatti vagy a megnyugvási pulzusszám csekély és nem mindig következetes változásai sem elegendő fogódzkodók a túledzés megállapítására [54]. *Borresen és Lambert* [55] a pulzusnyugvás gyorsaságának analógiájára a HRV-mutatók terhelés utáni megnyugvásának sebességét tartják ígéretes információnak az edzésvezetésben.

Különlegesen tartós terhelés az „adrenalin rush adventure race”, amikor 90–120 órán át csaknem folyamatosan futnak a résztvevők. *Ashley és mtsai* [56] vizsgálata a szív működés (átmeneti) csökkenésére, „kifáradására” irányult, s ennek során azt észlelték, hogy az ACE-gén homogén intron-16 inszerciós polimorfizmusa esetén jóval nagyobb mértékben csökkent az echokardiográfiával mért frakcionális rövidülés a heterozigótákkal és a deletiós allél homozigótákkal szemben, utóbbiak mind az RR-távolság, mind a vérnyomás-variabilitás tekintetében nagyobb szimpatikus aktivitásra utaló jelekkel rendelkeztek.

Az ügöző lovak HRV-je a versenyszezon előtti magas értékekről fokozatosan szűkült a szezonban, emellett azt is megfigyelték rajtuk, hogy a helyben állás és a nagy intenzitású vágta egyaránt nagyobb mérvű sympathicotoniát vált ki, mint a mérsékelt ügetés [57].

Diszkusszió

A több évtizedes tapasztalatok frissebbjéből szemezgetve, és olvasva a nagy tapasztalatú szerzők áttekintéseit, legtöbbször a „lehetséges”, a -hat, -het kifejezéssel, „az egyéb mutatókkal kiegészítve”, a „más paraméterekkel együtt értékelve” fogalmazással találkozunk a HRV-analízist egyébként alkalmazásra minősítő közleményekben. A magyarázat része, hogy a jelenség kevésbé ismert belső ritmust és igen sokféle külső behatást tükröz(het). Téves az optimizmus, hogy egy vagy két szám – amelyeket a matematikai előállítás miatt olykor nem is pontosan értünk – nagy bizonyossággal leír olyan sokarcú dolgokat, mint az edzettség, a kifáradás, a túledzés, a különböző fajtájú, intenzitású és tartamú edzésekhez alkalmazkodás, a (vegetatív) idegrendszerre ért behatások, pszichés stresszek, a gyógyulás folyamata, vagy az esélyt a hirtelen meghalásra. A mérés elérhetősége, gyorsasága, csekély költsége hatalmas előny. Hátrány az adatkezelések sokfélesége. Ha a HRV-változások alapvető tendenciáit ismerjük, és azt beillesztjük a betegről, sportolóról szerzett egyéb információk közé, gondolatmenetünket megerősítő, elvető vagy terelő segítséget kaphatunk. Az egyszeri mérés nem jogosít fel semmiféle diagnózisa.

A beteg, a sportoló állapota változásának észlelésében segít a HRV. Az ujjlenyomatot elég egyszer rögzíteni, a HRV-t „standard körülmények között” – lehet ilyen valóban teremteni? – többször kellene regisztrálni, hogy legyen megbízható viszonyítási alapunk. Amit persze a korosodás, az életkörülmények stb. befolyásolnak.

Ez nem kedvszegés, hanem biztatás.

Irodalom

- [1] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 1996, 93, 1043–1065.
- [2] *Martinmaki, K., Rusko, H., Kooistra, L. és mtsai*: Intraindividual validation of heart rate variability indexes to measure vagal effects on hearts. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 2006, 290, H640–H647.
- [3] *Aubert, A. E., Seps, B., Beckers, F.*: Heart rate variability in athletes. *Sports Med.*, 2003, 33, 889–919.
- [4] *Perkiömaki, J. S., Makikallio, T. H., Huikuri, H. V.*: Fractal and complexity measures of heart rate variability. *Clin. Exp. Hypertens.*, 2005, 27, 149–158.
- [5] *Platasa, M. M., Mazic, S., Nestrovic, Z. és mtsai*: Complexity of heartbeat interval series in young healthy trained and untrained men. *Physiol. Meas.*, 2008, 29, 439–450.
- [6] *Beckers, F., Verheyden, B., Aubert, A. E.*: Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 2006, 290, H2560–H2570.
- [7] *Schmitt, D. T., Ivanov, P. Ch.*: Fractal scale-invariant and nonlinear properties of cardiac dynamics remain stable with advanced age: a new mechanistic picture of cardiac control in healthy elderly. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2007, 293, R1923–R1937.
- [8] *Kuo, T. B., Lin, T., Yang, C. C. és mtsai*: Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. *Amer. J. Physiol. Heart and Circulatory Physiol.*, 1999, 277, H2233–H2239.
- [9] *Banzer, W., Lucki, K., Bürklein, M. és mtsai*: Sportmedizinische Aspekte kardialer Risikostratifizierung. *Herzsch. Electrophysiol.*, 2006, 17, 197–204.
- [10] *Buchheit, M., Millet, G. P., Parise, A. és mtsai*: Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2008, 40, 362–371.
- [11] *Beckers, F., Ramaekers, D., Speijer, G. és mtsai*: Different evolutions in heart rate variability after heart transplantation: 10-year follow-up. *Transplantation*, 2004, 78, 1523–1531.
- [12] *Leicht, A. S., Allen, G. D., Hoey, A. J.*: Influence of age and moderate-intensity exercise training on heart rate variability in young and mature adults. *Canad. J. Appl. Physiol.*, 2003, 28, 446–461.
- [13] *Sinnreich, R., Kark, J. D., Friedlander, Y. és mtsai*: Five minute recordings of heart rate variability for population studies: repeatability and age-sex characteristics. *Heart*, 1998, 80, 156–162.
- [14] *Park, S. B., Lee, B. C., Jeong, K. S.*: Standardized tests of heart rate variability for autonomic function tests in healthy Koreans. *Int. J. Neurosci.*, 2007, 117, 1707–1717.
- [15] *Leicht, A. S., Hirning, D. A., Allen, G. D.*: Heart rate variability and endogenous sex hormones during the menstrual cycle in young women. *Exp. Physiol.*, 2003, 88, 441–446.
- [16] *Fu, C. H., Yang, C. C., Lin, C. L. és mtsai*: Effects of long-term vegetarian diets on cardiovascular autonomic functions in healthy postmenopausal women. *Am. J. Cardiol.*, 2006, 97, 380–383.
- [17] *Evréngul, H., Tanariverdi, H., Kose, S. és mtsai*: The relationship between heart rate recovery and heart rate variability in coronary artery disease. *Ann. Noninvasive Electrocardiol.*, 2006, 11, 154–162.
- [18] *Teragani, V. K., Maallavarapu, M., Radhakrishna, R. K. és mtsai*: Linear and nonlinear measures of blood pressure variability: increased chaos of blood pressure time series in patients with panic disorder. *Depress. Anxiety*, 2004, 19, 85–95.
- [19] *De la Cruz, T. B., López, C. L., Orellana, J. N.*: Analysis of heart rate variability at rest and during aerobic exercise: a study in healthy people and cardiac patients. *Br. J. Sports Med.*, 2008, 42, 715–720.
- [20] *Sandercocock, G. R., Grocott-Mason, R., Brodie, D. A.*: Changes in short-term measures of heart rate variability after eight weeks of cardiac rehabilitation. *Clin. Auton. Res.*, 2007, 17, 39–45.
- [21] *Tsai, M. W., Chie, W. C., Kuo, T. B. és mtsai*: Effects of exercise training on heart rate variability after coronary angioplasty. *Phys. Ther.*, 2006, 86, 625–635.
- [22] *Haensel, A., Mills, P. J., Nelesen, R. A. és mtsai*: The relationship between heart rate variability and inflammatory markers in cardiovascular diseases. *Psychoneuroendocrinology*, 2008, 33, 1305–1312.
- [23] *Lampert, R., Bremner, J. D., Su, S. és mtsai*: Decreased heart rate variability is associated with higher levels of inflammation in middle-aged men. *Am. Heart J.*, 2008, 156, 759–767.
- [24] *Shibata, M., Moritani, T., Miyawaki, T. és mtsai*: Exercise prescription based upon cardiac vagal activity for middle-aged obese women. *Int. J. Obes.*, 2002, 26, 1356–1362.
- [25] *Dekker, J. M., Crow, R. S., Folsom, W. R. és mtsai*: Low heart rate variability in a 2 minute rhythm strip predicts risk of coronary heart disease and mortality from several causes: the ARIC Study. *Circulation*, 2000, 102, 1239–1244.
- [26] *La Rovere, M. T., Pinna, G. D., Maestri, R. és mtsai*: Short-term heart rate variability strongly predicts sudden cardiac death in chronic heart failure patients. *Circulation*, 2003, 107, 565–570.
- [27] *Goldberger, J. J., Cain, M. E., Hohnloser, S. H. és mtsai*: American Heart Association/American College of Cardiology Foundation/Heart Rhythm Society scientific statement on noninvasive risk stratification techniques for identifying patients at risk for sudden cardiac death. *J. Amer. Coll. Cardiol.*, 2008, 52, 1197–1190.
- [28] *Hottenrott, K.* (Hrsg.): Herzfrequenzvariabilität im Sport. Czwalina, Hamburg, 2002.
- [29] *Hottenrott, K.* (Hrsg.): Herzfrequenzvariabilität Methoden und Anwendung in Sport und Medizin. Czwalina, Hamburg, 2006.
- [30] *Hottenrott, K., Hoos, O., Esperer, H. D.*: Herzrhythmus Variabilität und physische Belastung. *Herz*, 2006, 31, 544–552.
- [31] *Sum, K., Suzuki, S., Matsubara, M. és mtsai*: Heart rate variability during high-intensity field exercise in female distance runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2006, 16, 314–320.
- [32] *Gaoulpoulou, S., Heffernan, K. S., Fernhall, B. és mtsai*: Heart rate variability during recovery from a Wingate test in adolescent males. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2006, 38, 875–881.
- [33] *Kaikkonen, P., Rusko, J., Martinmaki, K.*: Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. *Scand. J. Med. Sci., Sports*, 2008, 18, 511–519.
- [34] *Sztajzel, J., Jung, M., Sievert, K. és mtsai*: Cardiac autonomic profile in different sport disciplines during all-day activity. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2008, 48, 495–501.
- [35] *Seiler, S., Haugen, O., Kuffel, E.*: Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2007, 39, 1366–1373.
- [36] *Brown, S. J., Brown, J. A.*: Resting and postexercise cardiac autonomic control in trained master athletes. *J. Physiol. Sci.*, 2007, 57, 23–29.
- [37] *Weinstein, A. A., Deuster, P. A., Kop, W. J.*: Heart rate variability as a predictor of negative mood symptoms induced by exercise withdrawal. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2007, 39, 735–741.
- [38] *Murrell, C., Wilson, L., Cotter, D. J. és mtsai*: Alterations in autonomic function and cerebral hemodynamics to orthostatic chal-

- lence following a mountain marathon. *J. Appl. Physiol.*, 2007, 103, 88–96.
- [39] Cornolo, J., Brugniaux, J. V., Macaralupu, J. L. és mtsai: Autonomic adaptations in Andean trained participants to a 4220-m altitude marathon. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2005, 37, 2148–2153.
- [40] Lee, C. M., Ellis, D., Daaprile, D. M.: Cardiac autonomic modulation following high-intensity static muscle contractions. *Am. J. Med. Sci.*, 2006, 332, 6–12.
- [41] Leicht, A. S., Sinclair, W. H., Spinks, W. L.: Effect of exercise mode on heart rate variability during steady state exercise. *Eu. J. Appl. Physiol.*, 2008, 102, 195–204.
- [42] Anosov, O., Patzak, A., Kononovich, Y. és mtsai: High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2000, 83, 388–394.
- [43] Cottin, F., Leprêtre, P. M., Lopes, P. és mtsai: Assessment of ventilatory thresholds from heart rate variability in welltrained subjects during cycling. *Int. J. Sports Med.*, 2006, 27, 959–967.
- [44] Cottin, F., Médigue, C., Lopes, P. és mtsai: Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *Int. J. Sports Med.*, 2007, 28, 287–294.
- [45] Blain, G., Meste, O., Bouchard, T. és mtsai: Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory arrhythmia. *Br. J. Sports Med.*, 2005, 39, 448–452.
- [46] Buchheit, M., Solano, R., Millet, G. P.: Heart rate deflection point and the second heart rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 2007, 19, 192–204.
- [47] Karapetian, G. K., Engels, H. J., Gretebeck, R. J.: Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int. J. Sports Med.*, 2008, 29, 652–657.
- [48] Martinmaki, K., Hakkinen, K., Mikkola, J. és mtsai: Effect of low-dose endurance training on heart rate variability at rest and during an incremental maximal exercise test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2008, 104, 541–548.
- [49] Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J. és mtsai: Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in over-trained athletes. *Clin. J. Sports Med.*, 2006, 16, 412–417.
- [50] Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H. és mtsai: Endurance training guide individually by daily heart rate variability measurements. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2007, 101, 743–751.
- [51] Lewis, M. J., Kingsley, M., Short, A. L. és mtsai: Rate of reduction of heart rate variability during exercise as an index of physical work capacity. *Scand. J. Med. Sci. Exerc.*, 2007, 17, 696–702.
- [52] Berkoff, D. J., Cairns, C. B., Sanchez, L. D. és mtsai: Heart rate variability in elite American track-and-field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 2007, 21, 227–231.
- [53] Hynynen, E., Unsitalo, A., Konttinen, N. és mtsai: Cardiac autonomic responses to standing up and cognitive task in overtrained athletes. *Int. J. Sports Med.*, 2008, 29, 552–558.
- [54] Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D. és mtsai: Is heart rate a convenient tool to monitor overreaching? A systematic review of the literature. *Br. J. Sports Med.*, 2008, 42, 709–714.
- [55] Borresen, J., Lambert, M. I.: Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med.*, 2008, 38, 633–646.
- [56] Ashley, E. A., Kardos, A., Jack, E. S. és mtsai: Angiotensin-converting enzyme genotype predicts cardiac and autonomic responses to prolonged exercise. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2006, 48, 523–531.
- [57] Kinnunen, S., Laukkanen, R., Hald, J. és mtsai: Heart rate variability in trotters during different training periods. *Equine Vet. J. Suppl.*, 2006, 36, 214–217.

(Apor Péter dr.,
Budapest, Czákó u. 9., 1016
e-mail: p.apor.md@freemail.hu)

A Veszprém Megyei Csolnoky Ferenc Kórház Nonprofit Zrt. (Veszprém, Kórház u. 1.)

*radiológus, bőrgyógyász, patológus és neurológus szakorvost,
illetve szakorvosjelöltet keres*

teljes munkaidőben történő alkalmazásra, határozatlan idejű állásra,

tüdőgyógyász és immunológus szakorvost
részmunkaidős, határozatlan időre szóló munkakör betöltésére.

A kórház keres továbbá

reumatológus szakorvost,

valamint további *1 fő neurológus és 1 fő urológus szakorvost,
illetve szakorvosjelöltet*

teljes munkaidőbe, határozott idejű munkavégzésre.

A részletes pályázati kiírások megtekinthetők a www.vmkorhaz.hu honlapon.