

Ismétlődő ciklikus mozgások hatása a pulzusmegnyugvásra

Bevezetés

A sportolók között vannak hobbi- és élsportolók, akiket különböző célok vezérelnek, de közös pont lehet a pulzus figyelése, amely az edzések intenzitásának mérésében és a fizikai állapot monitorozásában kulcsszerepet játszik. Az okoseszközök, például okosórák és mellkaspántok ma már elérhetővé és egyszerűbbé tették a pulzus mérését, ezáltal az edzések hatékonyságának nyomon követését, melyek segítenek a terhelés optimális beállításában, a túledzettség, sérülések és kiégés megelőzésében.

Pulzusértékek

Az ébredési pulzus a kipihentség mutatója, amely három egymást követő reggeli mérés alapján számítható. Magasabb érték (felnőtteknél 60-65, sportolóknál 40-60 ütés/perc az átlagos) fáradtságra vagy túledzettségre utalhat, ami aznapi terheléscsökkentést igényelhet (Balogh és mtsai, 2015).

Nyugalmi pulzus napközben átlagosan 70-75 ütés/perc, normális tartománya 60-100 között van (Dömötör, 2005).

Fizikai aktivitás hatására a szimpatoadrenális aktiváció következtében gyorsul a szív működés, és fokozódik az adrenalin termelése (Ángyán, 1993). A terheléssel pulzus, más néven munkapulzus, a fizikai terheléssel nő, az intenzitás és a pulzusszám között lineáris kapcsolat figyelhető meg. Az egyéni képességek, a szív-keringési és izomrendszer állapota, az edzettség, valamint a környezeti és egészségügyi tényezők befolyásolják a pulzusszám alakulását. A szívfrekvencia a terhelés kezdetén gyorsan emelkedik, majd egyenletes szinten stabilizálódik, amit steady state állapotnak nevezünk. Ennek értéke a nyugalmi és a maximális pulzusérték között változik (Balogh és mtsai, 2015).

A maximális pulzus (HRmax), maximális terhelés alatt egy perc folyamán bekövetkezett szívösszehúzódások számát jelenti. A pulzusérték eléréséhez maximális intenzitás szükséges. Az egyének maximális pulzusát becsléssel, illetve mérési módszerrel lehet meghatározni (Balogh és mtsai, 2015). Számológépes módszerek közül több képletet is lehet alkalmazni a maximális pulzus meghatározására. Azonban ezekkel a módszerekkel nem lehet precízen meghatározni a maximális pulzus értékét, mivel nem veszik figyelembe a sportolók egyéni sajátosságait. Elég csak összehasonlítani az életkor által becsült maximális pulzusértékeket a valós, mért adatokkal, ahogyan azt Cortes és mtsai, 2020-ban tették. A

maximális pulzust legpontosabban egy maximális terheléssel járó mozgásprogrammal lehet meghatározni (Cortes és mtsai, 2020).

Tartalék pulzus (Heart Rate reserve), azaz a nyugalmi pulzus és a maximális pulzus közötti különbség. Ez az érték rendszeres terhelés hatására nő, mivel a sportolónak csökken a nyugalmi pulzusa. Öregedés folyamán mind a kettő érték csökken, de a maximális pulzusérték nagyobb ütemben, ezért a pulzustartalék kisebb értéket mutat (Balogh és mtsai, 2015).

Az edzéspulzus értéke a maximális pulzus és a nyugalmi pulzus érték különbségének és az erő kifejtés százalékának a szorzata, melyhez hozzáadjuk a nyugalmi pulzus értéket (Balogh és mtsai, 2015), ezáltal meghatározható, hogy a sportoló a megadott intenzitáson, milyen pulzusértékkel dolgozzon.

Célpulzus tartománynak az edzőmunka céljának megfelelő pulzustartományt nevezik. A szakértők általában 5 célpulzus tartományt neveznek meg, de vannak eltérő rendszerek, ahol 4 pulzustartományt különítenek el. Terhelés élettani hátterében különbségek nem figyelhetők meg (Balogh és mtsai, 2015).

Megnyugvási pulzusszámnak nevezzük a terhelést követően adott idő elteltével (1,2,3,5...perc) mért pulzusszám értéket, pulzusmegnyugvának (heart rate recovery, HRR) pedig az ugyanezen idő alatt bekövetkezett pulzusszám csökkenést (terheléses pulzusszám-megnyugvási pulzusszám) (Balogh és mtsai, 2015).

Pulzusszám megnyugvás vizsgálatának jelentősége

A pulzusszám-helyreállítás a szívfrekvencia csökkenésének mértékét értékeli a fizikai terhelést követően, ami a vegetatív funkció és az edzettségi állapot jelzője az egyéneknél (Halson, 2014; Daanen és mtsai, 2012). A pulzusmegnyugvás monitorozása így alkalmassá válik a kondicionális állapot megítélésére (Pavlik, 2013). Ha a terhelés alatt a sportoló nem jut el a maximális pulzusértékhez a terhelés maximumában sem, illetve, ha a terhelést követő első perc végén kevesebb, mint 25 ütéssel csökken csak a pulzusszám, akkor majdnem biztos, hogy túledzettséggel, lappangó betegséggel vagy rejtett szívbetegséggel állunk szemben (Balogh és mtsai, 2015).

A fizikai aktivitás paraszimpatikus tónus csökkenéssel és szimpatikus rendszer fokozódásával jár, mely emeli a szívfrekvenciát (Javorka és mtsai, 2002). Az edzés utáni pulzusszám-helyreállításhoz való autonóm hozzájárulás kevésbé ismert. Mindazonáltal a paraszimpatikus aktivációt tekintik a testmozgás utáni exponenciális szívritmuscsökkenés hátterében álló fő mechanizmusnak (Nishime és mtsai, 2000). Dimkpa 2009-es kutatásában leírja, hogy a kardiovaszkuláris fitnesset gyakran csak a nyugalmi pulzusszámmal, a nyugalmi

vérnyomással, perctérfogattal, verőtérfogattal, maximális oxigénfogyasztással és a testzsír százalékos értékével jellemezték. Azonban az edzés utáni pulzusszám helyreállítást, mint könnyen mérhető értéket, amely ráadásul erőteljes és független előrejelzője a szív-és érrendszeri betegségeknek és ebben szenvedő betegek mortalitásának, gyakran figyelmen kívül hagyják, mint a kardiovaszkuláris alkalmasság mutatóját. A szívfrekvencia késleltetett csökkenése a kardiovaszkuláris diszfunkció, a cukorbetegség, az endothel diszfunkció és a metabolikus szindróma fokozott kockázatával jár együtt, nem mellesleg a terhelés utáni HRR olyan információkat nyújt, amelyek kiegészítik a hagyományos kardiovaszkuláris fitness indexeket (Dimkpa, 2009).

A pulzusszám megnyugvásának mérése

A sportoló nagyobb terhelése esetén pontosabb mérések végezhetők a kondicionális állapot felmérésére. A tesztek különböző elvek szerint működnek, de a megbízhatóság érdekében fontos szabályokat kell betartani (Pavlik, 2013). A terhelésnek elegendően nagynak kell lennie (3-6 perc), illeszkednie kell a sportág jellegzetességeihez, pontosan mérhetőnek kell lennie és technikai elemeket nem tartalmazhat, hogy az eredmények hitelesek legyenek (Pavlik, 2013).

A labortesztek esetén ergometriás eszközök nyújthatnak segítséget a pontos terhelés adagolásában. Az ergometria a meghatározott munka mennyiségének mérését jelenti, amelyhez speciális eszközöket használnak, mint a kerékpár- és futószőnyeg-ergométer, a kar- illetve evezős ergométerek. Az eredmények kifejezhetők joule-ban, kalóriában, wattban vagy oxigénfelvételben (ml/min) (Balogh és mtsai, 2015).

A korábbi kutatások szerint a pulzusszám műszeres mérése során a mellkas pántok intenzív terhelés alatt sokkal megbízhatóbb eredményekkel szolgáltak az okosórák használhatóságánál (Axelin és mtsai, 2022.; Abt és mtsai, 2017, Gilgen-Ammann, Schweizer és Wyss, 2019).

A terhelést követően kb. 6-8 mp-ig még a munkapulzusnak megfelelően ver a szív, majd meredeken csökken a szívfrekvencia. A gyors megnyugvási szakasz kb. 40-70 mp-ig tart, majd a szívfrekvencia ellapuló görbe mentén tér vissza a nyugalmi szintre. A pulzusmegnyugvást vizsgáló tesztek esetén fontos meghatározni, hogy milyen paraméterekkel dolgozunk, mit tekintünk nyugalmi pulzusértéknek. A pulzusszám-helyreállítás kiszámítására különböző időkeretek használhatók, általában 30 másodperc és 2 perc között, a leggyakrabban használt időkeret az edzés végi és az edzés utáni 60 másodperces pulzusszám közötti különbség (Halson, 2014; Daanen és mtsai, 2012). A megnyugvás időtartamát azonban nehéz pontosan mérni,

mivel ez a csökkenés exponenciális, így az ellapuló görbe pontos megítélése nehéz. Ezért javasolt az exponenciális görbe kiegyenesítése (időérték logaritmus transzformációja), így a megnyugvás egy egyenessel jellemezhető (Pavlik, 2013). Összehasonlítás alapját képezi akár a nyugalmi pulzus és a pulzusmegnyugvás értéke is. Blessing és munkatársai a maximális terhelés utáni első és második percben mérték a pulzusmegnyugvás értékét (HRR1, HRR2), de egyik mérésben sem találtak szignifikáns összefüggést a nyugalmi pulzusértékkel. Tehát, ha egy személy alacsonyabb nyugalmi pulzusértékkel rendelkezik, nem feltétlen lesz gyorsabb a pulzusmegnyugvása (Blessing és mtsai, 2010). Szubmaximális intenzitású, ciklikus mozgás utáni pulzusváltozást mértek a terhelés alatt és után 30 $\pm$ 10 éves felnőttekben. Az eredmények azt mutatták, hogy az átlagos HRR1 33, a HRR2 59 és a HRR3 69 volt (Erol és mtsai, 2011).

HRR eredmények átlagával jellemezhető tehát a kardiovaszkuláris rendszer edzettségének szintje. Minél magasabb a HRR értéke annál edzettebb sportolóról beszélhetünk, feltételezve, hogy a sportolók maximális intenzitású feladat-végrehajtásra törekedtek minden kísérlet során (Kovács és mtsai, 2022).

Célkitűzés

Önálló vizsgálatom során, a sorozatos fizikai terhelések utáni pulzusváltozásokat elemzem CrossFit edzésrendszer követő sportolók körében. Kutatásom célja összehasonlítani, edzett sportolók terhelés utáni pulzusmegnyugvási értékeit, illetve sebességeit, az egyes körök után mért pulzusmegnyugvási időtartamokkal. Másodlagos célom volt megfigyelni, hogy az elfáradás hatására hogyan változik a pulzusmegnyugvás sebessége, összevetve a terhelés utáni idő elteltével. Szakdolgozatom eredményét az edzések hatékonyságának növelésére és a sportolók fizikai állapotának javítására, illetve megfigyelésére tervezem felhasználni.

Hipotézisek

A meglévő szakirodalmakra támaszkodva a következő hipotéziseket állítottam fel:

H1: Feltételezem, hogy a terhelések utáni percenkénti pulzusértékek átlagosan minimum 15-25-30 százalékkal csökkennek a terhelés alatt elért maximális intenzitáshoz tartozó pulzusértékekhez képest.

H2: Feltételezem, hogy a terhelések utáni első, második, illetve harmadik percben csökkenni fog a pulzusmegnyugvás sebessége.

H3: Feltételezem, hogy a terhelések utáni első, második, illetve harmadik percben mért pulzusmegnyugvási sebesség értékek az első és az ötödik körben az átlagosnál gyorsabbak.

Anyagok és módszerek

Vizsgált személyek

A vizsgálatomat CrossFit-es edzésmúlttal rendelkező 10 férfi sportoló végezte el. A mérésben szereplő személyek átlagosan $8,8 \pm 3,1$ éve ezt az edzésformát végzik, életkoruk $33,8 \pm 6,8$ év, edzettségi szintjüket a nyugalmi pulzusuk $56,2 \pm 3$ ütés/perc jól jellemzi. A mérésben részt vevő sportolók többsége versenyszerűen CrossFit-ezik, eredményeik között hazai és nemzetközi versenyek dobogós helyezései is nagyszámban megtalálhatók. A kiválasztás kritériumai között szerepelt, hogy a résztvevők a CrossFit edzésrendszerét kövessék minimum 3 éve, fizikailag alkalmasak legyenek a terhelések végrehajtására, tehát ne legyenek betegek, sérültek, izomlázás állapotban és ne legyenek túledzettek. A vizsgálati személyek mérések előtt tájékoztatást kaptak a vizsgálati protokoll menetéről. Ezután aláírták beleegyező nyilatkozatukat, ezzel elismerték, hogy önkéntesen vesznek részt a vizsgálatban. A kutatás céljáról, menetéről, teljes körű tájékoztatást kaptak.

Vizsgálati protokoll

Mivel kutatásomban nem kondicionális állapotot mérek, hanem megfigyeléseket végzek a pulzus alakulásával kapcsolatban, ezért nem egy előre meghatározott pulzusmegnyugvási tesztet alkalmaztam a sportolókkal, hanem egy általam készített protokoll alapján terheltem őket. A Crossfit mozgásformájához szorosan illeszkedő ciklikus mozgást, az evezést választottam, mivel a CrossFit-ben ez egy alapvető mozgás, amely nem okoz technikai kihívást a sportolóknak, így a célnak megfelelő intenzitást kérhettem tőlük.

A vizsgálat evező ergométer használatával történt, mely a bemelegítéssel együtt, alkalmanként 35 percet vett igénybe. A sportolók mérés során Polar H10-es pulzusmérő pántot

viseltek. A korábbi kutatások alapján a mellkaspánttal végzett mérések magas intenzitás mellett is a 99,6%-os jelminőséget képviselnek (Gilgen-Ammann és mtsai 2019).

A kutatás első fázisában a kiválasztott személyek felmérése történt, melyet a Strong Body Trainingben, városunk egyik első funkcionális edzésrendszert nyújtó termében végeztem 2023 márciusában. A méréseken egyszerre maximum két fő vett részt. A mérések időpontját igyekeztünk az egyénenként változó edzésidőpontokra tenni, tehát aki délelőtt szokott edzeni, ő a délelőtti órákban evezett, aki pedig délután jár edzésekre, ő délután ült az evezőpadra. A vizsgálatba bevont sportolóktól nyugalmi pulzusértéket kértem, amelyet 10 perces fizikai aktivitástól mentes nyugalmi fázist követően, ülő testhelyzetben 3 napon keresztül, naponta egyszer mértek, majd ezen értékeket átlagolták.

A sportolóknak egy előre meghatározott terheléses vizsgálatot kellett végrehajtaniuk, amelyben 5 kört hajtanak végre az alábbiak szerint: 1 perc 40 másodperc szubmaximális, vagy afeletti intenzitású evezés, majd 3 perc 10 másodperc pihenő. A plusz 10 másodperc azért volt szükséges, hogy a három perces pulzusmegnyugvás tisztán meglegyen, ami után a sportoló fel tud készülni a következő terhelésre. A sportolóknak az előre megbeszélte szubmaximális / maximális teljesítményt tartaniuk kellett, mind az öt körön keresztül. Mivel több éves előképzettséggel rendelkező sportolók vettek részt a mérésben, egyénenként megbeszéltek, hogy mekkora teljesítménnyel tudnak 5 körön keresztül dolgozni, mialatt a célpulzus tartományban van a pulzusuk. Úgy bizonyosodtam meg arról, hogy a kiválasztott teljesítmény szubmaximális, vagy maximális intenzitású-e, hogy az első terhelés után megállapítottam, hogy az elér maximális pulzus a céltartományban van-e. A pulzusukat nem láthatták sem a terhelés, sem a pihenő ideje alatt, azonban a vizsgálat közben én nyomon tudtam követni. Mivel az ergométer a leadott teljesítményt Cal-ba is átszámolja, az evezés során célszerűnek tartottam a Cal/órás mértékegységet választani, így való idejű értékeket is mutat a kijelző, tehát látszik a húzásokba fektetett energia. Ez nagyban megkönnyítette a terhelési tartományban történő munkavégzést és alaklomszerűen instruálhattam a sportolókat az egyenletes intenzitás megtartása érdekében.

A terheléses vizsgálat bemelegítéssel kezdődött, amely körülbelül 10 percet vett igénybe és az egész testre kiterjedt. A melegítés után beállítottam az ergométert (1perc 40 másodperc munka, 3 perc 10 másodperc pihenő időre), és felhelyeztem a mellkaspántot a vizsgálati személyre. A mérések során minden egyes kör kezdeténél és végénél, valamint a három perces pihenő szakasz végénél köridőket mértem, ezzel könnyebbé tettem az adatok kigyűjtését. Az utolsó kör után a levezetéssel befejeződött a vizsgálat.

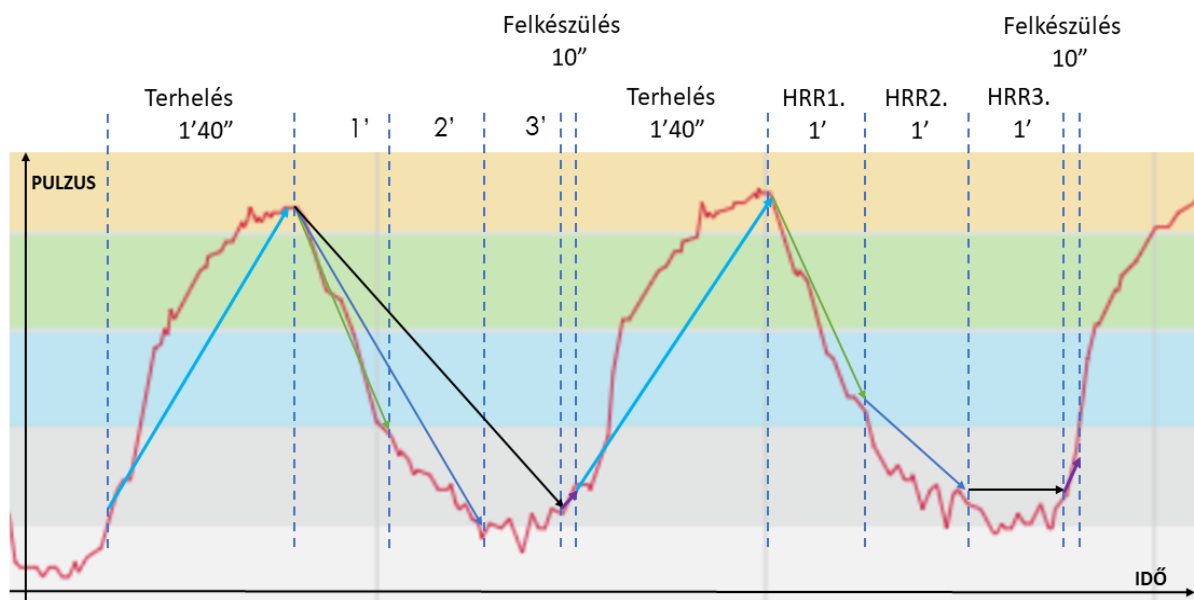
A kutatásom második felében az adatok kigyűjtése és értékelése következett. Az adatokat saját Polar felhasználói fiókomra töltöttem fel. Az adatok gyűjtéséhez a Polar Beat alkalmazást, illetve a Polar M430-as sportórát használtam. Valamennyi adat bármikor hozzáférhető volt. Az adatokat személyenként kódolva a Microsoft Excel táblázatkezelő programjában gyűjtöttem. A táblázat tartalmazta a sportoló életkorát, nyugalmi pulzusát, maximális pulzusát, a köridőkre és a restitutionós időkre vonatkozó pulzusértékeket is.

Alkalmazott statisztikai eljárások

Szakedolgozatomban az egyszerű leíró statisztikai eljárások közül az átlagot és a szórást használtam. A vizsgált változók különbségeit kétmintás „t” -próbával ellenőriztem. A pulzusmegnyugvások meredekségét, lineáris regresszió-számítással kaptam meg.

EREDMÉNYEK

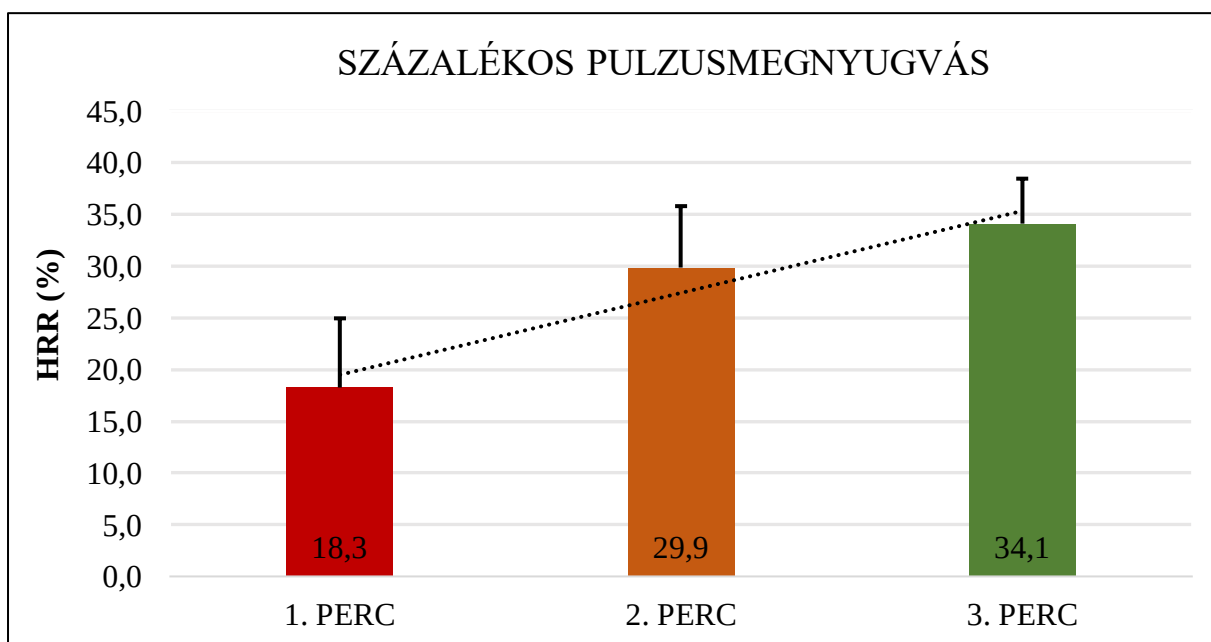
Önálló vizsgálatomban a terhelések utáni pulzusmegnyugvás százalékos értékét számolom ki a terhelések alatt elért intenzitáshoz képest, valamint jellemzem a pulzusmegnyugvások sebességét a terhelések utáni első, második, illetve harmadik percben (1. ábra).



1. ábra A protokoll részlete pulzusgörbén szemléltetve, terhelés - pulzusmegnyugvási időszakok - felkészülési szakasz

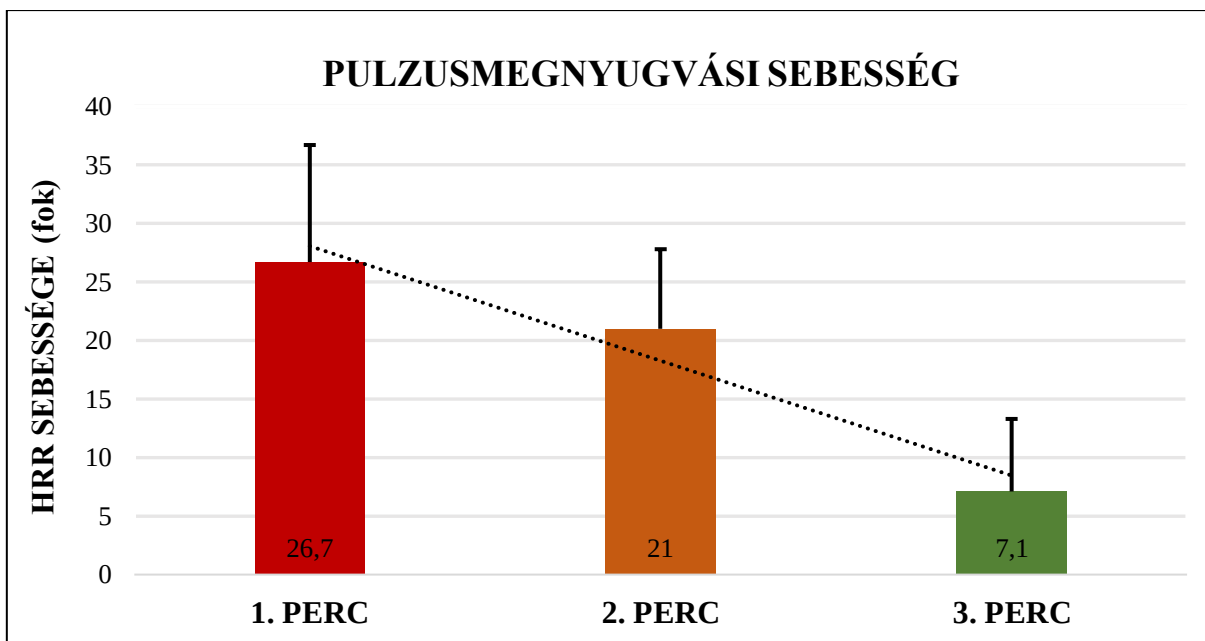
A hipotéziseket sorba véve a következő eredményeket kaptam.

A százalékos pulzusmegnyugvásokat (Heart Rate Recovery (HRR)) a körönként elért maximális intenzitás pulzusértékeihez képest, a terhelés utáni pihenőidőben számoltam, az HRR1 első, a HRR2 második és a HRR3 harmadik percben. Az öt kör pihenőideinek összesített adataival számolva az első percek átlaga $18,3\% \pm 6,7\%$, a második percek átlaga $29,9\% \pm 5,9\%$, a harmadik percek átlaga $34,1\% \pm 4,35\%$ lett. A HRR1-HRR2 között, a HRR1-HRR3 között, valamint a HRR2-HRR3 között is igen erősen szignifikáns eltérés mérhető, $p < 0,001$ (2. ábra).



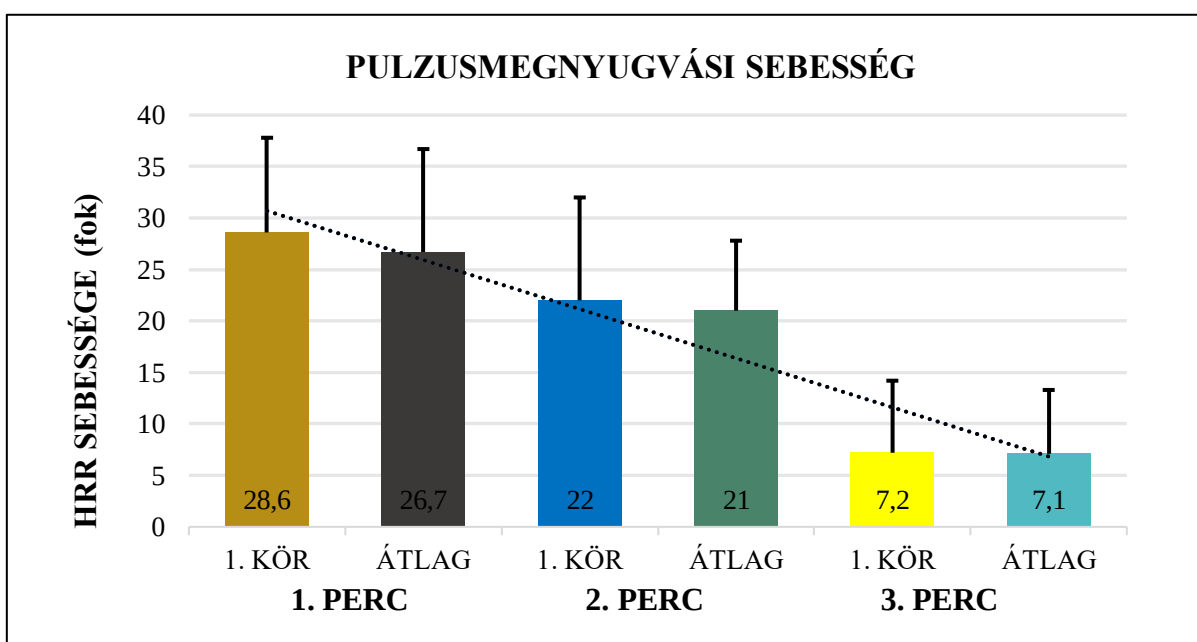
2. ábra A HRR1, HRR2 és HRR3 százalékos átlag értéke az elért maximális intenzitáshoz képest

A pulzusmegnyugvás sebességét szintén az első, második és harmadik percben mértem, a pihenők eredményeit percekre bontottam, a körök eredményeit egyben számoltam. Ahhoz, hogy a pulzusmegnyugvás sebességét megtudjam, a pulzusgörbét lineáris regressziószámítással kellett kiegyenesíteni. A számolások eredményeképp megkaptam a determinációs együtthatót, azaz az R^2 értékét, ami ebben a kontextusban kevésbé értelmezhető, mivel csupán egy negatív szám; (pl.: $R^2 = -0,46$). Ezt az értéket tangens szögfüggvény segítségével fokba átszámoltam, végül abszolút értékben megadtam. A példában felhozott $R^2 = -0,46$ abszolút értékben $24,7^\circ$, ami már egy sokkal jobban értelmezhető jellemzője a pulzusmegnyugvási sebességnek. A számolások végeztével a következő átlagértékeket kaptam, $HRR1 = 26,7^\circ \pm 10^\circ$, $HRR2 = 21^\circ \pm 6,8^\circ$, $HRR3 = 7,1^\circ \pm 6,2^\circ$. A HRR1-HRR2 között, a HRR1-HRR3 között, valamint a HRR2-HRR3 között is igen erősen szignifikáns eltérés mérhető $p < 0,001$ (3. ábra).



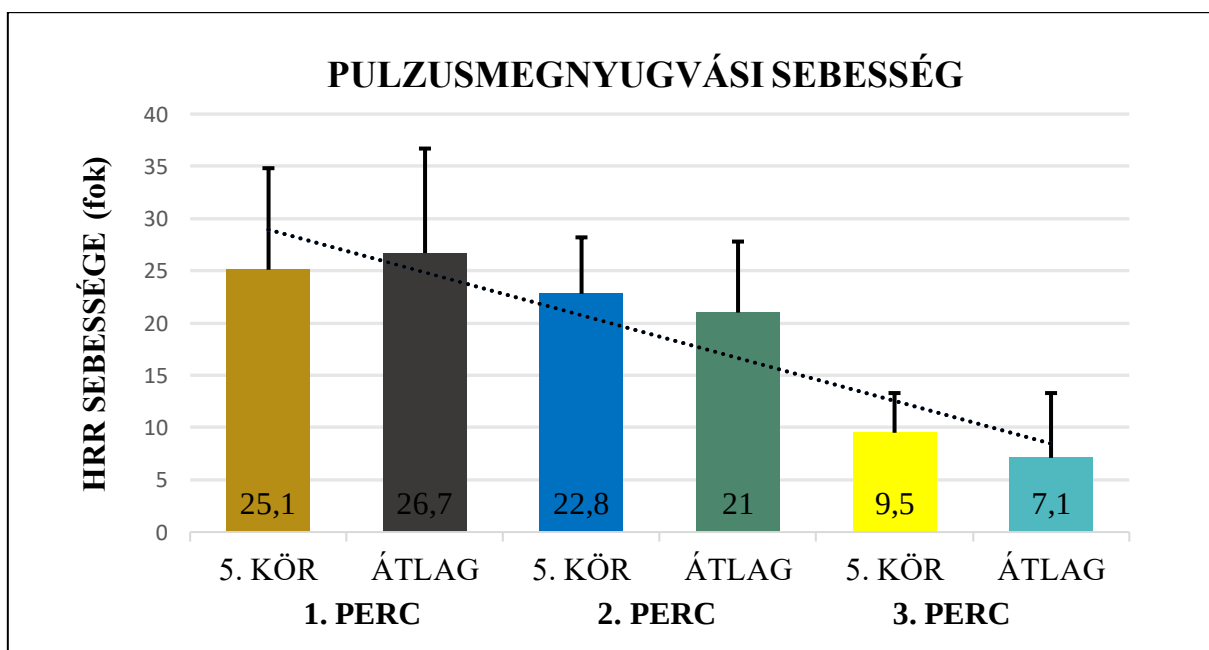
3. ábra A százalékos HRR1, HRR2 és HRR3 sebességének átlagértékei

A következő számolás az első kör és a teljes körátlag HRR1, HRR2 és HRR3 sebesség értékeit adja meg fokokban. Az első körre kapott értékek a következők: $HRR1=28,6^{\circ}\pm 9,2^{\circ}$, $HRR2=22^{\circ}\pm 10^{\circ}$, $HRR3=7,2^{\circ}\pm 7^{\circ}$. Az összes kör átlagára vonatkozó értékek pedig: $HRR1=26,7^{\circ}\pm 10^{\circ}$, $HRR2=21^{\circ}\pm 6,8^{\circ}$, $HRR3=7,1^{\circ}\pm 6,2^{\circ}$. Megfigyelhető, hogy az első kör mind a három percében nagyobb volt a pulzusmegnyugvás sebessége, ennek ellenére az első kör és a hozzájuk tartozó teljes átlagok értékei között nem volt szignifikáns eltérés (4. ábra).



4. ábra Az első kör és a terhelés egészére vonatkozó százalékos HRR1, HRR2 és HRR3 értéke

Végül az ötödik kör és a teljes körátlag HRR1, HRR2 és HRR3 értékeit hasonlítottam össze. Az ötödik körre kapott értékek a következők: $HRR1=25,1^{\circ}\pm 9,7^{\circ}$, $HRR2=22,8^{\circ}\pm 5,4^{\circ}$, $HRR3=9,5^{\circ}\pm 3,8^{\circ}$. Az összes kör átlagára vonatkozó értékek pedig: $HRR1=26,7^{\circ}\pm 10^{\circ}$, $HRR2=21^{\circ}\pm 6,8^{\circ}$, $HRR3=7,1^{\circ}\pm 6,2^{\circ}$. Megfigyelhető, hogy az ötödik kör első percében lassabb pulzusmegnyugvási adatok figyelhetők meg, mint a körök első percének átlagában, azonban az ötödik kör második és harmadik percében nagyobb a pulzusmegnyugvás sebessége. Az első és második percben nincs szignifikáns különbség, míg az ötödik kör harmadik percében szignifikánsan nagyobb $p<0,05$ a pulzusmegnyugvás sebessége, mint a körök harmadik percének átlaga. Az is megfigyelhető, hogy a pulzusmegnyugvási sebességek szórása mind a három esetben kisebb értékeket mutat az ötödik körben, mint az átlagok szórásértékei (5. ábra).



5. ábra Az ötödik kör és a terhelés egészére vonatkozó százalékos HRR1, HRR2 és HRR3 értékek

Megbeszélés

Kutatásom célja volt, hogy megtudjam mekkora pulzusmegnyugvási értékekre lehet számítani ismétlődő ciklikus mozgások terhelései után, valamint, hogy a terhelések utáni pihenőidők között milyen pulzusváltozási különbségek figyelhetők meg.

A szívfrekvencia-helyreállítási (HRR) index a szívfrekvencia csökkenésének mértékét mutatja a fizikai terhelés megszüntetése után, amelynek értékét úgy határozzák meg, hogy kiszámolják a terhelés maximális pulzusszáma és az 1. vagy a 2. perc terhelés utáni pulzusszámok közötti különbséget (Tulmen és mtsai, 2011). Terhelés után a szervezet igyekszik visszaállni a terhelés előtti állapotra. Ezen időszak alatt a pulzus fokozatosan közelít a kiindulási értékhez, amelyet időegységként jellemezni lehet. Mivel a sportolók maximális pulzusa eltérhet egymásétól,

ezért százalékos mértékben határozom meg a pulzusmegnyugvás mértékét, ezzel pontosítottam a becslés értékét.

Első hipotézisem, hogy a terhelések utáni percenkénti pulzusértékek átlagosan minimum 15-25-30 százalékkal csökkennek a terhelés alatt elért maximális intenzitáshoz tartozó pulzusértékekhez képest. A mérés alapján feltételezésem beigazolódott, mivel a kapott eredmények az általam vélt értékeknél magasabbak. A felvetésemet előzetes, hasonló kutatásokra alapoztam, ahol ezek az értékek 18%, 32% és 38%-ot mutattak (Erol és mtsai, 2011). Kutatásukban futószőnyegen végezték a mérést, ahol a résztvevőknek legalább 85%-ban kellett elérniük a maximális pulzusukat. A terhelés egyszeri volt, a kutatás abban hasonlít a sajátomra, hogy a HRR1-2-3 értékeket is mérték minimum szubmaximális terhelés után.

Második hipotézisem, hogy a terhelések utáni első, második, illetve harmadik percben csökkenni fog a pulzusmegnyugvás sebessége. A felvetésem beigazolódott, mivel az első percben $26,7^\circ$, a második percben 21° a harmadik percben $7,1^\circ$ -os átlagos pulzusmegnyugvási értékeket kaptam. Minél nagyobbak ezek a számok, egységnyi idő alatt annál nagyobb mértékben csökken a pulzus. A regressziószámítás R^2 értékei abszolút értékben az első percben $R^2=0,503$, a második percben $R^2=0,384$, a harmadik percben $R^2=0,124$ lettek. Ezekből az értékekből ki lehet számolni, hogy egységnyi idő alatt mekkora a pulzusszámváltozás. Ha 60 másodpercet vesszük alapul, akkor az első percre 30,18 ütés/perc, a második percre 23,04 ütés/perc, a harmadik percre 7,44 ütés/perc értékeket kapjuk, ami azt jelenti, hogy a terhelés befejeztével az első percig megközelítőleg 30, a második percig hozzávetőlegesen 53, a harmadik percig átlagosan 61 ütéssel csökken a terhelés utáni pulzus. Ha felidézzük az előzetes szakirodalmi áttekintést, akkor azt láthatjuk, hogy csekély eltérés mutatkozik a két mért érték között, hiszen átlagosan ott az első percig 33 ütés/perccel, a második percig 59 ütés/perccel, a harmadik percig 69 ütés/perccel csökkent a pulzus (Erol és mtsai, 2011). Ez a gondolatmenet azért fontos, mivel visszaigazolja, a pulzusmegnyugvási sebességszámítás helyes módszerét és csupán a pulzuscsökkenés értékével már becsülni lehet a pulzusmegnyugvás sebességét.

Harmadik hipotézisem, hogy a terhelések utáni első, második, illetve harmadik percben mért pulzusmegnyugvási sebesség értékek az első és ötödik körben a körök átlagánál gyorsabbak. Feltételezésem számszerűleg részben beigazolódott, mivel az első, második, illetve harmadik percben az első körök átlaga mind a három esetben nagyobb pulzusmegnyugvási sebességet mutatnak, míg az ötödik kör első percében lassabb pulzusmegnyugvási értéket kaptam, mint az átlag. Feltételezésemet arra alapoztam, hogy az emberi szervezet bizonyos ideig különösebb erőfeszítés nélkül tartani tud egy bizonyos intenzitást, mivel az energiafedezet elegendő hozzá. Semmiféle belső, akarati tényező nem szükséges a teljesítmény fenntartásához.

A további terheléseket már csak akarati erőfeszítéssel tudja végrehajtani, közel azonos szinten. Végül a terhelést már nem képes fenntartani pszichés mozgósítással sem, mivel elfogyott a felhasználható energia. Ezeknek a fázisoknak sajátos élettani, pszichés és morfológiai sajátosságai vannak (1).

A testmozgás során a kardiovaszkuláris paraméterek változnak a működő izmok fokozott oxigénellátása és a létfontosságú szervek perfúziójának megőrzése érdekében. A vaszkuláris rezisztencia és a szívfrekvencia különbözőképpen szabályozódik a fizikai aktivitás során (O'Leary, 1993). A terhelés kezdetén a pulzusszám emelkedését főként központi parancsok közvetítik a vagus tónus csökkenésén keresztül. Ahogy a munka intenzitása növekszik, és a pulzusszám megközelíti a 100 ütés/perc értéket, a szimpatikus aktivitás emelkedni kezd, ami tovább növeli a pulzusszámot és a plazma noradrenalin-koncentrációját, valamint a zsigeri szervek érzékkületét (Warren és mtsai, 1997; Carter és mtsai, 1999). A testmozgás abbahagyásával a központi parancsok megszűnésével, a baroreflex aktiválódása és más mechanizmusok hozzájárulnak a paraszimpatikus aktivitás emelkedéséhez, ami a szívfrekvencia csökkenését okozza a fenntartott szimpatikus aktiváció ellenére (O'Leary, 1993). Később a szimpatikus hatás csökkenését is megfigyelték edzés után (Forjaz és mtsai 1998). Mindezen változásokhoz az arousal szint, mely a szervezet éberségi, valamint aktivációs szintjét jelenti, szintén hozzájárul. Az érzelmi arousallal fiziológia változások jönnek létre, melyek többsége a vegetatív idegrendszer szimpatikus ágának fokozódásából származnak. A szimpatikus idegrendszer fokozódásából származó változások pl.: a növekvő vérnyomás és pulzus; az emelkedett légzésszám, a fokozott izzadás. Az érzelmi állapot csillapodásának hatására a paraszimpatikus idegrendszer aktivitása felülkerekedik és visszaállítja a szervezetet a normális állapotára (2).

Kutatásomban a szimpatikus és paraszimpatikus idegrendszer pulzusra gyakorolt hatása is megfigyelhető, mivel az ötödik körben gyorsabb a pulzusmegnyugvás sebessége tudván, hogy a terhelés ezen a ponton befejeződik. Ha az idegrendszeri ágak aktivitásának változása nem lenne ekkora mértékű, akkor az elfáradás hatása miatt feltételezhető, hogy az ötödik körben az átlagos pulzusmegnyugvási sebesség alatt lennének a HRR2 és HRR3 értékei is.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kardiorespiratorikus fittség a Crossfit alapvető összetevője, amely lehetővé teszi a sportolók számára, hogy fenntartsák az intenzív igénybevételt, beleértve a nagy intenzitású, szakaszos erőfeszítéseket és a robbanásszerű sebességváltásokat is. A kardiorespiratorikus fittséget a regenerációs idő növelésének (Tomlin és Wenger 2001) és az izomsérülések kockázatának mérséklésének módosítható tényezőjeként is azonosították (Gastin és mtsai 2015). A szubmaximális fittségi tesztek lehetővé teszik a szakemberek számára, hogy megbízhatóan és gyakran értékeljék a sportolók fiziológiai állapotát, elsősorban a pulzusszámból származó mutatók segítségével (Shushan és mtsai 2022).

Vizsgálatom legfőbb célja volt, hogy ismétlődő szubmaximális terhelést követően az elfáradás tüneteit számszerűen alátámaszthassam a pulzusértékekkel és az azokból számolt további változókkal, mint például a pulzusmegnyugvás sebessége. A terhelések utáni pulzusmegnyugvási értékek fontos mutatói az edzettségi szintnek, ezért célszerű rendszeresen mérni, és ezáltal egyénre szabhatóvá válik és pontosan adagolható lesz az edzésterhelés. Kutatásomban a sorozatos szubmaximális-maximális terhelések utáni százalékos pulzusmegnyugvást állapítottam meg, amely hasonló terhelésekhez egy támpontot nyújt, mint átlagos érték. A pulzusmegnyugvás sebességének összehasonlításakor, arra a következtetésre jutottam, hogy az első percen a legmeredekebb, ezt követi a második perc sebessége, végül a harmadik percben a leglassabb a pulzusszám átlagos csökkenése. Ez az eredmény látszik a pulzusértékekből is, de egy másik megközelítése az edzettségi állapot meghatározásának. Továbbiakban összehasonlítottam az első és utolsó, azaz az ötödik kör HRR1, HRR2 és HRR3 sebességbeli értékeit a körök átlagának értékeivel. Az eredményekből szépen látszik, hogy a szervezet az első kör után jobb pulzusmegnyugvási eredményeket produkál, mint az átlagos értékek, valamint ugyanez elmondható az utolsó körről, melynek HRR1 értéke kivételt képez. Kutatásomban bebizonyosodott az elfáradás szervezetre gyakorolt hatása, valamint az idegrendszeri szabályozás jelentősége a pulzusszámra. Mivel a pulzus értékeinek meghatározásáról és változásainak leírásáról számtalan kutatás született, ezért hatalmas ismeretanyag áll rendelkezésre az edzések optimalizására, a minél nagyobb teljesítőképesség elérésére. Ezekhez a kutatásokhoz szeretném hozzátenni sajátomat, megerősíteni azokat, valamint másik szemszögből megközelíteni a terhelések utáni pulzusváltozásokat.

Véleményem szerint kutatásom eredményei olyan adatok, amelyek nem csupán alátámasztanak korábbi kutatásokat, hanem az elméleti ismereteket és gyakorlati tapasztalatokat olyan mértékben ötvözi, amely rendkívül szemléletes módon mutatja be a sorozatos terhelések emberi szervezetre gyakorolt hatásait.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ángyán, L. (1993): *Sportélettani alapismeretek*. Duplex-Rota Kft., Pécs.
- athlete*. American Academy of Pediatrics Council on Sports medicine and Fitness, 119(6):1242-5.
- Balogh, L., Molnár, A., Jenei, Z., Nábrády, Zs., Ráthonyi, G., Szilágyi, R. és Balogh, P. (2015): *Bevezetés a sportdiagnosztikába*. Campus Kiadó, Debrecen.
- Carter, 3rd. R., Watenpaugh, DE., Wasmund, WL., Wasmund, SL. & Smith, ML. (1999). *Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans*. Journal of Applied Physiology, 87: 1463-1469.
- Daanen, HAH., Lamberts, RP., Kallen, LV., Jin, A., Van Meeteren, NL. (2012). *A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes*. Int J Sports Physiol Perform 7: 251-260
- Daniel, S., Bryndan, L., Nelson, C., Joel., R. M. (2020): *Accuracy of Commonly Used Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations*. International journal of exercise science, 13(7):1242-1250.
- Dimkpa, U. (2009): *Post-exercise heart rate recovery: An index of cardiovascular fitness*. Journal of Exercise Physiology Online, 12(1):10-22
- Dömötör, E. (2005): *Pulzuskontroll, testsúlykontroll*. Carita, Budapest.
- Forjaz, CL., Matsudaira, Y., Rodrigues, FB., Nunes, N., Negrão, CE. (1998). *Post-exercise changes in blood pressure, heart rate and rate pressure product at different exercise intensities in normotensive humans*. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 31: 1247-1255
- Gastin, PB., Meyer, D., Huntsman, E., Cook, J. (2015) *Increase in injury risk with low body mass and aerobic-running fitness in elite Australian football* Int J Sports Physiol Perform. 2015; 10:458-463
- Halson, SL., (2014). *Monitoring training load to understand fatigue in athletes*. Sports Med; 44: 139-147
- Javorka, M., Zila, I., Balhárek, T., Javorka, K. (2002): *Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity*. Brazilian journal of medical and biological research, 35(8):991-1000.
- Kovács M, Balogh L, Pöszmet T, Pucsok J.M. (2022). *COMPLEX PERFORMANCE ANALYSIS IN BALL SPORTS* Stadium –Hungarian Journal of Sport Sciences 5(1)

- Michael, R. E., Michele, S. O., Henry, N. W., Daniel, L. B., David, S., Peter, G. (2010): *The relationship between resting heart rate variability and heart rate recovery*. Clinical Autonomic Research Society 20(1):33-8.
- Nishime, EO., Cole, CR., Blackstone, EH., Pashkow, FJ.; Lauer, MS. (2000). *Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG*. Journal of the American Medical Association, 284: 1392-1398.
- O'Leary, DS. (1995). *Autonomic mechanisms of muscle metaboreflex control of heart rate*. Journal of Applied Physiology, 74: 1748-1754.
- Pavlik, G. (2013): *Élettan-Sportrélettan*. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest.
- Shushan, T., McLaren, SJ., Buchheit, M., Scott, JT., Barrett, S., Lovell, R. (2022) *Submaximal fitness tests in team sports: a theoretical framework for evaluating physiological state* Sports Med. 52:2605-2626
- Tomlin, DL., Wenger, HA. (2001) *The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise* Sports Med. 31:1-11
- Tulumen, E., Khalilayeva, I., Aytemir, K., Kaya, BE., Deveci, SO., Aksoy, H., Kocabas, U., Okutucu, S., Tokgozoglu, L., Kabakci, G., Ozkutlu, H., Oto, A. (2011). *THE REPRODUCIBILITY OF HEART RATE RECOVERY AFTER TREADMILL EXERCISE TEST* Ann Noninvasive Electrocardiol 16(4): 365-72
- Warren, JH., Jaffe, RS., Wraa, CE. & Stebbins, CL. (1997). *Effect of autonomic blockade on power spectrum of heart rate variability during exercise*. American Journal of Physiology, 273: R495-R502.

Internetes hivatkozások:

- (1) <https://people.inf.elte.hu/pagsaai/Sportedzo2012/edzeselmelet-dolgozat.pdf> (2023)
- (2) https://psycho.unideb.hu/munkatarsak/csukonyi_csilla/targyak/Sportpszichol%C3%B3giaanyag.pdf (2023)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szakedolgozatom végén ezúton szeretnék köszönetet mondani a segítségért mindazoknak, akik dolgozatom megírása során valamilyen módon a segítségemre voltak.

Köszönöm témavezetőmnek, aki minden segítséget és útmutatást megadott, valamint motivált pályamunkám kidolgozottságát illetően. Köszönöm a témában jártas kedves ismerősömnek az órák hosszat tartó beszélgetéseket, amelyek alatt sok hasznos tudásra tettem szert a témával kapcsolatban, valamint sporttársamnak, akivel szintén sokat konzultáltam a kutatásról. Köszönöm volt matematika tanáromnak és férjének, akik segítségemre voltak a matekos kérdéseimben, továbbá volt testnevelő tanáromnak, hogy biztosította a helyszínt és az evezőgépeket termében, a Strong Body Trainingben, végül, de nem utolsó sorban az elszánt sportolóknak, akik részt vettek a vizsgálatban.

