

Az extrém fizikai és pszichés stressz vegetatív szabályozásra kifejtett hatása a
szívfrekvencia variabilitás (HRV) paraméterek tükrében

Doktori (Ph.D.) értekezés

Móra Ákos

Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar

Egészségtudományi Doktori Iskola

Pécs, 2024

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI KAR
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető: Prof. Dr. Kiss István az MTA doktora, egyetemi tanár

Programvezető: Dr. Rétsági Erzsébet

Témavezető: Dr. Ács Pongrác

Társ témavezető: Dr. Tóth Miklós

Az extrém fizikai és pszichés stressz vegetatív szabályozásra kifejtett hatása a
szívfrekvencia variabilitás (HRV) paraméterek tükrében

Doktori (Ph.D.) értekezés

Móra Ákos



Pécs, 2024

“It is not the strongest of the species that survives,
not the most intelligent that survives.
It is the one that is the most adaptable to change.”

Charles Darwin

TARTALOMJEGYZÉK

Rövidítések jegyzéke	6
Táblázatok és ábrák jegyzéke	8
Táblázatok jegyzéke	8
Ábrák jegyzéke	8
Bevezetés	9
Szakirodalmi áttekintés.....	11
A homeosztázis és az egészséges variabilitás	11
A szív és keringési rendszerben mérhető variabilitás.....	12
A szívfrekvencia és a szívfrekvencia variabilitás összefüggései	13
A szív és keringési rendszer vegetatív szabályozása.....	14
A szív és keringési rendszer vegetatív szabályozásának neurológiai háttere	15
HRV mutatók	16
Time domain mutatók.....	16
R-R.....	17
N-N	17
SDNN.....	17
rMSSD.....	18
pNN50.....	18
Frequency domain mutatók.....	18
HF (High-frequency band).....	19
LF (Low-frequency band)	19
LF/HF hányados	19
A szívfrekvencia és a szívfrekvencia variabilitás befolyásoló tényezői.....	20
Életkor.....	20
Nem.....	21
Légzés	21
Testhelyzet	22
Alvás	23
A stressz hatása a HRV-re	24
Fizikai stressz	26
Pszichés stressz.....	28
A tapasztalat hatása a vegetatív szabályozásra.....	29
Pszichés stressz a sporttudományban – a verseny előtti izgalom.....	30

Pszichés stressz speciális szituációkban.....	31
Kérdésfeltevés és célkitűzések.....	33
Anyag és módszer	34
Résztevők és csoportosítás.....	34
Etikai engedély.....	35
Vizsgálati protokoll	35
Adatok – HRV mutatók	36
Adatok – további mért adatok.....	37
Statisztikai próbák	38
Eredmények	39
Longitudinális vizsgálat.....	39
Összehasonlító vizsgálat.....	46
Megbeszélés.....	50
Longitudinális vizsgálat.....	50
Összehasonlító vizsgálat.....	52
A célkitűzésekre adott válaszok.....	55
Új eredmények	57
Limitációk.....	58
Következtetések és összefoglalás.....	60
Conclusions and summary	61
Irodalomjegyzék.....	62
Köszönetnyilvánítás	73
Publikációs lista.....	74
Folyóiratcikkek.....	74
Idézhető absztraktok.....	75

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AV csomó:	Atrio-ventricularis csomó – a szív ingerképzésében szerepet játszó csomó
CAN:	Central Autonomic Network – Központi vegetatív hálózat
EKG:	Elektrokardiográfia
HF:	HRV paraméter – high frequency band
HIIT:	High Intensity Interval Training
HPA tengely:	Hypothalamus – hypophysis – mellékvese tengely
HRV:	Heart rate variability (Szívfrekvencia változékonyság)
LF:	HRV paraméter – low frequency band
LF/HF:	HRV paraméter – a low frequency band és a high frequency band hányadosa
mPFC:	mediális prefrontális cortex
NK sejt:	Natural killer sejt – fehérvérsejt típus
N-N:	Normal-to-normal szívciklus, ektópia mentes szívciklus
NN50:	HRV paraméter – azon egymást követő szívciklus párok száma a teljes mintában, amelyek között az időbeli eltérés legalább 50 ms
NREM:	Alvásfázis – Non-rapid eye movement
n.u.:	normalized unit – A frequency domain paraméterek egyik közlési módja
PFC:	Prefrontális cortex
PHY:	Fizikai stressz teszt
pNN50:	HRV paraméter – azon egymást követő szívciklus párok aránya a teljes mintában, amelyek között az időbeli eltérés legalább 50 ms
PSY:	Pszichés stressz teszt
PTSD:	Post Traumatic Stress Disorder (poszt-traumás stressz betegség)
QRS:	A szívciklus egy szakasza – kamrai depolarizáció
REM:	Alvásfázis – Rapid eye movement
RER:	Respirációs kvóciens
rMSSD:	HRV paraméter – az egymást követő szívciklusok hosszának négyzetátlagja
RR:	HRV paraméter – két egymást követő R hullám időben kifejezett távolsága
SD1:	HRV paraméter – a Poincare diagram függőleges mutatója
SDANN:	HRV paraméter – ektópiamentes szívciklusok távolságának átlagolt szórás értéke hosszú időtartamú mérés esetén
SDNN:	HRV paraméter – ektópiamentes szívciklusok távolságának szórás értéke

TL: Training load (edzésterhelési mutató)
TP: HRV paraméter – Total Power
VLF: HRV paraméter – very low frequency band
vmPFC: ventromediális prefrontális cortex

TÁBLÁZATOK ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat Az edzőtábor során az SDNN mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként	41
2. táblázat Az edzőtábor során az átlagos RR távolság mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként	42
3. táblázat Az edzőtábor során a pNN50 mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként	43
4. táblázat Az edzőtábor során az rMSSD mutató változásában mért hatásnagyság értékek	44
5. táblázat A fizikális stressz teszt során elvégzett futópad ergométeres terhelés mért adatai	46
6. táblázat A stressz tesztek előtti és utáni HRV értékek összehasonlító vizsgálata egymintás t-teszttel (félkövér p értékek jelzik a szignifikáns különbségeket)	47
7. táblázat A relatív VO ₂ peak értékek átlaga alapján elvégzett csoportosítás után szignifikáns különbséget találtunk az LF/HF hányadosok változása között a fizikai stressz teszt, valamint a VLF mutató változása között a pszichés stressz teszt során. A félkövér p értékek a szignifikáns különbségeket jelzik	48
8. táblázat HRV mutatók delta értékei közötti korrelációk. A fizikai stressz teszt értékei a táblázat jobb felső, a pszichés stressz teszt értékei a táblázat bal alsó részén található (** p < 0,01, *** p < 0.001).	49

Ábrák jegyzéke

1. ábra. A training load mutató alakulása az edzőtábor során	39
2. ábra A sportolók egyéni maximális pulzusszámuk 80%-a felett töltött edzésidő a teljes napi edzésidőtartam függvényében	40
3. ábra Az SDNN értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás).....	41
4. ábra Az átlagos RR távolságok alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás).....	42
5. ábra A pNN50 értékének alakulása az edzőtábor során	43
6. ábra Az rMSSD mutató értékének a változása az edzőtábor során (átlag és szórás)	44
7. ábra A HF mutató értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)	44
8. ábra Az LF mutató értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)	45
9. ábra Az LF/HF hányados értékének alakulása az edzőtábor során	45
10. ábra A HRV paraméterek eltérő változása a fizikai (PHY) és a pszichés (PSY) teszt protokollok között (átlag ± standard hiba; ***: p<0,001). A változások mértéke százalékban lett kifejezve az Y tengelyen.	48

BEVEZETÉS

Az élsportban a hatékonyságnak kiemelt jelentősége van.

Az edzők és a sporttudomány szakemberei részletekig megtervezett aprólékossággal állítják össze az edzéseket, amelyeknek sportszakmai, valamint edzésméleti és erőnléti szempontból is illeszkednie kell az előre megtervezett periodizációs modellbe. Az elvégzett edzőmunka paramétereit pedig folyamatosan nyomon követik és elemzik. Nagyon fontos, hogy az adott edzésen a sportolót ért kardiovaszkuláris, lokomotorikus és mechanikai terhelési tényezők illeszkedjenek a periodizációs modellbe, hiszen az alulterhelés és a túlterhelés is csökkenti egy adott edzés időszak hatékonyságát. A sportoló pulzusszámának el kell érnie egy előre meghatározott terhelési zónát minden feladatban, de nem tölthet ott el a szükségesnél több időt, sőt, nem szabad, hogy a tervezettnél magasabb pulzuszónába lépjen be. A sportolónak előre meghatározott mennyiségű és intenzitású sprintet, gyorsítást és lassítást kell elvégeznie egy edzés alatt, amely mutatóknak szintén van egy optimális tartománya.

Csapat sportágak, például labdarúgás esetén ezen optimális tartományok eltérnek a különböző poszton játszó sportolók esetében, hiszen a szélső játékosok sokkal nagyobb távot tesznek meg jelentősen nagyobb sebességgel a mérkőzéseken, mint például a belső védők, és ennek a poszt specifikus különbségnek a sportági felkészítés során is meg kell jelennie. További komplexitást fokozó tényező például a csapaton belüli nagyobb életkor különbség, ahol figyelembe kell venni azt is, hogy az idősebb játékosok terhelhetősége eltér a fiatalok terhelhetőségétől. Az edzésidőszakok tervezésekor kezelni kell azt is, amikor egyes sportolókat külön edzésprogrammal kell visszavezetni a csapat számára tervezett edzésekhez (sérülésből való visszatérés, válogatott tornáról való visszatérés). Ahhoz, hogy minden szükséges tényezőt az optimális tartományon belül tartsanak, az edzők minden, laikusok számára jelentéktelennek tűnő apróságot is megterveznek, például még a gyakorlatok közötti pihenő idők hosszát is előre meghatározzák a korábbi mérési eredmények alapján. Ha szükséges, eltérő pihenő időt állapítanak meg a sportolók csoportjainak, hiszen a poszt specifikus képzés miatt egy adott gyakorlat eltérő mértékben veszi igénybe a sportolók szervezetét.

Mindent megtesznek a hatékonyság maximalizálása érdekében.

Az edzések monitorozása mellett nagyon fontos annak a nyomonkövetése, hogy az edzések során a játékost ért terhelés milyen választ váltott ki a sportoló szervezetéből. A sportolókat ért stressz mértékének nyomonkövetése komoly jelentőséggel bír, mert ez alapján válik lehetővé az edzéseken használt optimális terhelési tartomány esetleges változtatása, illetve a hétfégi mérkőzések előtt szükség esetén az edzésterv módosítása.

Ezen mérési lehetőségek közül a sportolókat ért terhelés mértékének a nyomon követése a legfontosabb. Ahogy a hétközi edzéseket is azért tervezik meg a szakemberek, hogy a sportoló a hétfégi mérkőzésen, vagy a versenyen eredményesen szerepeljen, az edzések mérését is azért végezzük, hogy tisztában legyünk azzal, hogy milyen fizikai stressz váltotta ki az adott válaszreakciót a sportolóból. Ugyanis ezen információ birtokában személyre szabott, célorientált és megfelelően periodizált, azaz hatékony edzéseket tudunk tervezni, amelyekről azt reméljük, hogy hosszú távon eljuttatják arra a szintre a sportolót, amelyre a képességei predestinálják.

A nemzetközi szakirodalomban megfogalmazott eredmények alapján a sportolót ért terhelés mértékének meghatározására a szívfrekvencia változékonyság (HRV) mérése a leginkább alkalmas. Jelen disszertációban bemutatásra kerültek a HRV mérésében rejlő lehetőségek, amelyek eléggé megalapozottak ahhoz, hogy bekerüljenek a sportszakemberek napi rutinjába, és így segítséget nyújtsanak ahhoz, hogy hatékonyabban tudják felkészíteni a sportolóikat az előttük álló megmérettetésekre.

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A homeosztázis és az egészséges variabilitás

Az 1900-as évek elején, a homeosztázis fogalmának meghatározása után kialakult az a nézőpont, hogy az emberi szervezet sejtjei a belső környezetükben teljes állandóságot, steady-state állapotot tartanak fent. Azonban a század második felében a technológia fejlődésével lehetővé vált a jelfeldolgozás vizsgálata, amely során kiderült, hogy a biológiai állandóság része a folyamatosan fennálló változékonyság (Shaffer et al., 2014). A variabilitás jelensége azonban csak akkor jelenik meg, ha a működést, adott esetben a szív működését szakaszonként elemezzük, vagyis a szívciklusokat külön vizsgáljuk. Ennek a kiváltó okai a különféle élettani szabályozó rendszerek közötti komplex, nonlineáris interakciók (Reyes del Paso et al., 2013). Az emberi szervezet szabályozásában fennálló optimális mértékű, folyamatos és dinamikus variabilitás szükséges ahhoz, hogy a szervezet rugalmasan tudjon alkalmazkodni a körülmények változásához, és azok kedvezőtlen alakulása ellenére képes legyen fenntartani a szükséges homeosztázist (Palatini, 1999). Ugyanakkor a túlzottan kis- vagy nagymértékű variabilitás nem egészséges, a szív és a keringési rendszer nem megfelelő működése mellett kimerülést, betegséget, pszichés problémákat, szellemi fogyatékoságot is jelezhet (Pham et al., 2021; Shaffer et al., 2014).

A homeosztázis és a környezeti ingerekre kiváltott keringési adaptáció szabályozása a vegetatív idegrendszer feladata, amelyben a szimpatikus és a paraszimpatikus hatások is megjelennek. A szív szimpatikus beidegzését a nyaki szimpatikus idegek látják el, míg a paraszimpatikus hatásokért a X. agyideg, a bolygóideg (nervus vagus) felelős. A bolygóideg érző és motoros ingerületek vezetésében is részt vesz, eljuttatja a szükséges információkat az agyba, majd az ezekre adott szomatikus választ is továbbítja az izmok (pl. szívizom) felé (Jarczok et al., 2019). Jelentős különbség figyelhető meg a szív beidegzésének módjában is, a szimpatikus hatásokért felelős idegek a szív működés minden közreműködőjével közvetlenül kapcsolódnak, a paraszimpatikus idegek azonban csak az ingerületképző rendszerrel vannak közvetlen kapcsolatban (Pavlik, 2011).

A szív és keringési rendszerben mérhető variabilitás

Az egészséges, a környezeti hatásokra megfelelően reagálni képes szívműködés folyamatosan változó szívfrekvenciát feltételez (McCraty & Shaffer, 2015). A szív működését a szinuszcsozó által keltett impulzusok biztosítják, melyek frekvenciáját különböző szabályozó rendszerek komplex együttműködése határozza meg, elsődlegesen a vegetatív idegrendszer szimpatikus és paraszimpatikus aktivitása (Pham et al., 2021). A vegetatív idegrendszer fontos szerepet játszik a környezeti hatások által kiváltott kardiovaszkuláris változások, azaz az allosztázis szabályozásában (Chen et al., 2021). A sporttudomány számára a szívfrekvencia laboratóriumon kívüli mérése az 1980-as évektől kezdődően elérhető, amikor megjelentek az első vezeték nélküli pulzuszórák. A sporttudomány mellett a sportági felkészítés gyakorlatában is gyorsan elterjedtek ezek az eszközök, amelyek napjainkban már nélkülözhetetlenek számítanak az adat alapú, tudatos teljesítmény fejlesztéshez (Achten & Jeukendrup, 2003).

A szabályozó rendszerek tekintetében említett variabilitás a szív- és keringési rendszer esetében is megfigyelhető, az egészséges szívműködés nyugalmi EKG eredményén az egymást követő R hullámok közötti időbeli távolságok (R-R) nem egyenlők, ezt a jelenséget nevezik szívfrekvencia változékonyságnak (Heart rate variability, HRV). Mérése non-invazív módon történik, egyszerűen végrehajtható és reprodukálható (Forte et al., 2022). A HRV adatok stabil, közel állandó pulzusértékek mellett is képesek nagyarányú, akár 10-30% eltérésű változékonyságot mutatni (Achten & Jeukendrup, 2003; Kobayashi et al., 1999), ezért a nagymértékű érzékenysége miatt fontos a vizsgálatot standard körülmények között végezni. A laboratóriumi mérések körülményei kontrollálhatók, telemetriás eszközökkel végzett pályateszt, vagy 24 órás Holter EKG mérés során azonban sok zaj, ektópia zavarhatja meg a rögzített adatokat, azonban ezek kiszűrésére a HRV elemzésre szolgáló szoftverek már képesek. Az optimális mintavételi frekvencia 250 és 1000 Hz között mozog. Minél nagyobb a mintavétel frekvenciája, annál pontosabban meghatározható a QRS komplex időtartama és az R csúcsok közötti távolság. A magas mintavételi frekvencia elősegíti az ektópiák kiszűrését is, ami történhet szűréssel (hamis csúcsok eltávolítása), vagy közbeiktató algoritmusok használatával (amikor egy helytelenül mért R csúcsot az azt megelőző és a hibás csúcsot követő távolságok alapján áthelyeznek) (Aubert et al., 2003). Ez a folyamat mindenképpen szükséges a normal-to-normal (NN) intervallumok meghatározásához.

A szívfrekvencia variabilitását már az 1600-as években megfigyelték (Clifford, 2002), de a klinikai alkalmazási lehetőségeiről szóló első publikáció csak 1963-ban jelent meg, amelyben Hon & Lee (1963) bizonyították, hogy a magzati distress korábban jelenik meg a HRV adatokban, mint a pulzusértékekben. Ewing és munkatársai (1976) bizonyították, hogy diabéteszes pácienseknél a HRV már a tünetek megjelenése előtt előrejelzi az autonóm neuropátiát. Ekkor a HRV témájában született kutatások kizárólag a szív ciklusok hosszának különbségeivel foglalkoztak. Az adatok frekvencia alapú értékelési lehetőségéről csak 1981-ben született publikáció (Akselrod et al., 1981). Ezután egyre nagyobb számban jelentek meg orvos- és egészségtudományi kutatási eredmények a témában. Vizsgálták a HRV összefüggéseit a 2-es típusú cukorbetegséggel (Benichou et al., 2018), a krónikus fájdalommal (Forte et al., 2022), a myocardialis infarktussal (Brinza et al., 2021; Luís Oliveira et al., 2013), a stresszel (Kim et al., 2018; Móra et al., 2022); sporttudományi területen pedig a verseny előtti izgalmi állapottal (Oliveira-Silva et al., 2018; Souza et al., 2019), az edzéshatékonyság növelésével (Kiss et al., 2016), a túledzettség mértékének meghatározásával (Hedelin et al., 2000), valamint a mentális teljesítmény területén a prefrontális cortex aktivizációját igénylő kognitív feladatokkal (munkamemória, kognitív gátlás, érzelmi kontroll) (Chen et al., 2021). A homeosztázis finom szabályozásához hasonlóan a szívfrekvencia esetében is szükséges a variabilitás, a túlzottan alacsony mértékű változékonyság csökkent vegetatív kapacitást mutat, azaz a szervezet nem képes megfelelően reagálni a külső és belső környezeti stresszorokra. A vegetatív szabályozás éretlensége jellemző gyermekkorban, valamint a vegetatív kapacitás csökkenése az életkor előrehaladtával is megfigyelhető, aminek elsősorban neurológiai okai vannak, de gyulladásokkal, magas vérnyomással, vagy emésztőszervrendszeri problémákkal is gyakran együttjár (Shaffer et al., 2014).

A szívfrekvencia és a szívfrekvencia variabilitás összefüggései

Az idegi szabályozás mellett a baroreceptorok által érzékelt nyomásváltozások is hatást gyakorolnak a szinuszcsomóra. A baroreceptorok működésének célja a vérnyomás állandóságának fenntartása, ezért a baroreflex a vérnyomás változása esetén módosítja a vegetatív idegrendszer által diktált szívfrekvenciát (vérnyomás emelkedésekor csökkenti, a vérnyomás csökkenésekor emeli), valamint összehúzza, vagy tágítja az ereket a vérnyomás normalizálódása érdekében. Minél hatékonyabb a baroreflex, annál gyakrabban tud a szív ciklus igazodni a vérnyomás értékének változásához, ami a HRV értékek emelkedését vonja magával

(Pham et al., 2021). A baroreflex teremti meg többek között a keringési és a légzési rendszer együttműködésének élettani alapját. Az artériákban található baroreceptorok érzékenyek a légzés ritmusára, hiszen belégzéskor csökken az artériás nyomás, kilégzéskor pedig emelkedik. A légzés ütemének változása a szívfrekvencia és a HRV értékét is befolyásolja, a jelenség a légzési szinusz aritmia.

A szív és keringési rendszer vegetatív szabályozása

A szív és keringési rendszer szabályozásának központjai az agytörzsben és a hipotalamuszban találhatók. Claude Bernarde már 1865-ben leírta, hogy a X. agyideg, a nervus vagus képez strukturális és funkcionális kapcsolatot az agy és a szív között. A szívfrekvencia mértékét elsősorban a vegetatív idegrendszer szimpatikus (truncus sympathicus thoracalis és cervicalis ága) és paraszimpatikus szabályozása (nervus vagus) határozza meg (Kim et al., 2018). A bolygóidegben található rostok nagy többsége, kb. 85%-a afferens, érző neuron, amely a szívből érkező információkat továbbítja az agyba (Shaffer et al., 2014). A vegetatív idegrendszer akaratunktól és tudatunktól függetlenül működik, szabályozását pedig vagy a szimpatikus, vagy a paraszimpatikus idegeken keresztül éri el. Ez a két szabályozási útvonal nem elkülönülten, egymástól függetlenül fejt ki hatásait, hanem folyamatosan hatást gyakorolnak egymásra. Szimpatikus dominancia során emelkedik a pulzusszám, csökken az erek átmérője (emelkedik a vérnyomás), kivéve a vázizomzat és a koronáriák táguló érhálózatát. Csökken az emésztő szervrendszer motilitása, hiszen az emésztő szervrendszer vérellátása is csökken, mert a szervezet a szükséges vér mennyiséget az agyba, a szívizomba és a vázizmokhoz irányítja (keringési redisztribúció), míg a paraszimpatikus hatások ezzel ellentétes folyamatokat váltanak ki. A keringés agytörzsi szabályozását több tényező is befolyásolja, például a baroreceptorok és a kemoreceptorok által biztosított információk, izom afferentáció, helyi szöveti anyagcsere, vagy éppen a keringő hormonok (Aubert et al., 2003). A szív afferens és efferens idegekkel is ellátott szerv, a szimpatikus idegek a szinuszcsomón, AV-csomón és a szívizomban végződnek, míg a paraszimpatikus kötegek a szinuszcsomóban, a pitvari izomban, valamint az AV csomóban érik el a szívet. A paraszimpatikus hatásokért az acetilkolin a felelős, amely serkenti a sejtmembránok K^+ vezetőképességét (K^+ veszteses hiperpolarizáció). A szívfrekvencia mértékére gyakorolt szimpatikus hatások elsődleges oka az adrenalin és a noradrenalin elválasztása (Kim et al., 2018).

Amikor a szív paraszimpatikus és szimpatikus beidegzését is gyógyszeresen blokkolják (például atropin és propranolol, azaz az úgynevezett dupla blokkolás segítségével), akkor a szinusz csomó által diktált szívfrekvencia magasabb lesz, mint a blokkolást megelőző nyugalmi pulzusszám. Ebből arra lehet következtetni, hogy a szív működése folyamatosan a paraszimpatikus gátlás hatása alatt áll annak érdekében, hogy a szervezet takarékoskodjon az energiával (Thayer et al., 2012).

A szív és keringési rendszer vegetatív szabályozásának neurológiai háttere

A későbbiekben, elsősorban a pszichés stressz, és az általa kiváltott zavarok tárgyalásakor lesz jelentősége annak, hogy megismerjük azokat az agyi folyamatokat, amelyek egy extrém pszichés stressz szituáció során a keringési rendszer szabályozásában kulcsszerepet játszanak.

A stressz definíciójának megalkotása körüli tudományos vitában már a kezdetekkor is volt egy közös pont, nevezetesen a veszélyhelyzet észlelése, amely észlelés, valamint az azt követő cselekvés a szervezet életbenmaradásának feltétele. Egyes HRV mutatók, és azok értékének a változása a szakirodalom eredményei alapján összefüggést mutatnak olyan idegi területek működésével és aktivizációjával, amelyek fontos szerepet játszanak a veszélyhelyzet észlelésében, ezért tartja a nemzetközi szakirodalom a HRV-t a stressz egyik legjobb mutatójának (Thayer et al., 2012). A kutatási eredmények alapján az amygdala azonosítja leggyorsabban a lehetséges veszélyforrásokat, és közreműködik a megfelelő válaszreakció kiválasztásában is, illetve szerepet vállal a biológiailag releváns ingerek detektálásában is (Holland & Gallagher, 2004).

Az evolúciós tapasztalatok alapján a bizonytalanságra, az ismeretlenre veszélyforrásként tekintünk, a szervezet szimpatikus izgalmi állapotba kerül, amit fight-or-flight válaszként azonosítunk. A szervezetnek ez az alapértelmezett válasza valójában egy negatív bias, amely inkább a rosszabb lehetőséget feltételezi az életbenmaradás biztosítása érdekében. Ugyanakkor napjainkban, modern társadalmunkban a veszély folyamatos azonosítása helytelen adaptáció eredménye, ami a hippocampus diszregulációját feltételezi. Ebben a folyamatban elsődlegesen a prefrontális cortex (PFC), azon belül is a mediális PFC (mPFC) játszik fontos szerepet (Thayer et al., 2012).

Biztonságos helyzetben a PFC gátolja a veszélyhelyzet lehetőségének megjelenését az amygdalában. Amennyiben a PFC működése gyógyszeresen, vagy elektromos módon blokkolt, a veszélyhelyzet észlelés gátlás alá kerül, ami csökkenti a stresszre és a veszélyhelyzetre adott válasz erősségét (Amat et al., 2008). A szorongásos rendellenességben szenvedők (pl. poszt-traumás stressz betegség (PTSD), szociális szorongás, különféle fóbiák) esetében az amygdala hiperreszponzívan reagál bizonyos élethelyzetekben, és ekkor a PFC hipoaktivitása miatt az extrém stressz válasz gátlása sem történik meg az észlelt veszélyhelyzet elmúlása után. A PTSD-ben szenvedők esetében a ventromediális prefrontális cortex (vmPFC) csökkent működése figyelhető meg, ami erősen befolyásolja az amygdalára kifejtett gátló hatások normálistól való eltérő működését (Etkin & Wager, 2007). Összességében, a nemzetközi szakirodalom szerint a krónikus veszélyhelyzet észlelésre való hajlam, valamint az amygdala hiperaktivitása a nem megfelelően szabályozott agy – periféria koordinációra, és alacsony variabilitású HRV-re utal (Thayer et al., 2012), továbbá a mérsékelt vmPFC aktivitás a HRV értékek csökkenéséhez, valamint a PTSD tünetek fokozott megjelenéséhez vezetnek a traumának kitett személyek esetében (Grupe et al., 2020).

A nemzetközi szakirodalom eredményei alapján a HRV mutatók összessége jól jellemzi azt, hogy a mPFC aktivitása milyen mértékben hat az agytörzsi magokra, amelyek a szív közvetlen szabályozását látják el. Ez a kapcsolat igazolja Claude Bernarde 1865-ben megfogalmazott állítását is, miszerint a nervus vagus képez strukturális és funcionális kapcsolatot az agy és a szív között. Ezen eredmények alapján lehet kijelenteni, hogy a HRV kiválóan alkalmas a stressz mértékének meghatározására (Thayer et al., 2012).

HRV mutatók

Time domain mutatók

A time domain mutatók számítása az egyik legalapvetőbb kutatási módszer használatával történik, a megfelelő fiziológiai mutatók változását az idő függvényében vizsgálják. Annak ellenére, hogy ez a leghagyományosabb vizsgálati módszer, az elmúlt évtizedekben folyamatos fejlődésen ment keresztül az 1960-as évektől kezdve. Luczak & Laurig (1973) nyolc, Opmeer (1973) 26 újabb változót javasolt, melyek a napjainkban is a leggyakrabban használt mutatók közé tartoznak. Az ezt követő nagy lépés az Európai Kardiológiai Társaság és az Észak-

Amerikai Elektrokardiológiai Társaság 1996-ban kiadott Task Force publikációja volt, amely további statisztikai és geometriai mutatók használatát javasolta (Task Force, 1996).

R-R

Két, egymást követő R hullám között eltelt idő ms-ban kifejezve. Az R-R távolságok sorozata egyszerűen, non-invázív módon mérhető, de az aritmiák, és a különféle mérési hibák miatt ez az adat nem használható további számítások alapjaként (Rincon Soler et al., 2017). Napjainkban a HRV elemző szoftverek algoritmusai az R-R távolságok elemzése során képesek kiszűrni az ektópiákat, így további analíziseket már a normál, a szinusz csomó ingerületkeltéséből származó szív ciklus távolságok figyelembevételével végeznek.

N-N

Normal-to-normal szív ciklus. Két, egymást követő ektópia mentes R hullám között eltelt idő ms-ban kifejezve. Ez a mutató jelenti a további time-domain és frequency domain paraméterek számításának alapját. Leíró statisztikai vizsgálatok során az alábbi paramétereket határozzuk meg a korrigált N-N távolságok alapján:

NNmax: A mérés során rögzített két, egymást követő ektópia mentes R hullám közötti legnagyobb távolság, ms-ban kifejezve.

NNmin: A mérés során rögzített két, egymást követő ektópia mentes R hullám közötti legkisebb távolság, ms-ban kifejezve.

NNmean: A mérés során rögzített ektópia mentes R hullámok közötti távolságok matematikai átlaga, ms-ban kifejezve.

SDNN

A normál szív ciklusok szórása, mértékegysége a ms. Normál szív ciklusnak nevezzük az ektópiamentes, a szinuszcsomó ingerületkeltése által kiváltott szívösszehúzódnások között eltelt időtartamot (Pham et al., 2021). Az SDNN mutató nagyon érzékeny az adatrögzítés időtartamára, így eltérő hosszúságú mérések összehasonlítására nem alkalmas (Aubert et al., 2003). Rövid időtartamú, nyugalomban végzett mérés esetén az SDNN értékét a paraszimpatikus tónus határozza meg, különösen ha a kutatási protokoll része a mély, lassú légzésritmus (McCarty & Shaffer, 2015). Amennyiben a szívfrekvencia variabilitása nagy és irreguláris, az növeli az SDNN értékét, emiatt nevezik ezt a paramétert a stresszel szembeni

ellenállóképesség mutatójának (Kim et al., 2018). Az SDNN-t már az 1996-ban publikált Task Force is említi mint a variancia négyzetgyökét (Task Force, 1996), ugyanakkor az elmúlt időszakban több más szórás alapú mutató is megjelent a nemzetközi szakirodalomban. Többek között ilyen mutató például a Coefficient of Variation of NN (CV), amely a szórás és az átlag hányadosa. Ezt a mutatót elsősorban akkor használják, amikor olyan személyek adatai kerülnek összehasonlításra, akiknek a pulzusértéke nagymértékben eltér egymástól (Pham et al., 2021).

rMSSD

Az egymást követő szívciklusok hosszának négyzetátlaga. A mutató számításához először négyzetre kell emelni az egyes szívciklusok ezredmásodpercben kifejezett hosszát, az rMSSD az így kapott értékek átlagának a négyzetgyöke, azaz a szívciklusok varianciája, így a HRV-ben megmutatkozó, a vagális tónus által okozott változások elsődleges mutatója (McCraty & Shaffer, 2015). Az rMSSD esetében a nagyobb érték a magasabb paraszimpatikus hatások jelzője (Chen et al., 2021), ennek megfelelően szoros összefüggést mutat a HF értékével (Kleiger et al., 2005). Az SDNN-nel ellentétben, amely egy adott mérési időtartam alapján vizsgálja a mért R távolságok szórását, az rMSSD az egymást követő RR távolságokat veszi figyelembe a négyzetátlagok meghatározásához (Kim et al., 2018).

pNN50

Azon egymást követő szívciklus párok aránya a teljes mintában, amelyek között az időbeli eltérés legalább 50 ms. Erős korrelációt mutat a paraszimpatikus aktivitással, így az rMSSD és a HF mutatókkal (Shaffer & Ginsberg, 2017), ugyanakkor a nemzetközi szakirodalomban a vagális tónus jellemzésére az rMSSD mutatót preferálják (Laborde et al., 2017). A paraméter csökkenése a szimpatikus, emelkedése a paraszimpatikus hatások növekedését mutatja.

Frequency domain mutatók

A frekvencia alapú mutatók számítását a mikroprocesszor technológia fejlődése tette lehetővé (Achten & Jeukendrup, 2003). A szívfrekvencia variabilitás neurális háttere, hogy a szimpatikus és a paraszimpatikus vegetatív tónus periodikusan, különféle frekvenciával változik. A frequency domain mutatók elemzésének a célja ennek a változékonyságnak az értékelése. A spektrális analízis minden bejövő jelet szinuszos komponensekre bont, amely lehetővé teszi az egyes frekvenciatartományokhoz tartozó variancia ('power') kiszámítását és

ábrázolását (Aubert et al., 2003). Ezt az értéket kifejezhetjük abszolút értékben (ms^2), vagy normalizált értékben (n.u. – normalized unit; az egyes komponensek power értéke osztva a Total Power mínusz aperiodikus komponensek értékével) (Zaza & Lombardi, 2001). A frequency-domain mutatók számításának két módja van, a fast Fourier transzformáció (FFT) és az Autoregresszív (AR) modell (Aubert et al., 2003; Kobayashi et al., 1999).

HF (High-frequency band)

A HF mutatón a 0,15 és a 0,4 Hz közötti frekvencia tartományt értjük, a paraszimpatikus dominanciát és a vegetatív tónust jellemző mutató. Légzési tartománynak is nevezik, mert összhangban van a szinusz aritmiával (McCarty & Shaffer, 2015). Az alacsony HF érték összefüggést mutat a stresszel, a szorongással és az aggodalommal.

LF (Low-frequency band)

Az LF mutatón a 0,04 és 0,15 Hz közötti frekvencia tartományt értjük. Bár korábban úgy vélték, hogy az LF mutató a szimpatikus tónus jelzője, ez ma már vitatott, sőt, egyre több kutatási eredmény bizonyítja, hogy az LF értékére a szimpatikus és a paraszimpatikus tónus is hatással van (Holzman & Bridgett, 2017). Befolyásoló tényezőként a renin-angiotenzin rendszer és a baroreflex is említésre került a szakirodalomban (Aubert et al., 2003).

LF/HF hányados

A mutató fiziológiai jelentése sokat módosult az elmúlt évtizedekben. Korábban a vegetatív tónus legjobb jelzőjének tartották, azonban az LF mutató vitatott élettani jelentősége miatt jelenleg a hányados értékének interpretálása sem egyértelmű. A leggyakoribb feltételezés az, hogy az alacsony LF/HF érték a paraszimpatikus dominancia jelzője, ugyanakkor a növekedése szimpatikus túlsúlyt mutat. A vitatott fiziológiás háttér ellenére a kutatások sokszor számolnak be a hányados emelkedéséről olyan helyzetekben, amikor a kutatásban résztvevő személyeknek olyan kihívásoknak kell megfelelni, amelyek emelkedő szimpatikus hatásokat feltételeznek (Shaffer et al., 2014).

A szakirodalom megemlíti a VLF (very-low frequency) és az ULF (ultra-low frequency) frekvenciatartományokat is, amelyekről tudjuk, hogy a keringési rendszer egészségi állapotának jelzői (Hadase et al., 2004), azonban limitált információkkal rendelkezünk róluk

(Hunt & Saengsuwan, 2018), így tárgyalásukat jelen disszertáció keretein belül nem tartjuk szükségesnek.

A szívfrekvencia és a szívfrekvencia variabilitás befolyásoló tényezői

Életkor

A normál emberi öregedés folyamata során bizonyos élettani folyamatok vegetatív szabályozása is változáson megy keresztül, ami a legegyszerűbb élethelyzetekben is jelentkezhet. Például a fekvő pozícióból való felállás az életkor emelkedésével egyre gyakrabban járhat szédüléssel, ami a szervezet szimpatikus alkalmazkodóképességének csökkenésével magyarázható. A paraszimpatikus változások is lassabban mennek végbe az idősebbeknél, például az edzést követően azonos mértékű pulzusmegnyugváshoz is hosszabb időre van szükség. Ennek okaként elektrofiziológiai kutatási eredmények a szinuszcsozó áramvezetésének egyre fokozódó lassulásáról számoltak be, amely hatásért elsősorban az üres Schwann-sejtek számának növekedése, valamint a nervus vagus idegrostjainak mennyiségi csökkenése okoz (Moodithaya & Avadhany, 2012). Ez a folyamat eredményezi azt, hogy a TP, VLF, HF, SDNN és az rMSSD adatok fordítottan arányosak az életkorral, és a 20-29 éves csoportban ezek az értékek 30%-kal magasabbak, mint a 60-69 éves csoportban (Jensen-Urstad et al., 1997), ugyanakkor a lineáris változók értékének csökkenése 40 éves kor körül stabilizálódik (Voss et al., 2015). Az SDNN és az SDANN értékek változása évtizedenként folyamatos csökkenési tendenciát mutat. A legnagyobb változás a második és a harmadik évtized között zajlik le, amikor mind a két komponens hozzávetőlegesen 14%-ot csökken. A harmadik évtized után a csökkenés fokozatossá válik, a nyolcadik évtizedre a második évtizedben mért SDNN és SDANN értékek 70-72%-ára csökkennek. A pNN50 értéke a 20 és 30 éves kor között mért alapértékeknek mindössze 24%-át mérték 65 és 75 éves kor között. 60 éves kor után a drasztikus csökkenés lelassult, és a tizedik évtizedig 12%-ra csökkent (Umetani et al., 1998). Jensen-Urstad (1997) kutatásában említette, hogy az LF értéke is csökkenést mutat az életkor előrehaladtával, azonban Moodithaya és Avadhany (2012) ezzel ellentétes eredményre jutott, publikációjukban kiemelték, hogy az LF power értéke emelkedő tendenciát mutatott a gyermekkor után az öregedés folyamatában, ami az öregedéssel párhuzamosan szimpatikus irányba tolódó vegetatív dominancia jele. Összességében a kutatási eredmények azt mutatják, hogy az egészséges öregedés a szív működés vegetatív variabilitásának csökkenésével jár együtt, amelyet elsősorban a TP és a HF értékek nagymértékű csökkenése

jelez (Moodithaya & Avadhany, 2012). Az idős páciensek esetén a HRV értékek prediktív jelentősége erősen limitált, ugyanis az alacsony értékekről jelenleg nem állapítható meg, hogy kardiovaszkuláris problémákat jeleznek, vagy az idősödés természetes jelensége (Umetani et al., 1998).

Nem

A nemek összehasonlításakor bizonyítást nyert, hogy a nők alacsonyabb értékeket produkáltak mint a férfiak a TP, VLF, LF, LF/HF arány és SDNN adatokban (Jensen-Urstad et al., 1997; Umetani et al., 1998). Ez utóbbi eredményeket Pikkujämsä és munkatársai (2001) is megerősítették, akik szerint hanyattfekvő pozícióban a nők SDNN értéke és a normalizált HF komponense szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a férfiak esetében. Agelink és munkatársai (2001), valamint Britton és munkatársai (2007) arra az eredményre jutottak, hogy a fiatal és középkorú férfiak LF power értéke magasabb, HF power értéke pedig alacsonyabb, mint az azonos életkorú nőké. Az életkor előrehaladtával azonban a nemi különbségek folyamatosan csökkennek, idős korra teljesen el is tűnnek (Voss et al., 2015). Nincs egyetértés a szakirodalomban a menopauzának a HRV értékekre kifejtett hatásáról, Snieder és munkatársai (2006) nem találtak összefüggést a két változás között, ugyanakkor más kutatók ettől eltérő következtetést vontak le. Moodithaya & Avadhany (2009) szerint az életkor és az ösztrogén szint csökkenése is hatást gyakorol a menopauzán átesett nők vegetatív folyamataira, Pikkujämsä (1999) pedig emelkedett baroreflex szenzitivitásról és HRV értékekről számolt be azoknál a menopauzán átesett nőknél, akik ösztrogén pótló terápián vettek részt, összehasonlítva a terápián nem résztvevő, menopauzán átesett nők adataival, bizonyítva, hogy a hormonális változások legalább részben felelősek a megfigyelt, életkorhoz és nemhez kötődő vegetatív változásokért.

Légzés

A légzés egy automatikusan működő életfunkció, melynek átlagos gyakorisága 12-20 légvétel percenként. Vegetatív szabályozása mellett szükség esetén tudatosan módosítani tudjuk a légzés frekvenciáját és mélységét, amely során általában a légzés lassítására, és mélyítésére törekszünk, például meditációnál vagy relaxáció során (Laborde et al., 2022). Korábbi kutatási eredmények beszámoltak már arról is, hogy a lassú mély légzés (6 légvétel percenként) pozitívan hat a fizikai és mentális egészségre is (Lehrer et al., 2020), például optimalizálja a vegetatív idegrendszer (baroreflex, légzési sinus aritmia), a keringési és légzőrendszer,

valamint a neuroendokrin rendszer működését, ezáltal csökkentve az idegességet és a vérnyomást (Laborde et al., 2022). Ennek az az oka, hogy a lassú, mély légzés fokozza a paraszimpatikus hatásokat, amelyet az emelkedő rMSSD és HF értékek is mutatnak (Sacha, 2014). A légzésfrekvencia egyszeri, akaratlagos lassításának elhagyása után az rMSSD értéke visszatér a kiindulási értékre (Lehrer et al., 2020), ugyanakkor, ha a normál légzésünket gyakran, ismétlődően lassítjuk, az rMSSD mutató átlagos, a légzés lassítás befejezését követő értéke is magasabb lesz a kiindulási értéknél. Ennek az a magyarázata, hogy a mély légvételekkel stimuláljuk a bolygóideg afferens részét, amelyben megfelelő gyakoriságú ismétlődő ingerlés esetén funkcionális változásokat tudunk előidézni (Laborde et al., 2019). A légzés rendszeres, ismétlődő lassításával optimalizálni tudunk korábban említett kortikális és szubkortikális élettani funkciókat is, mint például a baroreflex, a légzési szinusz aritmia, de az emelkedett paraszimpatikus hatások segítik az érzelmi reakciókért felelős idegi központok működését is (Laborde et al., 2022). A nemzetközi szakirodalom adatai alapján tudjuk, hogy az R-R távolságok csökkennek belégzéskor, és nőnek kilégzéskor (Levin & Swoap, 2019). A légzési térfogat és a légzésfrekvencia nagymértékben befolyásolja a TP, LF, HF értékeket. A TP az alacsony légzési frekvencia esetén (6-10/min) magasabb, ugyanakkor jelentősen csökkent, amikor a légzés meghaladta a 10 légvétel/percet (Brown et al., 1993). Egyes kutatási eredmények szerint a vegetatív tónust leginkább jellemző mutató is a légzésfrekvencia függvénye. Amennyiben a percenkénti légvételek száma 9 és 24 közötti, a vegetatív tónust a HF értéke mutatja (Laborde et al., 2017), ugyanakkor a percenkénti 9 légvétel alatt az LF értéke az irányadó (Kromenacker et al., 2018). Nincs szignifikáns különbség a HF értékében spontán és metronóm által szabályozott légzésminta között (Bloomfield et al., 2001).

Testhelyzet

Az általánosan elfogadott metódus szerint a HRV mérése hanyattfekvő pozícióban történik, azonban a nemzetközi szakirodalomban más mérési pozíció is megtalálható. Az edzés után végzett HRV mérések után kijelenthető, hogy az ülő testhelyzet emelkedett LF/TP és LF/HF értékeket, míg csökkent HF és HF/TP értékeket eredményez, azaz a szervezet szimpatikus szabályozása fokozódik. Tanulmányok azt is bizonyították, hogy a nemi különbségek markánsabban jelentek meg ülő pozícióban (Pikkujämsä et al., 2001). Aubert és munkatársai (2003) edzett személyek fekvő és álló HRV mérési eredményét hasonlították össze, és megerősítették azt, hogy fekvő pozícióban a HF, az rMSSD és a pNN50 értéke magasabb volt az emelkedett vagális tónus miatt. Barak és munkatársai (2010) is megerősítik a fent leírtakat,

vizsgálatukban magasabb SDNN és rMSSD értékeket mértek fekvő pozícióban, mint ülésben. Tanulmányukban nem találtak szignifikáns különbséget sem a time-domain, sem pedig a frequency-domain mutatók esetében a “fekvő”, valamint “fekvő, megemelt lábakkal” pozíciók között.

Alvás

Az alvás és a vegetatív idegrendszeri szabályozás kölcsönösen befolyásolják egymást. A vegetatív szabályozásban bekövetkező változások hatással vannak az elalvásra, az egymást követő különböző alvásfázisoknak pedig eltérő vegetatív jellege van. A vegetatív idegrendszer két ágának, a szimpatikus és paraszimpatikus szabályozásnak a cirkadián ritmusa nagyon jól dokumentált, napközben a szimpatikus, este és éjjel a paraszimpatikus hatások dominálnak (Jarczok et al., 2019), ami segíti az elalvást a nap végén. A HRV értékek szignifikánsan eltérnek az alvás és az ébrenlét között, így az alvás során végzett HRV mérés használható az alvásminőség ellenőrzésére (Lee et al., 2015). Az elalvás után paraszimpatikus dominancia figyelhető meg, amit elsősorban a csökkenő szívfrekvencia jelez. Az alvás két stádiuma, az NREM és a REM között eltérés figyelhető meg a HRV értékekben is. Az előbbi esetében vagális, paraszimpatikus hatások érvényesülnek, míg az utóbbi esetében a szimpatikus-paraszimpatikus hatások kiegyenlítik egymást (Chen et al., 2021). A HRV mutatók azonos módon változnak az éjjeli hosszú alvás és a napközbeni rövidebb alvás során is (Whitehurst et al., 2018). Az alvás mennyiségi vagy minőségi csökkenése negatív irányba befolyásol több élettani funkciót is, például az idegrendszeri szabályozást, az immunrendszert, a hormonrendszert és a keringési rendszert, de negatív hatása van a neurokognitív funkciókra is. A nemzetközi szakirodalomban nincs teljes egyetértés az alváshiány és a HRV adatok változása között (Zhang et al., 2021). A kutatási eredmények nagy része azt bizonyítja, hogy a megfelelő alvás az egészséges homeosztázis fenntartásának egyik alapvető tényezője, ugyanis ekkor történik meg a szervezet fizikai és a pszichés regenerációja (Hynynen et al., 2009), ugyanakkor a több napon át tartó elégtelen alvás emeli a szimpatikus tónust (Dettoni et al., 2012; Meier-Ewert et al., 2004), de már egy éjszaka bekövetkező rövid alvás kimaradás is csökkentette az rMSSD, pNN50, HF és SD1 mutatók értékét, ami csökkent vagus szabályozást, azaz emelkedett szimpatikus aktivitást jelez (Bourdillon et al., 2021; Zhang et al., 2021). Egyes kutatások vizsgálták az alvás megvonás hosszabb távú hatásait is, és arra jutottak, hogy az elégtelen alvás után 24-30 órával a paraszimpatikus hatások dominánsabbak voltak, mint megfelelő alvás esetén (Holmes et al., 2002).

A szív- és keringési rendszer működését, így a nyugalomban mért HRV értékeket további, a fentiekől eltérő tényezők is képesek nagymértékben befolyásolni, azonban azok részletes tárgyalását jelen disszertáció keretei között nem tartjuk szükségesnek.

A stressz hatása a HRV-re

Selye János szerint a stressz a szervezet nem specifikus válasza a szervezetet ért ingerekre. A stressz definíciója esetén megkülönböztetjük a kiváltó ingert (stresszor), valamint a szervezet arra adott válaszát (stressz), azaz a stressz a szervezet megküzdése bármilyen külső vagy belső fenyegetettség vagy veszélyérzet esetén. Ekkor a harántcsikolt izmok fokozott működéséhez szükséges keringési teljesítmény emelkedés már a megküzdés előtt elkezdődik (Aubert et al., 2003). Stresszes helyzetben a vegetatív idegrendszer szimpatikus része válik dominánssá, amely a stressz hormonok (például: kortizol, adrenalin) fokozott elválasztásán keresztül igyekszik a szervezetben elérhető legtöbb energiát mozgósítani a hatékony védekezés érdekében (Salai et al., 2016). Ezt az energiát a védekezést segítő élettani folyamatok fokozására használjuk, mint például az emelkedő pulzusszám, vagy a szívizom és a vázizomzat ereinek tágulása (Ahmed et al., 2010), ezáltal az R-R távolságok fokozatos csökkenése (Kim et al., 2018), amivel párhuzamosan az akut védekezésben nem fontos funkciók (például immunrendszer, emésztő szervrendszer) működési erőforrásait a szervezet a minimálisra csökkenti. Amennyiben a stresszor eltűnik, a vegetatív idegrendszer paraszimpatikus hatásai kezdenek dominálni, aminek hatására a szervezet visszaállítja a homeosztázisát. Amennyiben a paraszimpatikus hatások nem képesek a homeosztázis visszaállítására, akkor a stressz krónikussá válik, a szervezet stressz reakciója pedig állandósul (Herman, 2013).

A nemzetközi szakirodalomban a stressz mérését elsősorban validált kérdőívek segítségével mérik, ilyen például a munkahelyi stresszre optimalizált Job Content Questionnaire (Järvelin-Pasanen et al., 2019), az alvásminőség vizsgálatára megalkotott Pittsburgh Sleep Quality Index questionnaire (Laborde et al., 2019), az aggodalom mértékét meghatározó Penn State Worry Questionnaire (Hall et al., 2004). Ezek a kérdőívek minden esetben a krónikus stressz feltárásában segítenek. Az utóbbi évtizedekben azonban a kérdőíves felmérés mellett, vagy helyett egyre inkább szükségessé vált egy olyan élettani mutatónak, vagy vizsgálati módszernek az alkalmazása és elterjedése, ami képes számszerűsíteni azt, hogy a szervezetnek milyen

mértékben kellett a homeosztázisát jelentő variabilitás határokon átlépnie a külső körülményekkel való megküzdés során (Thayer et al., 2012). Ennek köszönhetően egyre gyakrabban jelent meg az elsősorban az akut stressz vizsgálatát megcélzó élettani funkciók mérése. Tekintve, hogy a stresszreakciót a vegetatív idegrendszer szabályozza, a stressz mérésére is egy olyan élettani funkciót kell választani, amelyet akarattal nem tudunk befolyásolni. Ilyen mérési lehetőség a HRV mellett például az elektrokardiográfia (EKG), az elektromiográfia (EMG), a galvanikus bőrreakció, a vérnyomás mérése, vagy éppen a légzésfrekvencia rögzítése (Dalmeida & Masala, 2021). A leginkább elterjedté azonban a szívfrekvencia variabilitás detektálása és elemzése vált, aminek az az oka, hogy a fentiek közül HRV a legérzékenyebb a vegetatív idegrendszerben bekövetkező változásokra (Kim et al., 2018).

Napjainkban a stressz, elsősorban a hosszú távon fennálló stressz jelenti az elsődleges egészségügyi kockázatot (Järvelin-Pasanen et al., 2019). A nemzetközi szakirodalomban több stressz modellt is publikáltak a kutatók. Dewa (2007) szerint általánosan kijelenthető, hogy a stressz egy hosszútávon fennálló, káros, kiegyensúlyozatlan kapcsolat az ember erőforrásai és a környezeti elvárások között. Siegrist és Peter (1994) publikálta az "Effort-Reward Imbalance" elméletét, amelyben kifejtette, hogy az elvégzett munka és az érte kapott elismerés között fennálló kiegyensúlyozatlanság komoly stresszt okoz (Peters & Hopkins, 2014). Karasek (1979) "High demand – low control" elmélete más szempontból közelítette meg a stresszt kiváltó okokat. Publikációjában kifejtette, hogy a magas szintű követelmények, valamint az azok teljesítéséhez szükséges kontroll, mérlegelési hatáskör, döntési mozgástér között fennálló kiegyensúlyozatlan kapcsolat nagymértékben fokozza a stressz mértékét. A hosszútávon fennálló stressz összefüggésbe hozható több betegséggel, mint például a szív és keringési rendszer betegségei (Kivimäki et al., 2002), a vázizom rendszer betegségei, különös tekintettel a háti fájdalomra (Hoogendoorn et al., 2000), a vállövi problémák, valamint a csukló és kéz fájdalma (Ariëns et al., 2001), de találtak kapcsolatot a stressz és a depresszió, a bőrbetegségek, az alvászavarok (Hall et al., 2004), valamint civilizációs betegségek (elhízás, cukorbetegség) között is (Järvelin-Pasanen et al., 2019). Az utóbbi időben pedig egyre nagyobb figyelem fordult annak a vizsgálatára, hogy a stressz milyen mértékben lehet felelős a sejtek öregedésében és a rákos elváltozások kialakulásában. Kruk és munkatársai (2019) nem találtak egyértelmű bizonyítékokat a fenti összefüggésekre, ugyanis a nemzetközi szakirodalomban

található vizsgálati eredmények ellentmondásosak, további vizsgálatok szükségesek a feltételezett kapcsolat igazolására.

A stressz két fő úton tudja befolyásolni a szervezet működését, az egyik a hypothalamus – hypophysis – mellékvese tengely (HPA), a másik pedig a vegetatív idegrendszer szimpatikus szabályozása. Az előbbi neuroendokrin módon gyakorol hatást a szervezet működésére glükokortikoidok (kortizol) kiválasztásán keresztül, míg utóbbi az idegi szabályozás segítségével ér el szimpatikus hatást katekolaminok (adrenalin és noradrenalin) és neuropeptidok kiválasztása által. A két szabályozási mechanizmus bármelyikének nem megfelelő működése további élettani folyamatok (pl. immunrendszer, keringési rendszer, hormonháztartás) szabályozási zavarát vonhatja magával (Marques et al., 2010). A két szabályozási mechanizmus nem különíthető el élesen egymástól, szorosan összefüggenek, aktivizációjuk pedig koordinált lefutású a stresszor megjelenése után. A stresszorra a vegetatív idegrendszer reagál először, amely gyorsan képes fiziológiás változásokat előidézni (fight or flight válasz). Ennek az a neurológiai háttere, hogy a paraszimpatikus idegrendszer visszafogja a gátló mechanizmusokat, segítve a szimpatikus fiziológiás változások gyors létrejöttét a noradrenalin kiválasztása, valamint a szimpatikus preganglionális idegek stimulálása által létrejövő szívfrekvencia emelkedés révén. A HPA tengely hormonális jellege miatt a fiziológiás hatás megjelenése időigényes, a stresszor megjelenése után percekkel jelentkezik, amikor több endokrin folyamat végén a kortizol hormon elválasztása történik meg (Almási et al., 2021; Rotenberg & McGrath, 2016).

Fizikai stressz

Az edzés által a szív és keringési rendszer működésében, valamint a vegetatív idegrendszer szabályozásban kiváltott változások komplex összefüggésben állnak egymással. Kétféle efferens mechanizmus idézheti elő az edzés hatására emelkedő szívfrekvenciát, a paraszimpatikus hatások csökkenése és/vagy a szimpatikus hatások emelkedése (Aubert et al., 2003). A paraszimpatikus hatásokat jelző mutatók (rMSSD, pNN50, HF) mindegyike csökken az edzés hatására az edzés előtti kiindulási értékekhez képest, ami a szimpatikus dominancia emelkedését mutatja (Makivić et al., 2013). A vegetatív idegrendszer mindkét ága fontos szerepet játszik a szervezet szabályozásában edzések során, amelyek együttműködése nagyon finom szabályozási lehetőséget biztosít az edzések intenzitásának, időtartamának és jellegének

függvényében (O'Sullivan & Bell, 2000). Edzés során a szimpatikus dominancia emelkedése mellett a paraszimpatikus hatások csökkenése eredményezi a szívfrekvencia fokozódását, azonban ennek mértéke már az egyéni tulajdonságok függvénye. A szakirodalom szerint a fizikai stressz hatására a paraszimpatikus hatások folyamatosan csökkennek az első ventilációs küszöb, utána azonban már közel állandó szinten maradnak az edzés befejezéséig. Kis mértékű vagális kontroll még maximális intenzitás esetén is detektálható (Michael et al., 2016). Az edzés során változó pulzusértéket befolyásolhatják a genetikai tényezők, az edzettségi szint, az edzés jellege és intenzitása, a lokomotorikus képességek (mozgások hatékonysága), a testhelyzet (fekvő, ülő, vagy álló testhelyzetben végzett sportmozgások), a bekapcsolódott izomtömeg, az izomrost típusa, a környezeti tényezők (páratartalom, hőmérséklet, tengerszint feletti magasság), az emocionális állapot, a hormonháztartás, valamint a különféle teljesítményfokozó szerek, drogok, stimulánsok használata (Aubert et al., 2003; Weippert et al., 2013). Az edzés hatására bekövetkező, fentebb említett vegetatív szabályozási változást több kutató is bemutatta (Makivić et al., 2013; Sandercock & Brodie, 2006), ami abban nyilvánul meg, hogy az edzés intenzitástól függetlenül a time-domain és frequency-domain paraméterek variabilitása nagymértékben csökken (Gronwald & Hoos, 2020), és csak az edzés befejezését követően kezd el fokozatosan emelkedni (Reichel et al., 2022). Bár a HRV paraméterek változása független az edzés intenzitásától, a változás mértéke és a szükséges regeneráció hossza egyes arányosságot mutat az edzés intenzitásával (Michael et al., 2017). Az edzés kezdetekor a pulzusszám emelkedésének az alapja a központi idegrendszer által gátolt vagális szabályozás. Amennyiben a fizikai stressz intenzitása eléri, illetve meghaladja a 100 ütés/perc pulzusszámot, a szervezet szimpatikus szabályozása lesz a domináns, amely a szívfrekvencia emelkedésével, noradrenalin elválasztásával és az erek szűkítésével jár. Az edzés befejeződése után a baroreflex és további mechanizmusok a paraszimpatikus hatások növekedését váltják ki, ugyanakkor közvetlenül az edzés végét követően a szimpatikus tónus is magas szinten marad. Ez utóbbi tónus csökkenése csak később, a regeneráció során következik be (Javorka et al., 2002).

Az eltérő edzéstípusok HRV-re kifejtett hatását több alkalommal is vizsgálták és összehasonlították. A szakirodalomban megtaláljuk a mérsékelt intenzitású (Jurca et al., 2004), és a magas intenzitású high intensity interval training (HIIT) (Guiraud et al., 2013) edzés típusok értékelését, valamint ezek összehasonlító vizsgálatát is (Alansare et al., 2018; Ramírez-Vélez et al., 2020). Több kutatási eredmény is megerősítette, hogy hipoaktív személyeknél az

edzésprogramok hatására csökkent a nyugalmi pulzusérték, valamint növekedett a time-domain paraméterek variabilitása, melyet a fokozódó vagus hatásokkal magyaráztak (Alansare et al., 2018; Ramírez-Vélez et al., 2020). A növekvő paraszimpatikus hatások ellenére az rMSSD mutató nem követte a többi, paraszimpatikus tónus jelzésére szolgáló paraméter változását, egyes vizsgálatokban változatlan maradt (Ramírez-Vélez et al., 2020), más esetben viszont a várakozásoknak megfelelően emelkedett (Earnest et al., 2008). A HIIT és a moderált intenzitású edzés összehasonlításakor Alansare és munkatársai (2018) arra jutottak, hogy a HIIT edzés hatást gyakorol a frequency-domain mutatókra is, ellentétben a mérsékelt intenzitású edzéssel. Az eredményt azzal magyarázták, hogy az intenzív edzés során elválasztott adrenalin és noradrenalin hormonok nagymértékben növelik a szimpatikus hatásokat, amely nagyobb terhelést jelent a szív és keringési rendszer számára, azaz az edzés HRV-re kifejtett hatása is nagyobb mértékű lesz. Szakirodalmi összehasonlítás után arra jutottak, hogy az egyéni maximális pulzusszám 80%-a feletti intenzitás hatást gyakorolt a frequency domain mutatókra, a 80% alatti intenzitású edzés viszont nem.

Pszichés stressz

Több kutató is vizsgálta a pszichés stressz és a HRV összefüggéseit, amelyet alapvető kardiológiai mérések (pl. EKG vizsgálat) mellett, az esetek többségében a fent említett, validált kérdőívek segítségével végeztek. Ezen kutatások eredménye leggyakrabban az alacsony paraszimpatikus, illetve emelkedett szimpatikus aktivitás megfigyelése és detektálása volt, amelynek eredményeképpen csökkenő HF, illetve emelkedő LF értékekről számoltak be (Kim et al., 2018). Más kutatók eredményei is alátámasztották a fenti megállapításokat (Clays et al., 2011), azonban felhívják a figyelmet arra, hogy az LF mutató, valamint az LF/HF hányados értelmezése továbbra is vitatott, a vegetatív tónus megállapítására nem alkalmas.

Thayer és Lane (2009) szerint az egyének között fennálló vagális szabályozási különbségek – amelyeket nyugalomban a HRV mutatók segítségével lehet számszerűsíteni – jellemzik legjobban az egyének neurális kapacitását és rugalmasságát, amely lehetőséget biztosít a szervezet számára, hogy megfelelően szabályozza az érzelmi, kognitív és viselkedésbeli válaszokat. Benarroch (1993) írta le először a központi vegetatív hálózat (CAN – Central Autonomic Network) működését, amely gyakorlatilag egy neuroanatómiai kapcsolat a vegetatív idegrendszer és az agy azon területei között, amelyek a magas szintű kognitív

tevékenységeket szabályozzák. Ehhez a hálózathoz tartozik például többek között az anterior cingulate cortex, az insula, a hypothalamus megfelelő magvai, valamint a korábban már tárgyalt ventromediális prefrontális kéreg és az amygdala. Ezek a területek összehangoltan működnek, amely lehetőséget biztosít a PFC számára, hogy szubkortikális agyterületek felett gátló kontrollt gyakoroljon annak érdekében, hogy megfelelő kognitív, viselkedési és fiziológias választ generáljon a szervezetet ért stresszorokkal való megküzdés során (Gillie & Thayer F., 2014).

Állatokon és emberekkel végzett kutatások is igazolták, hogy az immunrendszer reagál a pszichés stresszre, többek között változik a keringő T és B sejtek száma és aránya, megváltozik a natural killer (NK) sejtek száma és gyengül az általuk kifejtett hatások mértéke (Stephens et al., 2007).

A tapasztalat hatása a vegetatív szabályozásra

A HRV mutatók vizsgálata speciális helyzetekben és körülmények között is elterjedt, ugyanakkor nagyon kevés olyan publikációt lehet találni a szakirodalomban, amelyek a tapasztalt, valamint a kezdő, tapasztalatlan résztvevők szabályozása közötti különbségek vizsgálatával foglalkoznak. Hynynen és munkatársai (2009) különbséget találtak a gyakorlott és a kezdő ejtőernyős ugrók szabályozásának változásában az ugrást megelőző 1 órától kezdve folyamatosan a földet érést követő percekig a kezdők szívfrekvenciája, ezáltal a szimpatikus hatások mértéke szignifikánsan magasabb volt. A különbség már az ugrást megelőzően is mérhető volt, a reggeli ébredést követően végzett orthostatikus teszt is magasabb szimpatikus hatásokat mutatott ki a kezdők körében. Hinzmann és munkatársai (2022) orvosok körében hasonlította össze a kezdő és a tapasztalt radiológusok munkavégzés közbeni szabályozását. Az agyi angiográfia végzése közben szignifikáns különbségeket mértek a kezdő és tapasztalt orvosok között az rMSSD, az NN50, a pNN50, az LF (n.u.), a HF (% és n.u.), valamint az LF/HF mutatók esetében. A kutatók megemlítik, hogy az életkor alapján végzett csoportosítás esetén a fenti különbségek nem jelentek meg, azaz a tapasztalatnak erősebb hatása van egy adott tevékenység végzése közben mérhető vegetatív szabályozásra, mint az életkornak. A szakirodalomban található kutatási eredmények alapján kijelenthető, hogy a klinikai környezetben vizsgált döntéshozatali eljárás nem egy tudatos, logikus érvek alapján végigvitt folyamat, sokkal inkább egy tudatalatti tevékenység, amely a felismerés, valamint a korábban, adott szituációban végzett válaszreakciók tanult mintázatán alapszik (Byrne et al., 2013). A

tapasztalt személyek pszichés modelleket és automatizmusokat alakítanak ki az információ feldolgozására, így rendelkeznek egy tartalék kognitív kapacitással, amelyet a váratlan helyzetek megoldására tudnak fordítani (Hinzmann et al., 2022; Schulz et al., 2013), ugyanakkor ennek a mentális kapacitásnak meg kell jelennie a vagális úton szabályozott HRV mutatókban is, hiszen azok erős összefüggést mutatnak a kognitív teljesítménnyel és a prefrontális idegi aktivitással (Thayer et al., 2009).

Pszichés stressz a sporttudományban – a verseny előtti izgalom

A teljesítménysportban az eredményesség sok összetevőtől függ, a fiziológiai tényezők, és a sportági technikák szintje mellett a mentális állapot és a mentális felkészültség is döntő tényező lehet. A sporttudomány területén a pszichés stressz vizsgálata leggyakrabban a verseny előtti izgalom mérésében jelenik meg, amelyhez a kutatók többsége a HRV mutatók elemzését használja (Mateo et al., 2012; Medeiros et al., 2016; Oliveira-Silva et al., 2018). A témában készült első kutatási eredmények (1970-es és 1980-as évek) egyöntetűen állították, hogy a verseny előtti izgalom negatív hatással van a sportteljesítményre. Később, az 1990-es években kifejlesztették a “Competitive State Anxiety Inventory-2” (CSAI-2) kérdőívet, amelynek segítségével sikerült kategorizálni a felmerülő izgalom típusokat (kognitív izgalom, szomatikus izgalom, önbizalomhiány), és így jobban megérteni a jelenség fiziológiáját is (Souza et al., 2019). Oliveira-Silva és munkatársai (2018) kerékpárosokat vizsgáltak, és közvetlenül a versenyszám előtt 18%-kal magasabb pulzusszámot ($p=0,01$), 65%-kal magasabb SDNN értéket ($p=0,02$) mértek a nyugalmi értékekhez képest. Boullosa és munkatársai (2012) labdarúgó játékvezetők mérkőzés előtti HRV adatait hasonlították össze a pihenőnapon mért értékekkel. A mérkőzések előtt magasabb nyugalmi pulzusszámot és LF/HF mutatót mértek, ugyanakkor az átlagos R-R távolság, rMSSD, HF és a pNN50 alacsonyabb értéket vett fel a pihenőnappal összehasonlítva, azaz a vegetatív szabályozásuk szimpatikus irányba tolódott át. Pieper és munkatársai (2010) szerint a stresszes környezetben végzett fizikai és/vagy szellemi tevékenység miatt megváltozott pulzusszám és HRV mutatók a tevékenységet követő 2 órán át nem térnek vissza nyugalmi szintre. Hynynen és munkatársai (2008) túledzett sportolókkal végeztettek ortosztatisztikus tesztet és kognitív feladatokat. A túledzés okozta variabilitás csökkenés nagymértékben limitálta a vegetatív idegrendszer lehetőségeit a stresszre adott reakcióban. A fenti kutatási eredmények ismeretében nagyon fontos, hogy a szervezet vagális tónusa, a szív működés variabilitása megfelelően nagy legyen, ugyanis a vegetatív idegrendszer

ekkor több erőforrást tud biztosítani a stresszel való megküzdéshez, és a stresszes környezetben végzett fizikai, vagy kognitív feladatok pontos végzéséhez. Ezt igazolja Berntson és munkatársainak (2008) vizsgálata, akik szerint a HRV adatok a mentális ellenállóképesség jellemzésére is megfelelőek, ugyanis a variabilitás mértéke összefügg azzal, hogy az ember hogyan képes alkalmazkodni a változó szociális körülményekhez. Több kutatás is talált összefüggést a HRV magas variabilitása és a feladat végrehajtását is magában foglaló kognitív teljesítőképesség között (Thayer et al., 2009). Thayer és munkatársainak (2012) eredményei szerint szignifikáns összefüggés van a HRV mutatók nagysága, valamint az agyi véráramlás között olyan területeken (pl. amygdala, prefrontális cortex) amelyek fontos szerepet játszanak a változó környezetre és a stresszre adott reakcióban. A nemzetközi szakirodalom eredményei alapján az egészséges testösszetétel, a jobb aerob kapacitás (magasabb VO_2 peak), azaz az edzettség magasabb szintje is befolyásolja a szervezet stresszre adott válaszána mértékét (Hautala et al., 2023). A VO_2 peak értéke negatív korrelációt mutatott az rMSSD érték változásának mértékével, azaz a nagyobb aerob kapacitással rendelkező sportolóknál a stresszor kisebb vegetatív adaptációt váltott ki (Oliveira-Silva et al., 2018). Az adott szituációban szerzett korábbi tapasztalat szintén befolyásolja a stresszor megjelenésére adott vegetatív válasz intenzitását (Hynynen et al., 2009).

Pszichés stressz speciális szituációkban

A pszichés stressz értékelése miatt elvégzett HRV mérések speciális kutatási területeken is megjelennek. A különféle hadi és harcászati helyzetek magas szintű pszichés igénybevétellel járnak, függetlenül attól, hogy a szituáció valós, vagy szimulált. Az alacsony fizikai igénybevétel (lassú mozdulatok) ellenére, a pszichés hatások miatt a pulzusszám nagymértékben emelkedik (Clemente-Suárez & Robles-Pérez, 2013; Kellarová, 2013; Tornero-Aguilera et al., 2018). A paraszimpatikus hatásokat mutató paraméterek alacsony mértéke a poszt-traumatikus stressz betegség (PTSD) egyik jelzője, több kutatási eredmény is kimutatta, hogy PTSD-ben szenvedők HRV értékei, különösen a HF paraméter értéke alacsonyabb, mint az egészséges felnőtteké (Grupe et al., 2020; Pyne et al., 2016). Pyne és munkatársai (2016) kimutatták, hogy a pszichés stresszor hatásnak kitettség előtt mért csökkent HF érték előrevetíthet PTSD tüneteket a stresszor megszűnése után. Gillie és Thayer (2014) tanulmánya megerősíti a disszertációban már említett megállapítást, miszerint a szív működés megfelelő mértékű variabilitása teremti meg a szervezet nagymértékű alkalmazkodó képességét a

stresszorok negatív hatásaival szemben. Azonban a vmPFC diszfunkció és az ebből adódó csökkent HRV értékek ennek az alkalmazkodó képességnek a gyengülését mutatják, ami nem adekvát veszélyhelyzet válaszreakciót válthat ki. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a fenti összefüggések egyelőre elméleti megállapítások, ugyanis tudomásunk szerint nincs olyan kutatási eredmény, amely adott résztvevők esetében végezte volna el a PTSD tünetek, a vmPFC és a HRV értékek összefüggéseinek vizsgálatát (Grupe et al., 2020).

KÉRDÉSFELTEVÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A nemzetközi szakirodalomban publikált eredmények alapján tanulmányainkban szeretnénk volna igazolni a HRV mérések hatékonyságát a stressz detektálásában. Az első, longitudinális vizsgálat célja az volt, hogy igazoljuk, hogy a HRV alkalmas a szervezetet ért stresszhatások kimutatására, valamint eltérő stresszhatások között a különbségek megjelenítésére.

1. Feltételeztük, hogy a HRV értékek már egy 5 napos edzőtábor alatt is szignifikáns változásokat mutatnak.
2. Feltételeztük, hogy azonos edzettségű sportolók eltérő jellegű terhelése eltérő mértékű változásokat generál a résztvevők HRV mutatóiban.
3. Feltételeztük, hogy regeneráló edzések hatására a HRV mutatók változásának mértéke elmarad a regeneráló edzést nem végző résztvevők értékeinek változásától.

Második vizsgálatunkban arra tettünk kísérletet, hogy a mindennapi életben a szervezet szabályozásában egyszerre szerepet játszó fizikális és pszichés hatásokat elkülönítsük, és így a fizikális és a pszichés stressz szervezetre gyakorolt hatásait különállóan, egymástól elkülönítve értékeljük. Ezt úgy kívántuk elérni, hogy a vizsgálati protokoll során a résztvevőket olyan körülmények elé állítottuk, amelyekben az egyik tényező (a fizikális vagy a pszichés stressz impulzus) kiemelkedően nagymértékű hatást gyakorolt a résztvevőre, domináns szabályozási hatást elérve a másik tényező felett.

4. Feltételeztük, hogy a szervezet fizikális és a pszichés stresszre adott válaszadási szabályozásában különbséget tapasztalunk.
5. Feltételeztük, hogy az extrém stresszhatások miatt a HRV mutatók többsége szignifikáns változást mutat a nyugalmi állapothoz képest.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A disszertációban két, egymástól független kutatás adatainak értékelése került bemutatásra. A longitudinális kutatásban azt vizsgáltuk, hogy az eltérő terhelés hogyan befolyásolja a sportolók HRV értékeit egy rövid, 5 napos edzőtábor során. A második vizsgálatban igyekeztünk különválasztani a sportolókat érő fizikai és pszichés stresszt annak érdekében, hogy az adott stressztípus szervezetre kifejtett hatását szeparáltan tudjuk elemezni. Fontosnak tartottuk, hogy mind a két kutatás során aktív, egészséges sportolókkal dolgozzunk, ugyanis a tesztprotokollok teljesítéséhez szükséges feltétel volt a magas szintű fizikai terhelhetőség.

Résztvevők és csoportosítás

Mind a két vizsgálatban a kényelmi mintavétel módszerét választottuk, ugyanis csak így tudtuk biztosítani azt, hogy a résztvevők rendelkezzenek a tesztek elvégzéséhez szükséges fizikai képességekkel. A longitudinális kutatásban 15 egészséges, első osztályú, férfi kézilabdázó ($18,9 \pm 0,8$ év) vett részt. A sportolókat véletlenszerűen három csoportba osztottuk: az 1-es csoport tagjai naponta egy intenzív edzésen vettek részt (1; $n=5$), az 1+1 csoport tagjai napi egy intenzív, valamint egy regeneráló (1+1; $n=5$), a 2-es csoport tagjai pedig napi két intenzív edzésen vettek részt (2; $n=5$) 5 napon keresztül.

A két különböző stresszor összehasonlító vizsgálatában 63 egészséges, másodosztályú férfi labdarúgó vett részt ($25,14 \pm 5,81$ év). A résztvevők két, egymástól független teszt protokollt teljesítettek néhány nap eltéréssel. Az első teszt egy extrém fizikai, a második teszt egy extrém pszichés stresszt okozó próba volt. Az adatelemzés során, a mérési adatok alapján több csoportot is kialakítottunk: 2 csoportot a résztvevők átlagos, relatív VO_2 peak értékei alapján ($52,14$ ml/kg/min; átlag felett $n = 29$, átlag alatt $n = 34$), 4 csoportot a résztvevők relatív VO_2 peak 25. ($48,3$ ml/kg/min), 50. ($53,1$ ml/kg/min) és 75. ($57,9$ ml/kg/min) percentilise alapján (1-es csoport: 25 percentilis alatt, $n = 16$; 2-es csoport: 25 és 50 percentilis között, $n = 16$; 3-as csoport: 50 és 75 percentilis között, $n = 16$; 4-es csoport: 75 percentilis felett, $n = 15$), valamint 2 csoportot Perna és munkatársai (2020) eredményei alapján (A csoport: azok a résztvevők, akiknek mind az rMSSD, mind pedig a HF értéke magasabb volt a teszt utáni mérésen, mint a tesztet megelőzőn ($n = 32$); B csoport: minden további résztvevő ($n = 31$)), melyet csak a pszichés stressz teszt értékelésénél használtunk.

Etikai engedély

A résztvevőket a Helsinkii Nyilatkozatban megfogalmazott humán vizsgálatokra vonatkozó irányelveknek megfelelően kezeltük. A vizsgálatot az Egészségügyi Tudományos Tanács Tudományos és Kutatásetikai Bizottsága jóváhagyta (2158/2014). A kutatásba bevont személyeket írásban tájékoztattuk a vizsgálati protokollról, melyben részvételi szándékukat aláírásukkal jelezték. Tájékoztattuk őket, hogy részvételük önkéntes, valamint, hogy bármikor lehetőségükben áll a vizsgálatot befejezni.

Vizsgálati protokoll

A longitudinális vizsgálatban a sportolóknak intenzív, illetve a csoportba sorolástól függően regeneráló edzéseken kellett részt venniük. Az intenzív edzések komplex futó, erőfejlesztő, funkcionális, valamint sportági edzéseket tartalmaztak az egyesület erőnléti edzőjének vezetésével. Az intenzív edzések követelménye az volt, hogy az edzés intenzitását a sportolók átlagosan legalább 15-ös értékkel jellemezzék az észlelt erőkifejtést, szubjektív terhelés-intenzitást leíró Borg skálán. A pulzusértékeket Polar Team Pro pulzusdiagnosztikai rendszer segítségével rögzítettük (Polar Electro Oy, Kempele, Finnország). A regeneráló edzéseket a sportolók maguk végezték Polar V800 pulzuszámoló óra segítségével. Ezen edzések követelménye az volt, hogy a pulzusszámuk ne emelkedjen saját maximális pulzusértékük 79%-a fölé, illetve, hogy a szívfrekvencia a teljes edzésidő 90%-ában a saját maximális pulzusszámuk 60 és 79%-a között maradjon. A regenerációt futó, kerékpáros vagy úszó edzéssel hajtották végre a sportolók.

Az összehasonlító vizsgálat során az extrém fizikai stressz tesztet egy teljesítmény diagnosztikai laboratóriumban végeztük. A teszt során a résztvevők egy önkéntes, teljes fáradásig tartó, fokozatosan nehezedő futóprogramot hajtottak végre futópadon, módosított Bruce protokoll alapján (2 perc bemelegítés 8 km/h sebességen, melyet 2 perc után 10 km/h sebességre emeltünk, és utána változatlan maradt. A futószalag dőlésszöge 0% volt az első 3 percben, majd percenként 1,5%-kal emelkedett). A VO_2 peak (highest 10-s average) meghatározásához PowerCube eszközt használtunk (Ganshorn, Niederlauer, Németország), amelyet minden mérés előtt kalibráltunk. A protokoll akkor ért véget, ha a résztvevő elérte a

kalkulált maximális oxigénfelvételi kritériumot, és szubjektív érzete szerint nem volt képes a teszt folytatására. A VO_2 peak számításához szükséges minimális kritérium volt, hogy a sportoló oxigénfelvétele az intenzitás emelkedése ellenére stagnáljon, a respirációs kvóciense (RER) elérje az 1,1 értéket, valamint, hogy a sportoló pulzusértéke meghaladja az életkorából számított maximális pulzusérték 90%-át (Beaver et al., 2016).

Az extrém pszichés stressz protokollt néhány nappal később teljesítették a résztvevők. A vizsgálati módszer 2014-ben került publikálásra (Haller et al., 2014). Tekintve, hogy a résztvevőknek nem volt semmilyen katonai előképzettsége, a publikált protokoll egyszerűsített változatát kellett végrehajtaniuk egy katonai lélektaktikai házban, a terület magasan kvalifikált szakembereinek felügyeletével. A vizsgálatba bevont személyek védőfelszerelést és gumilövedékes pisztolyt kaptak (használati instrukciókkal együtt) 20 perccel a lélek taktikai helységbe való belépés előtt. A vizsgálati helységbe történő belépést követően a feladatuk az volt, hogy keresztüljárnak a helységen, azonban felhívtuk a figyelmüket arra, hogy váratlan helyzetek is előfordulhatnak, amelyről el kell dönteniük, hogy a kialakult szituáció rájuk nézve veszélyes, vagy sem. Bizonyos idő eltelével egy specialista lépett be a terembe egy oldalajtón, és kétszer elsütötte a fegyverét a résztvevő felé, szándékosan a résztvevő mellé célozva vaktölténnyel, amellyel a sérülés elkerülhető volt, de az intervenció elérte a vizsgálat céljában álló stressz hatást. A feladat végét egy hangos sípszó jelezte, ami után a résztvevőknek le kellett tenni a pisztolyt a földre, majd elhagyhatták a szobát. A pszichés stressz teszt során végig jelen volt egy tapasztalt katonai pszichológus.

Adatok – HRV mutatók

A longitudinális vizsgálatban nem volt lehetőségünk laboratóriumi méréseket végezni, így egy validált (Giles et al., 2016), pályatesztre is alkalmas eszközt, a Polar V800 pulzusmérő órát használtuk Polar H7 pulzusmérő jeladóval (Polar Oy, Kempele, Finnország). A mérést minden reggel a délelőtti edzés előtt végezték a sportolók, fekvő testhelyzetben. A mérés 9 percig tartott, amelyből a megnyugvás utáni 265 ektópia mentes szív ciklust elemeztük. Az összehasonlító vizsgálatban laboratóriumi körülmények között volt lehetőségünk a HRV mutatók mérésére, ezért 12 elvezetési EKG-t használtunk közvetlenül a teszt előtt (pre), valamint 30 perccel a teszt befejezését követően (post). A mérés fekvő testhelyzetben történt, a mért adatok közül 265 ektópia mentes szív ciklust választottunk ki.

Az adatok értékelését Kubios HRV Standard szoftver (Kubios Oy, Finnország) segítségével végeztük. A nyers adatok korrekcióját két módon végeztük, egyrészt a szoftverben elérhető “removal of artifacts” opció használatával, valamint a láthatóan ektópia mentes mérési szakaszok, szívciklusok manuális kiválasztásával. A mintavételi frekvenciát 500 Hz-re állítottuk. A mérés során arra kértük a résztvevőket, hogy lélegezzenek normálisan, a légzés frekvencia nem volt irányított. A Frequency-domain mutatók esetében a Fast Fourier transzformáció által adott adatokat vettük figyelembe.

Az adatok elemzése során az első reggel mért adatot (longitudinális vizsgálat), valamint a stressz tesztek előtt mért adatot (összehasonlító vizsgálat) tekintettük kiindulási értéknek minden HRV mutató esetében. Az ezt követő mérést, méréseket mindig a kiindulási értékhez viszonyítottuk, az attól való eltérést értékeltük, és ezeket az adatokat Δ jellel jelöltük.

A következő HRV mutatókat mértük mind a két vizsgálat során: NNmax (két egymást követő ektópia mentes R hullám közötti legnagyobb távolság, ms-ban kifejezve), NNmin (két egymást követő ektópia mentes R hullám közötti legkisebb távolság, ms-ban kifejezve), NNmean (két egymást követő ektópia mentes R hullám közötti átlagos távolság, ms-ban kifejezve), SDNN (ektópia mentes szívciklusok közötti időbeli távolságok szórása), pNN50 (azon egymást követő szívciklus párok aránya a teljes mintában, amelyek között az időbeli távolság nagyobb, mint 50 ms), rMSSD (egymást követő ektópia mentes szívciklusok időtartamának négyzetátlaga), TP (total power), VLF (very low frequency), LF (low frequency), HF (high frequency), valamint az LF/HF arány.

Adatok – további mért adatok

A longitudinális vizsgálatban az intenzív és a regeneráló edzések teljesítménymérése során az alábbi edzésadatok kerültek értékelésre: az edzés alatt mért pulzusértékek, az edzés során az egyes pulzuszónákban töltött időtartam, az egyes pulzuszónákban töltött időnek a teljes edzés időtartamához viszonyított aránya, a sportoló edzésen mért legalacsonyabb, átlagos és legmagasabb pulzusszáma, az edzésterhelési mutató (training load – rövidítve: TL, a Polar specifikus, a sportoló aktuális, sportolás közben mért HRV értékei alapján meghatározott mérőszám, amely megmutatja, hogy az edzés mennyire volt megterhelő a sportoló számára)

értéke. A pulzusónák meghatározásához szükséges maximális pulzusértékek rendelkezésre álltak egy korábban, pulzuskontrollal végzett ingateszt eredményének értékelése révén. A vizsgálat során végzett edzések intenzitását a sportolók egy szubjektív terhelés értékelési skálán (20 fokozatú Borg skála) is vezették (Borg, 1982).

Az összehasonlító vizsgálatban a tesztek előtt és közvetlenül a tesztek után vérnyomás mérésre is sor került, amelyet ülő helyzetben végeztünk, egymást követően három alkalommal, majd a kapott szisztolés és diasztolés értékek átlaga került rögzítésre. A fizikai stressz teszt során az alábbi teljesítménydiagnosztikai paraméterek kerültek rögzítésre: terhelés időtartama, maximális MET érték, maximális Watt-érték, maximális pulzusszám, VO_2 peak, relatív VO_2 peak, RER, maximális ventiláció, laktát értékek nyugalomban, a terhelés maximumán, valamint 30 perc restitúciót követően. A laktát elemzéshez szükséges vérminták levétele kevert kapilláris vérből, fülcimpából történt, fekvő pozícióban, a stressz teszt előtt, valamint 30 perc restitúciót követően. A minták elemzésére Biosen C-line Glucose and Lactate Analyzer-t használtunk.

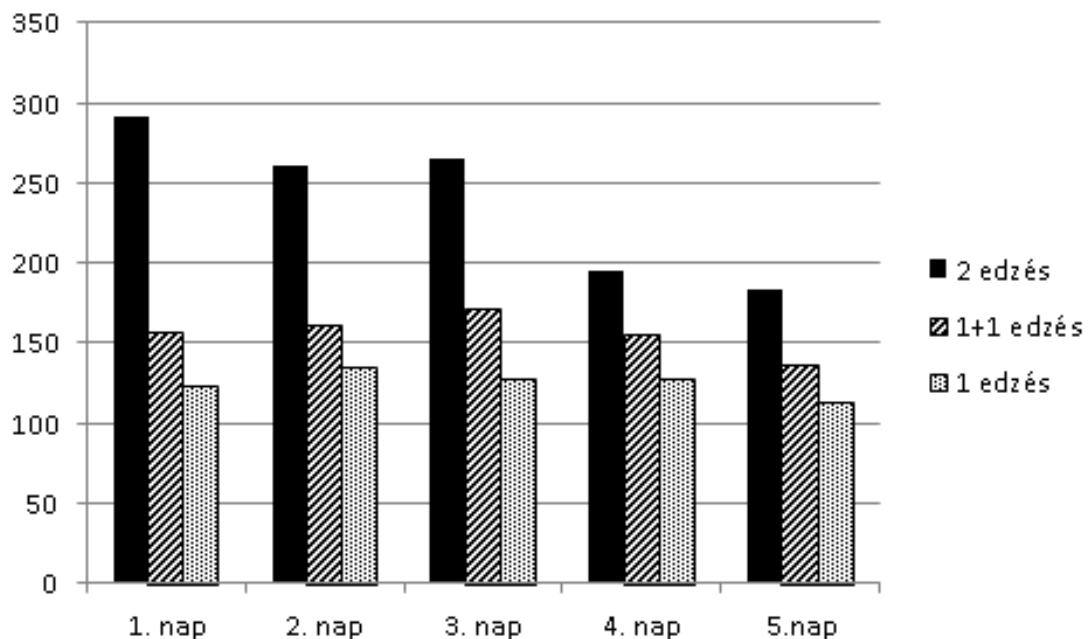
Statisztikai próbák

Mind a két vizsgálat statisztikai elemzéséhez SPSS 22 szoftvert (IBM, Chicago, IL, USA) használtunk. A longitudinális vizsgálat adatainak értékeléséhez leíró statisztikát, lineáris korreláció-analízist és varianciaanalízist végeztünk (Post Hoc: Tukey). Az összehasonlító vizsgálat adatai esetén a pre és post adatok összehasonlításához, valamint a fizikai és a pszichés terhelés kiváltotta változások mértékének összehasonlításához páros t-tesztet végeztünk. A csoportosítások után a csoportok összehasonlítását ANOVA próbával végeztük. A HRV paraméterek közötti összefüggések elemzésre Pearson féle korrelációs tesztet hajtottunk végre. Az összehasonlító vizsgálat során hatás nagyságot is számítottunk (Cohen's d and effect size r). Mind a két vizsgálat statisztikai elemzése előtt végeztünk Shapiro–Wilk tesztet az eloszlások normalitásának vizsgálatára, a szignifikancia szintet pedig 5%-ban állapítottuk meg (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$).

EREDMÉNYEK

Longitudinális vizsgálat

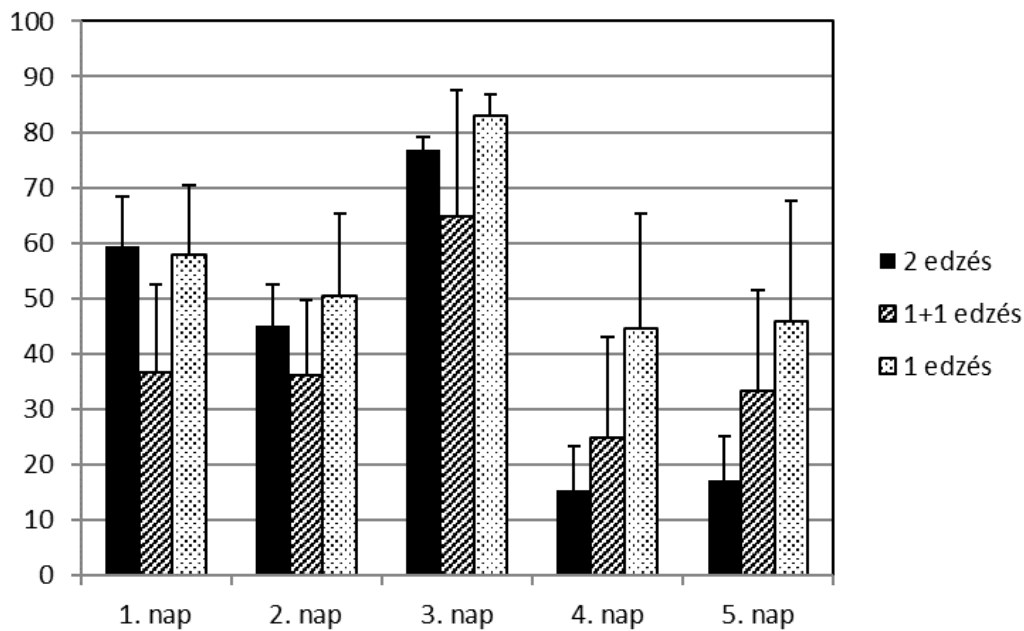
A 2-es csoportba tartozó sportolók training load értékei szignifikánsan magasabbak voltak az első 3 nap során, mint a másik két csoport értékei (2 vs. 1+1 $p=0,0005$; 2 vs. 1 $p=0,0001$), ami abból adódott, hogy a két intenzív edzés TL mutatójának összege lényegesen magasabb értéket eredményezett, mint a másik két csoport tagjainak egy edzéséből adódó TL érték. A negyedik és ötödik napon szignifikáns különbséget csak a 2-es és az 1-es csoport tagjai között találtunk ($p=0,0191$). Az edzésterhelési mutató nagymértékű csökkenése miatt szignifikáns a 2-es csoport első három napja, valamint a negyedik és ötödik nap TL értéke közötti különbség is ($p=0,0078$). A 2-es csoport training load mutatójának nagymértékű csökkenését a fáradtság fokozódásának tudjuk be (1. ábra). A TL értékek változásával párhuzamosan változott a sportolók maximális pulzusszámának 80%-a felett töltött edzésidő mértéke is (2. ábra).



1. ábra. A training load mutató alakulása az edzőtábor során

Nem találtunk összefüggést a sportolók által vezetett szubjektív terhelés értékelés (Borg-skála), valamint az adott edzés training load értéke között ($r=0,091$), valamint nem tudtunk szignifikáns korrelációkat kimutatni a csoportokon belül sem (2-es csoportban $r=0,238$, 1+1

csoportban $r=-0,335$, 1-es csoportban $r=0,369$). Ezután a training load eredmények alapján elkülönítettük az első 3 nap adatait, azonban szignifikáns együttjárást itt sem találtunk (2-es csoportban $r=0,267$, 1+1 csoportban $r=-0,189$, 1-es csoportban $r=0,300$). Nem találtunk kapcsolatot az adott játékos posztja valamint a Borg skálán vezetett értékek ($r=0,022$), sem pedig a poszt és a training load értékek között ($r=-0,370$).

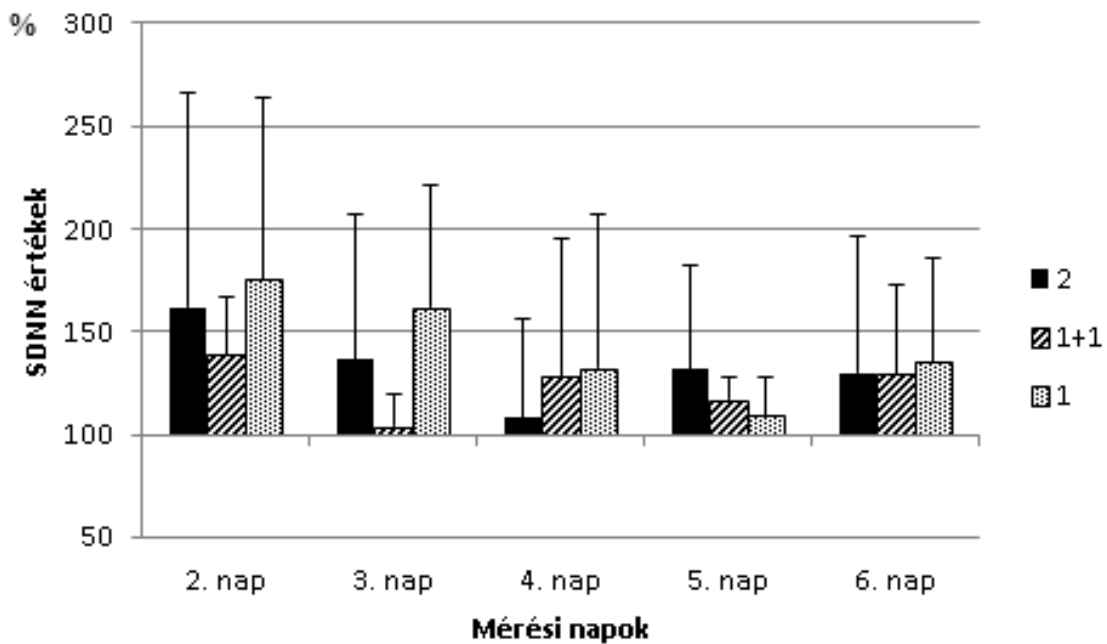


2. ábra A sportolók egyéni maximális pulzusszámuk 80%-a felett töltött edzésidő a teljes napi edzésidőtartam függvényében

A HRV eredményeket ábrázoló diagramok készítésekor az első nap végzett mérést tekintettük alapmérésnek, értéke minden esetben 100%. A további napokon mért adatoknak az első naptól való százalékos eltérése került ábrázolásra. Azért választottuk ezt a módot, mert a numerikus HRV adatok alapján az egyes személyek eredményei nem összehasonlíthatók, azonban az eltérések igen. Ennek megfelelően a diagramok „X” tengelyén a 2. nap reggelén végzett mérés szerepel első helyen, hiszen az alap mérés értéke maga a tengely.

A 2-es csoport esetében az SDNN (3. ábra), illetve az átlagos R-R távolságok (4. ábra) értékeit ábrázoló diagramon jól látható, hogy az alapméréshez képest emelkedett értékek fokozatosan csökkennek, egészen a negyedik, illetve az ötödik napig, majd utána újra emelkedés látható. Az eredmények összhangban vannak a training load mutató változásával, ugyanis az első három nap elért magas TL értékkel párhuzamosan csökkentek a sportolók vizsgált time-domain adatai,

ugyanakkor a fáradás miatt bekövetkezett TL csökkenése lehetővé tette a vizsgált adatok emelkedését.

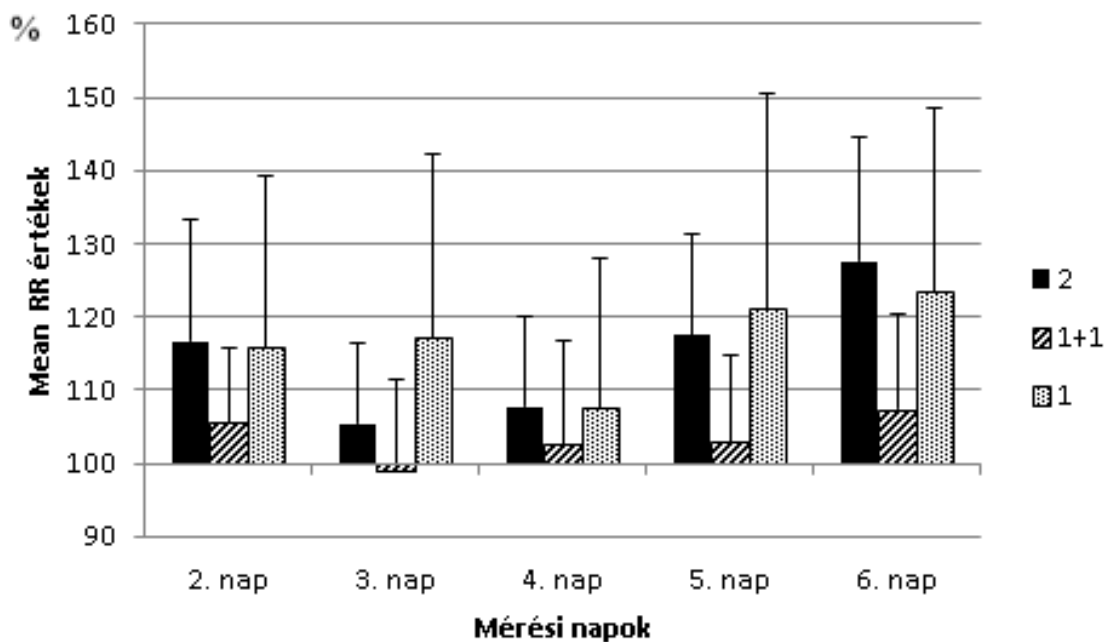


3. ábra Az SDNN értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)

1. táblázat Az edzőtábor során az SDNN mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként

	2. nap		3. nap		4. nap		5. nap		6. nap	
	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r
2	-0,84	-0,39	-0,72	-0,34	-0,24	-0,12	-0,91	-0,41	-0,63	-0,3
1+1	-1,97	-0,7	-0,35	-0,17	-0,58	-0,28	-2,19	-0,74	-0,95	-0,43
1	-1,22	-0,52	-1,46	-0,59	-0,6	-0,29	-0,67	-0,32	-0,99	-0,44

A hatásnagyság táblázatok szerkesztésénél ugyanazt a módszert használtuk, mint az ábrák megjelenítésénél. Az első nap reggelén mért értékeket tekintettük kiindulási értékeknek, 100%-nak, majd az attól való százalékos eltérések átlagát és szórását figyelembe véve számítottuk ki a Cohen's D és Effect Size r értékeket.

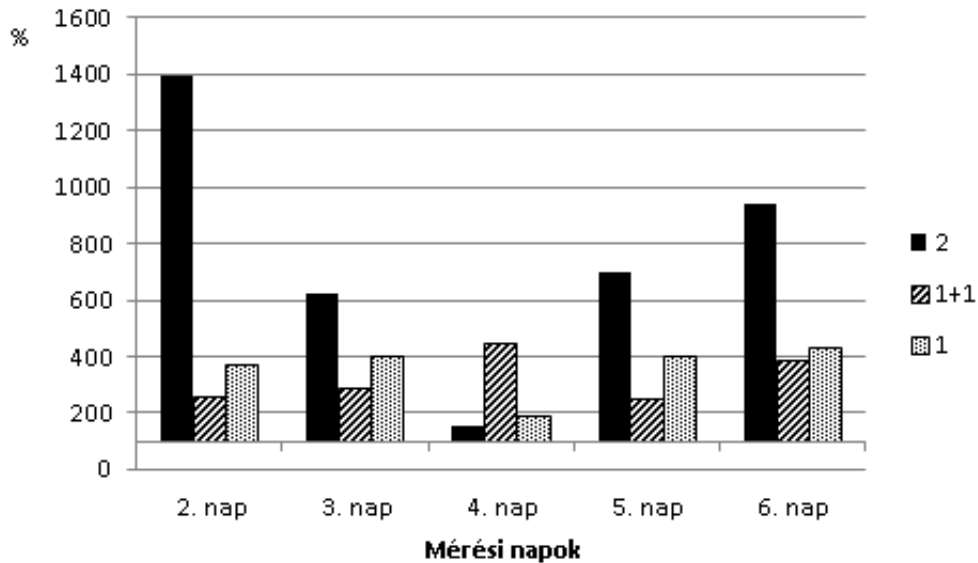


4. ábra Az átlagos RR távolságok alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)

2. táblázat Az edzőtábor során az átlagos RR távolság mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként

	2. nap		3. nap		4. nap		5. nap		6. nap	
	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r
2	-1,41	-0,58	-0,64	-0,31	-0,94	-0,43	-1,72	-0,65	-2,33	-0,76
1+1	-0,71	-0,33	0,12	0,06	-0,2	-0,1	-0,35	-0,17	-0,76	-0,36
1	-0,94	-0,43	-0,96	-0,43	-0,47	-0,23	-0,99	-0,44	-1,36	-0,56

A megfigyelést tovább erősíti a pNN50 adatok változása, amely a második nap reggelén mért nagymértékű emelkedés után a negyedik nap érte el a legalacsonyabb értékét, majd a training load mutató csökkenésével fordítottan, azonban a többi HRV paraméter változásának megfelelően alakult, újra emelkedést mutatott (5. ábra).



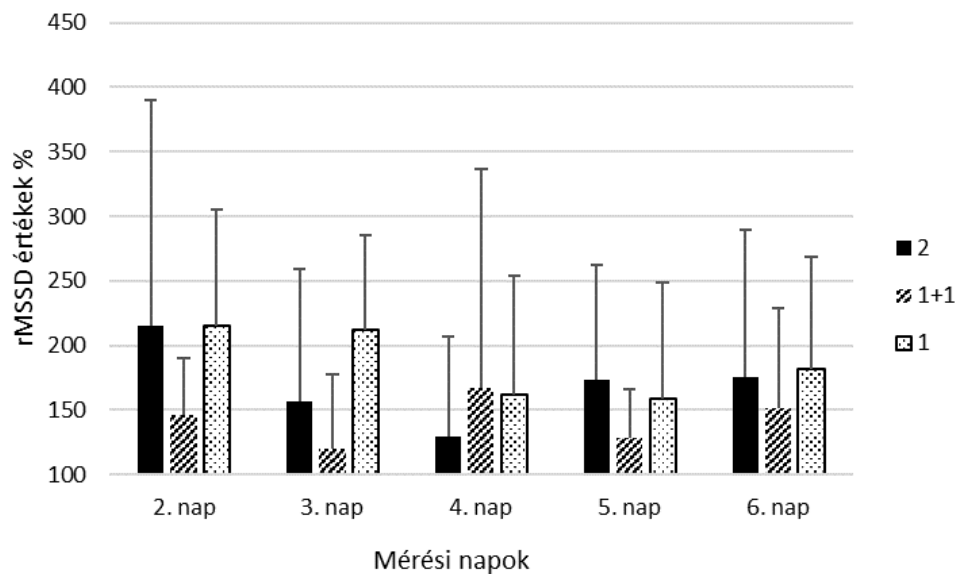
5. ábra A pNN50 értékének alakulása az edzőtábor során

3. táblázat Az edzőtábor során a pNN50 mutató változásában mért hatásnagyság értékek csoportonként

	2. nap		3. nap		4. nap		5. nap		6. nap	
	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r
2	-0,67	-0,32	-0,71	-0,34	-0,61	-0,29	-0,74	-0,35	-0,71	-0,33
1+1	-0,71	-0,34	-0,62	-0,3	-0,61	-0,29	-0,67	-0,32	-0,63	-0,3
1	-1,22	-0,52	-1,14	-0,49	-1,05	-0,46	-0,83	-0,38	-0,77	-0,36

A time-domain mutatókon kívül a frequency-domain mutatók is az előzőekben bemutatott mintázatot mutatják, a magas frekvenciát mutató HF (7. ábra), valamint az alacsony frekvenciát jelző LF (8. ábra) esetében is az alapméréshez képest megemelkedett érték fokozatosan csökkent a negyedik napig, majd a hét második felében a training load mutatóval ellentétes változást mutatva emelkedett. Az LF/HF arány paraméter változásának dinamikája nem követte a fent tárgyalt mutatók mintázatát, változása nagymértékű egyéni variabilitást mutatott. Egységes tendenciát a csoportokon belül sem tudunk megfigyelni (9. ábra).

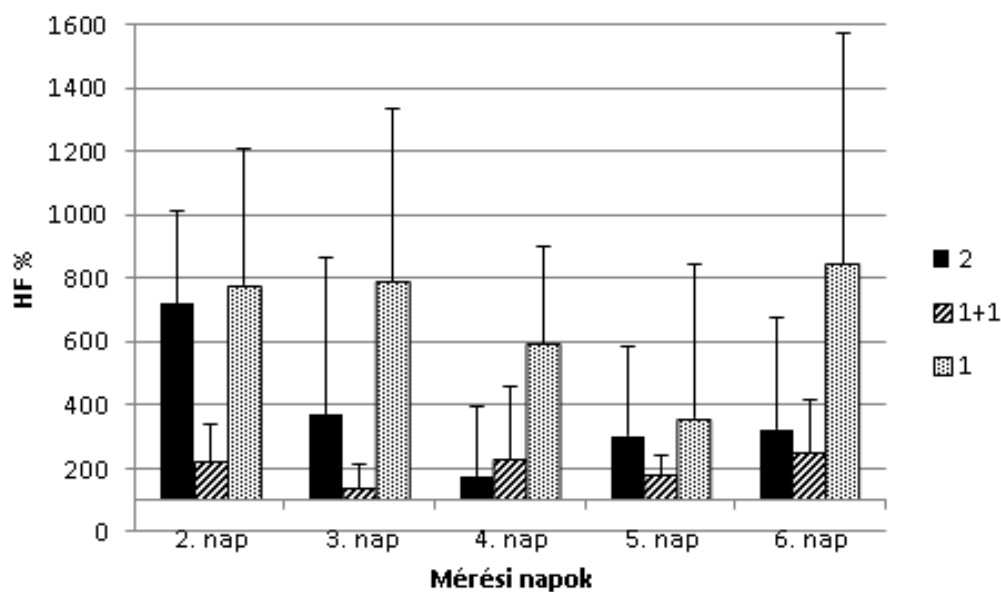
A vizsgálat megerősítette a nemzetközi szakirodalomban olvasható kapcsolatot az rMSSD (6. ábra) és a HF komponens között. A két, paraszimpatikus aktivitás mértékét mutató paraméter alakulásának dinamikája megegyezik mind a 3 csoport esetén.



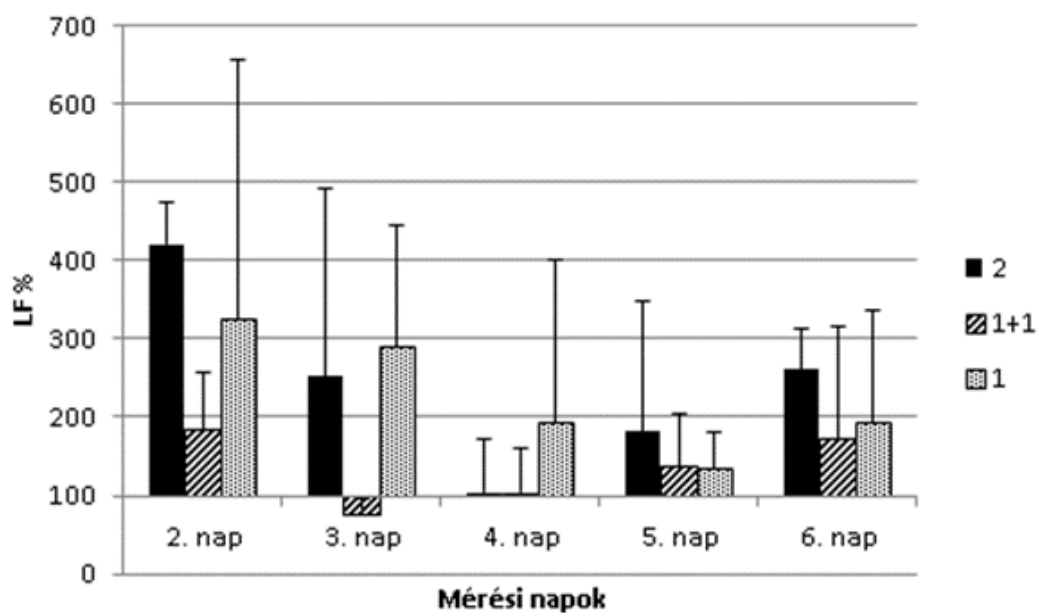
6. ábra Az rMSSD mutató értékének a változása az edzőtábor során (átlag és szórás)

4. táblázat Az edzőtábor során az rMSSD mutató változásában mért hatásméret értékek

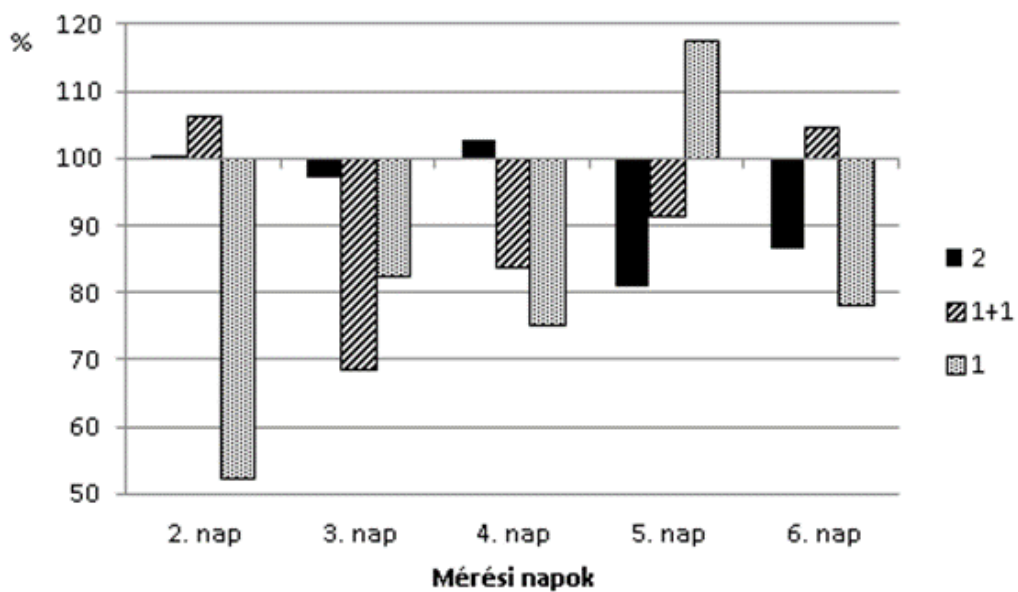
	2. nap		3. nap		4. nap		5. nap		6. nap	
	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r	Cohen's D	Effect size r
2	-0,93	-0,42	-0,79	-0,37	-0,55	-0,27	-1,19	-0,51	-0,94	-0,43
1+1	-1,48	-0,59	-0,49	-0,24	-0,56	-0,27	-1,04	-0,46	-0,96	-0,43
1	-1,81	-0,67	-2,17	-0,74	-0,95	-0,43	-0,93	-0,42	-1,33	-0,55



7. ábra A HF mutató értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)



8. ábra Az LF mutató értékének alakulása az edzőtábor során (átlag és szórás)



9. ábra Az LF/HF hányados értékének alakulása az edzőtábor során

Összehasonlító vizsgálat

Az összehasonlító vizsgálat során a résztvevők egy teljes fáradásig tartó, fokozatosan nehezedő futóprogramot hajtottak végre futópadon, amely terhelés általunk mért adatait az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat A fizikális stressz teszt során elvégzett futópad ergométeres terhelés mért adatai

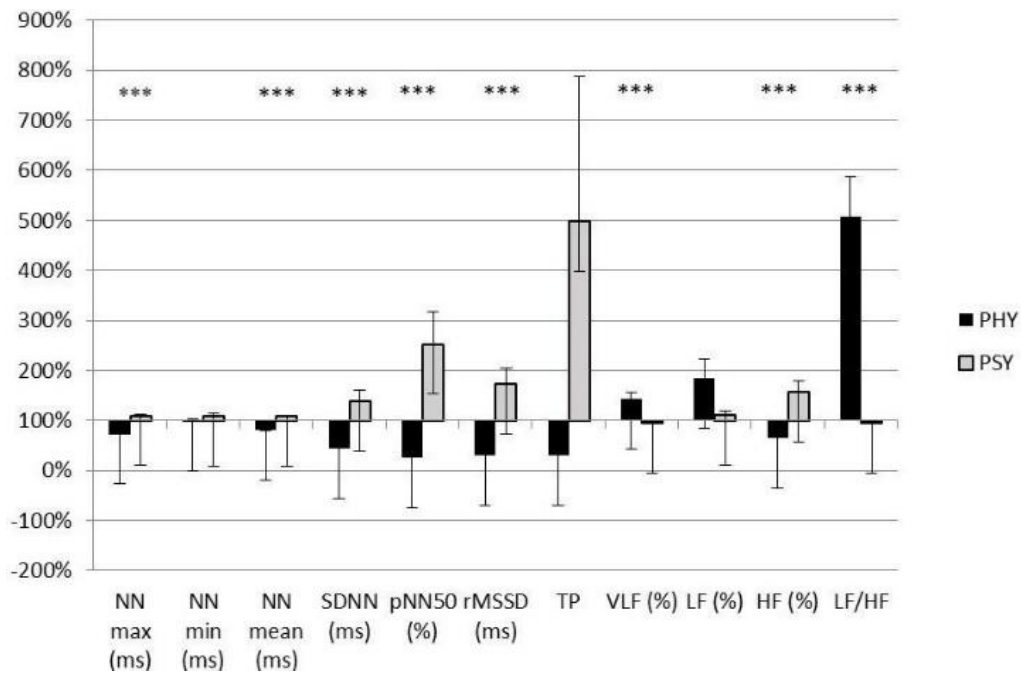
A terhelés jellemzői	Átlag	Szórás	Standard hiba
Terhelés időtartama (perc)	11,10	1,64	0,21
Nyugalmi systolés vérnyomás (Hgmm)	141,46	11,13	1,40
Nyugalmi diastolés vérnyomás (Hgmm)	79,75	7,7	0,97
Tmax systolés vérnyomás (Hgmm)	175,97	16,35	2,08
Tmax diastolés vérnyomás (Hgmm)	79,03	9,46	1,20
R30 systolés vérnyomás (Hgmm)	127,49	9,1	1,15
R30 diastolés vérnyomás (Hgmm)	71,59	7,77	0,98
Nyugalmi laktát (mmol/l)	0,97	0,38	0,05
Tmax laktát (mmol/l)	11,12	2,06	0,26
R30 laktát (mmol/l)	4,88	2,08	0,27
Maximális MET	14,87	1,96	0,25
Maximális Watt	392,63	39,01	4,92
Legmagasabb pulzusszám (bpm)	189,11	7,91	1,00
Relatív VO ₂ peak (ml/kg/min)	51,41	9,06	1,14
RER	1,37	0,1	0,01
Maximális ventiláció (l/min)	145,17	23,71	2,99

Az extrém fizikális stressz teszt után minden HRV parameter szignifikánsan emelkedett a nyugalmi értékekhez viszonyítva. Az extrém pszichés stressz teszt után a változók többsége szintén szignifikáns változást mutatott, ugyanakkor a mutatók egy része csökkent. Mind a két teszt protokoll során szignifikáns változást figyeltünk meg az NNmax, az NNmean, a pNN50, az rMSSD, a HF, valamint az LF/HF mutatók esetében (6. táblázat).

6. táblázat A stressz tesztek előtti és utáni HRV értékek összehasonlító vizsgálata egymintás t-tesztel (félkövér p értékek jelzik a szignifikáns különbségeket)

Teszt	HRV mutató	Pre- és post teszt különbség					
		Átlag ± szórás	95% Konfidencia intervallum		Cohen's d	Effect size r	p
			Alsó érték	Felső érték			
Fizikai stressz teszt	NN max	320,51 ± 180,19	275,13	365,89	1,85	0,68	,000
	NN min	44,86 ± 144,19	8,54	81,17	0,38	0,19	,016
	NN mean	185,22 ± 96,22	160,99	209,45	1,63	0,63	,000
	SDNN	50,41 ± 29,32	43,03	57,80	1,99	0,71	,000
	pNN50	26,11 ± 16,85	21,87	30,35	2,04	0,71	,000
	rMSSD	47,17 ± 30,90	39,39	54,96	1,94	0,69	,000
	TP	3310,51±3221,81	2499,11	4121,91	1,39	0,57	,000
	VLF	-6,10 ± 23,46	-12,00	-0,19	-0,34	-0,17	,043
	LF	-8,11 ± 19,84	-13,11	-3,11	-0,54	-0,26	,002
	HF	13,14 ± 14,25	9,56	16,73	1,20	0,51	,000
LF/HF	-4,63 ± 5,60	-6,04	-3,22	-1,14	-0,49	,000	
Pszichés stressz teszt	NN max	-90,60 ± 198,53	-140,60	-40,60	-0,41	-0,19	,001
	NN min	-38,79 ± 168,84	-81,32	3,73	-0,29	-0,15	,073
	NN mean	-66,41 ± 84,58	-87,72	-45,11	-0,43	-0,21	,000
	SDNN	-7,46 ± 46,99	-19,29	4,37	-0,19	-0,09	,212
	pNN50	-6,46 ± 13,59	-9,88	-3,04	-0,33	-0,16	,000
	rMSSD	-17,83 ± 47,31	-29,74	-5,91	-0,42	-0,21	,004
	TP	-94,97 ± 6212,51	-1659,57	1469,63	-0,02	-0,01	,904
	VLF	6,51 ± 20,72	1,29	11,73	0,41	0,20	,015
	LF	-0,52 ± 13,95	-4,04	2,99	-0,04	-0,02	,767
	HF	-5,59 ± 14,24	-9,17	-2,00	-0,39	-0,19	,003
LF/HF	0,40 ± 1,15	0,11	0,69	0,27	0,13	,007	

A fizikai és pszichés stressz teszt közötti HRV mutató változások összehasonlítása a 10. ábrán látható. A tesztek előtt mért nyugalmi értéket tekintjük 100%-nak, amelyet az X tengely jelenít meg. A teszt utáni mérés eltérése a nyugalmi értéktől százalékos formában került megállapításra mind a két protokoll esetében. Minden HRV érték ellentétesen változott az LF mutató kivételével. Az NNmax (ms), NNmean (ms), SDNN (ms), pNN50 (%), rMSSD (ms), VLF (%), HF (%), és LF/HF hányados paraméterek változása erősen szignifikáns ($p < 0,001$) különbséget mutatott a teszt protokollok között.



10. ábra A HRV paraméterek eltérő változása a fizikai (PHY) és a pszichés (PSY) teszt protokollok között (átlag ± standard hiba; ***: $p < 0,001$).

A relatív VO_2 peak értékek átlaga alapján elvégzett csoportosítás után szignifikáns különbséget találtunk az LF/HF hányados változásában a fizikai stressz teszt során, valamint a VLF paraméter változásában a pszichés stressz teszt során. A relatív VO_2 peak értékek percentilisei alapján megállapított 4 csoport kialakítása után az ANOVA teszt szignifikáns különbséget talált a VLF paraméter változásában a pszichés stressz teszt során ($p=0,033$).

7. táblázat A relatív VO_2 peak értékek átlaga alapján elvégzett csoportosítás után szignifikáns különbséget találtunk az LF/HF hányadosok változása között a fizikai stressz teszt, valamint a VLF mutató változása között a pszichés stressz teszt során. A félkövér p értékek a szignifikáns különbségeket jelzik

Stressz teszt és a HRV változó	Relatív VO_2 peak átlag	Átlag ± szórás	p	Átlagos különbség	Cohen's d	Effect size r	95% Konfidencia intervallum	
							Alsó érték	Felső érték
Fizikai stressz LF/HF Δ	Átlag alatti	3,33 ± 3,19	0,037	-3,25	-0,55	-0,27	-6,29	-0,21
	Átlag feletti	6,58 ± 7,64						
Pszichés stressz VLF Δ	Átlag alatti	0,79 ± 0,38	0,021	-0,29	-0,63	-0,30	-0,54	-0,046
	Átlag feletti	1,09 ± 0,56						

A Pearson's korrelációs mátrix erős összefüggéseket mutatott ki bizonyos HRV mutatók változásának mértékei között a fizikai és a pszichés stressz protokoll esetében is. A korreláció értékeket és a szignifikancia mértékét a következő, 8. táblázat mutatja.

8. táblázat HRV mutatók delta értékei közötti korrelációk. A fizikai stressz teszt értékei a táblázat jobb felső, a pszichés stressz teszt értékei a táblázat bal alsó részén találhatóak (** $p < 0,01$, *** $p < 0.001$).

	NNmax	SDNN	pNN50	rMSSD	TP	LF	HF	
NNmax		0.735***	0.367**	0.784***	0.638***	0,11	0,364**	NNmax
SDNN	0.736***		0.428***	0.748***	0.765***	-0.086	0.186	SDNN
pNN50	0,704***	0.898***		0.69***	0.179	0.222	0.488***	pNN50
rMSSD	0.752***	0.95***	0.958***		0.61***	0,337**	0.642***	rMSSD
TP	0.696***	0.961***	0.935***	0.967***		-0.078	0.103	TP
LF	0.366**	0.351**	0.481***	0.453***	0.455***		0.831***	LF
HF	0.027	-0.024	0.059	0.126	-0.006	0.137		HF
	NNmax	SDNN	pNN50	rMSSD	TP	LF	HF	

A Perna és munkatársai (2020) alapján meghatározott csoportosítás után szignifikáns különbséget találtunk a csoportok között az NNmax ($p < 0,001$), NNmean ($p = 0,002$), pNN50 ($p = 0,048$), VLF ($p = 0,001$), LF/HF hányados ($p < 0,001$), valamint a VO_2 peak ($p = 0,041$) értékekben.

MEGBESZÉLÉS

Vizsgálatainkban a szervezetet ért stresszhatásokat akartuk a HRV mutatók segítségével értékelni, a stresszhatás mértékét számszerűsíteni, valamint az eltérő stresszhatások közötti különbségeket kimutatni. A longitudinális vizsgálatunk megerősítette, hogy a HRV mutatók konzekvensen módosulnak a szervezetet ért stresszhatásokra, az akut fizikai (egy nap edzésprogramja az edzőtábor alatt, valamint a fizikai stressz teszt) és pszichés stresszhatás (pszichés stressz teszt), valamint a hosszútávú stresszhatás (az edzőtábor során göngyölített edzés hatások összessége) is jelentős változásokat okozott a HRV mutatók értékeiben. Szignifikáns különbséget tapasztaltunk az eltérő jellegű terhelés, valamint az eltérő stresszhatások esetében is, a longitudinális vizsgálatban a 3 csoport, valamint az összehasonlító vizsgálatban a különböző stresszhatások között, amely eredmények egybeesnek az irodalmi áttekintésben idézett referenciák eredményeivel, melyek szerint a HRV változásai tükrözik a stressz mértékét, valamint a jellegét.

Longitudinális vizsgálat

A vizsgálatban 3 csoportra osztottuk a résztvevő sportolókat. Az 1-es csoport tagjai napi 1 intenzív, a 2-es csoport tagjai napi 2 intenzív, az 1+1 csoport tagjai pedig 1 intenzív és 1 regeneráló edzésen vettek részt. A vizsgálat célja az volt, hogy az eltérő edzés hatások szervezetre, azon belül a HRV-re kifejtett hatásait vizsgáljuk egy 5 napos edzőtábor alatt.

A sportolóknál mért TL értékek alapján látható, hogy az első nap során a 2-es csoportba tartozó sportolók edzés terhelési mutatója szignifikánsan különbözött a másik két csoport tagjaitól, aminek az volt az oka, hogy megközelítőleg kétszer annyi időt töltöttek intenzív edzéssel, mint a másik két csoport tagjai. A 4. és az 5. nap edzései során azonban ez a szignifikáns különbség eltűnt, a regeneráció nélküli, folyamatosan göngyölített fáradás miatt a szervezet nem engedte, hogy a sportolók továbbra is az azt megelőző mértékű edzőmunkát végezzék. Ezt támasztja alá az is, hogy a sportolók egyéni maximális pulzusszámuk 80%-a felett végzett edzőmunka ideje nagymértékben csökkent a harmadik nap után, az első három nap, átlagosan a teljes edzésidő 60%-át töltötték a 80%-os pulzusérték felett, ez a szám 15% és 18%-ra csökkent a negyedik és az ötödik napra. Ez a csökkenés mind a 3 csoportban megfigyelhető volt, de a 2-es csoport tagjainál fokozottan volt látható. Kaikkonen és munkatársai (2012) szerint a sportolók

terhelésre kiváltott fiziológiai válasza csak akkor érte el a megfelelő mértéket, amikor elegendő regenerációs idő állt rendelkezésükre. Tanulmányunkban a 2-es csoport tagjai nem kaptak elegendő regenerációs időt az edzések között, így terhelés-intenzitási mutatóik (a TL mutató, valamint a sportolók maximális pulzusértékének 80%-a felett töltött idő aránya a teljes edzés időtartamához képest) csökkentek.

Az egyes HRV paraméterek alakulása is megerősíti a fenti gondolatmenetet, a 2-es csoport tagjainál az átlagos R-R távolság, a pNN50 és a HF mutatók is folyamatos csökkentést mutatnak a 4. nap reggelén végzett mérésig, majd az 5. és 6. nap reggeli mérés során fokozatosan emelkednek. Az átlagos R-R távolságok csökkenése (azaz a pulzusszám emelkedése) szimpatikus, emelkedése paraszimpatikus dominanciát mutat. A pNN50 mutató változása is a fenti dinamikát követi, fokozatos csökkenése azt jelenti, hogy a 4. nap reggelén végzett mérésig fokozatosan emelkedett a szimpatikus tónus dominanciája, amikor viszont a fáradtság miatt a szervezet fokozta a vagus aktivitást a homeosztázishoz való visszatérés érdekében, és ez a pNN50 paraméter emelkedéséhez vezetett. Az 5. ábrán látható változások mértékének nagyságát jelenítik meg a hatásnagyság táblázatok is.

A paraszimpatikus hatásokat jelző HF komponens hasonló dinamikájú változása önmagáért beszél, amelyet megerősít a HF paraméterrel erős korrelációt mutató rMSSD mutató változási dinamikája is. A szakirodalmi áttekintésben említésre került, hogy az LF komponens élettani alapja továbbra is vitatott, és ma már megdőlt az a korábban népszerű nézet, miszerint a mutató a szimpatikus hatások megjelenítésére alkalmas. Amennyiben a szimpatikus hatásokat jelezné, akkor a mérés során a fenti dinamikával ellentétesen kellett volna változni az értékének, azonban az edzőtábor során regisztrált mintázata megegyezett a fent említett paraméterek mintázatával. Az LF/HF hányados értékének alakulását mutató ábrán nem figyelhető meg egyértelmű, világos tendencia a vegetatív tónus alakulását illetően, a résztvevőknél mért értékek és az adatok egyéni változásai nagymértékű variabilitást, valamint a nagy szórás értékekből kiindulva erős heterogenitást mutattak a csoportokon belül is. Ez a megállapítás megerősíti, hogy az LF mutató nem, vagy nem kizárólag a szimpatikus tónus mértékének jelzője, amely alapján igazolást nyert, hogy az LF/HF hányados sem alkalmas a vegetatív szabályozási folyamatok bemutatására.

Az 1+1 csoport esetében kíváncsiak voltunk, hogy mekkora a regeneráló edzések jelentősége sorozatterhelés esetén. Az ebbe a csoportba tartozó résztvevők TL értéke nem mutatott különbséget az edzőtábor első három, valamint az utolsó két napja között, a sportolók egyéni maximális pulzusszámának 80%-a felett eltöltött idő nagysága pedig csupán kismértékben csökkent a 2-es csoportba besorolt sportolókhoz képest. A HRV mutatók, különösen az átlagos RR távolság, valamint az LF és a HF paraméterek értékelésekor látható, hogy a csoport tagjainak eredményei folyamatosan a kiinduló értékek közelében maradnak, nagymértékű változások nem figyelhetők meg.

Összehasonlító vizsgálat

Bizonyos HRV paraméterek közötti korreláció előrelátható volt, ugyanis a matematikai alapjaik megegyeznek vagy korrelálnak (pl. SDNN – TP, vagy Δ SDNN – Δ TP). Az SDNN az N-N intervallumok szórását mutatja meg, ami tulajdonképpen a variancia négyzetgyöke. A TP matematikailag a varianciával egyenlő. Ez az összefüggés ad magyarázatot arra, hogy a Δ SDNN paraméterrel erős korrelációt mutató változók miért mutatnak erős együttjárást a Δ TP paraméterrel is. A Task Force (1996) erős korrelációt mutatott be az rMSSD és a pNN50 mutatók között, amelyet vizsgálatunk megerősített a fizikai ($r=0,69$; $p<0,001$) és a pszichés ($r=0,958$; $p<0,001$) stressz teszt során is. A Task Force szintén említett egy hozzávetőleges kapcsolatot a HF, valamint a pNN50 és az rMSSD mutatók között 24 órás Holter vizsgálat során. Annak ellenére, hogy a mi vizsgálatunkban csak rövid időtartamú mérésre volt lehetőség, közepes korrelációt találtunk a fent említett paraméterek között a fizikai stressz teszt során, ugyanakkor a változók nem mutattak együttjárást a pszichés stressz teszt eredményei között. Várakozásainkkal ellentétben nem tudtuk igazolni Hedelin és munkatársainak (2000) eredményét, ugyanis az általunk mért adatokban a magasabb relatív VO_2 peak nem korrelált a magasabb HF értékkel. A HF értéke a paraszimpatikus tónus egyik jelzője, a magasabb aerob edzettség, azaz a magasabb VO_2 peak érték pedig magasabb nyugalmi paraszimpatikus dominanciát feltételez. A várt korreláció elmaradását azzal magyarázzuk, hogy a sportoló mintánkban a résztvevők VO_2 peak értékei nagyon hasonlóak voltak.

A krónikus stresszt vizsgáló kutatási eredmények túlnyomó többsége az R-R intervallum csökkenéséről, valamint szignifikánsan alacsonyabb pNN50 és HF mutatókról számolt be pszichés stressz helyzetekben. Perna és munkatársai (2020) szerint azoknak a személyeknek,

akik magasabb HF és rMSSD értékkel rendelkeznek, több neuropszichológiai erőforrás áll rendelkezésükre a stresszes szituációk kezelésére és leküzdésére. Vizsgálatunkban azoknak a résztvevőknek, akiknek a HF és az rMSSD értékük is emelkedett a pszichés stressz teszt előtti és az R30 mérés között, csökkent LF/HF értéket ($0,68 \pm 0,39$) mértünk összehasonlítva a többi résztvevővel ($1,22 \pm 0,63$), azaz az elméletileg a pszichés stresszel jobban megbirkózni képes csoport vegetatív tónusa paraszimpatikus irányba tolódott el. Mivel az akut és a krónikus stressz eltérő fiziológiai válaszokat vált ki, ez utóbbi megállapítás szembemegy a fent említett tapasztalatokkal, ugyanis az R-R távolságok csökkenése, valamint az alacsonyabb pNN50 és HF érték szimpatikus dominanciát feltételez.

Clemente-Suárez és Robles-Pérez (2013) eredményei szerint egy harci szituációban a résztvevők szimpatikus tónusa emelkedett, amit az átlagos R-R távolságok, valamint az SDNN mutató csökkenése jelez, azaz aktiválódott a “fight-or-flight” mechanizmus. Vizsgálatunk nem igazolta ezt az eredményt, sőt, résztvevőinknél emelkedő SDNN és átlagos R-R távolságot mértünk. Az eltérő eredmények magyarázata véleményünk szerint a résztvevők kiválasztási módszertanában keresendő, ugyanis Clemente-Suárez és Robles-Pérez kutatásában tapasztalt katonák vettek részt, míg mi másodosztályban versenyző labdarúgókat vizsgáltunk, akiknek már a pszichés teszt kezdete előtt, a fegyver átadásával emelkedett a stressz szintje. A HRV mérés időzítése, valamint a nem azonos eszköz is magyarázhatja az eltérő eredményeket, tekintve, hogy a fent említett kutatásban a HRV mutatók mérése a teszt protokoll előtt, valamint közvetlenül a teszt után történt hordható eszközök használatával. A fenti kutatásban a katonáknak egy komplex mentális feladatot is végre kellett hajtaniuk a teszt során (speciálisan katonák számára kifejlesztett teszt protokoll). Ezzel ellentétben vizsgálatunkban csak egy nagyon egyszerű feladatot adtunk a résztvevőknek (végig kellett sétálniuk a terem egyik végéből a másikba), amelyre azért volt szükség, hogy elkerüljük a hosszú távon jelentkező pszichológiai tünetek megjelenését.

A pszichés stressz protokoll eredményei alapján nem sikerült megerősíteni azokat a kutatási eredményeket, amelyek a verseny előtti izgalom mérésével foglalkoztak (Mateo et al., 2012; Oliveira-Silva et al., 2018). Ezek a tanulmányok a szimpatikus dominancia emelkedéséről számoltak be (csökkenő SDNN és rMSSD). A fent említett katonai szituáció fiziológiai hatásait elemző kutatásokkal ellentétben, amelyben a katonák szimpatikus tónusa emelkedett, az általunk mért résztvevők mutatóinak változása ezeknek a vizsgálati eredményeknek az

ellenkezőjét mutatta. A kutatásunkban részt vevő személyek életükben először találkoztak ezzel a szituációval, míg a fenti kutatások résztvevői tapasztaltak voltak a kutatási protokoll által meghatározott szituációval kapcsolatban. A résztvevők tapasztalatlansága miatt mért eltérő adatok magyarázzák, hogy miért nem sikerült megerősíteni a Perna és munkatársai (2020) által publikált változásokat.

Adataink alapján egy ismeretlen veszélyhelyzetbe kerülés az első alkalommal nagyobb hatással van a HRV adatok változására, mint bármely más tényező. A kutatási protokoll által meghatározott szituáció egy extrém pszichés stresszt jelentett a résztvevőink számára, amely a stressz nagyságának megfelelően szignifikáns változásokat generált a HRV paraméterek túlnyomó többségében. Az általunk kiváltott pszichés stressz mértéke nagyban meghaladta a korábbi kutatásokban átélt stressz nagyságát, amit a protokoll jellegének, az abban való korábbi ismeretek hiányának, valamint a stressz hatását fokozó tényezőknek (pl. a résztvevőknek adott pisztoly) összessége adta, amely tényezők együttese magyarázza az irodalmi áttekintésben leírt tanulmányok eredményeitől való nagymértékű eltérést. Egy adott szituációban a szervezet alkalmazkodása a vártnál nagyobb mértékben függ a tapasztalattól, azonban az adott szituáció későbbi átélése folyamatos változásokat generál a szervezet adaptációjában, kezdve a tanulmányunkban leírt változásokkal, amely adaptáció a tapasztalatszerzés folyamatával párhuzamosan a korábban említett tanulmányokban leírt változások irányába módosul.

A CÉLKITŰZÉSEKRE ADOTT VÁLASZOK

Feltételeztük, hogy a HRV értékek már egy 5 napos edzőtábor alatt is szignifikáns változásokat mutatnak.

Feltételezésünk igazolást nyert, az intenzív sorozatterhelés jelentős változásokat generált a szervezet vegetatív szabályozásában, amely változások megjelenítésére a HRV paraméterek megfelelőnek bizonyultak. Vizsgálati eredményeink alapján kijelenthető, hogy a HRV paraméterek képesek az akut stressz mellett a kumulatív, hosszabb távon fennálló stresszhatásokra adott vegetatív változások és tendenciák megjelenítésére is.

Feltételeztük, hogy azonos edzettségű sportolók eltérő jellegű terhelése eltérő mértékű változásokat generál a résztvevők HRV mutatóiban.

Feltételezésünk igazolást nyert, az eltérő edzésterhelés eltérő dinamikájú változásokat generált a szervezet vegetatív szabályozásában, amely eltérés a HRV paraméterekben is megmutatkozott. A különböző terhelésre adott eltérő vegetatív válasz számszerűsíthetősége a sporttudományban dolgozó kutatók és a sportolók felkészítésén dolgozó sportszakemberek számára is hasznos információt jelenthet.

Feltételeztük, hogy regeneráló edzések hatására a HRV mutatók változásának mértéke elmarad a regeneráló edzést nem végző résztvevők értékeinek változásától.

Feltételezésünk igazolást nyert, a regeneráló edzést végző sportolók HRV paraméterei kisebb mértékben változtak az edzőtábor során, mint a regeneráló edzést nem végző sportolók mutatói.

Feltételeztük, hogy a szervezet fizikális és a pszichés stresszre adott válaszadási szabályozásában különbséget tapasztalunk.

Feltételezésünk nem, vagy csak részben nyert igazolást. Bár tapasztaltunk szabályozási különbségeket a két stressz protokoll között, de eredményeinket a nemzetközi szakirodalommal összehasonlítva arra a megállapításra jutottunk, hogy az adott szituációban szerzett korábbi tapasztalatnak nagyobb befolyásoló hatása van, mint a stresszhatás jellegének. A feltüntetett

vizsgálatban a résztvevő sportolók csak az extrém fizikális stressz protokollal találkoztak korábban, az extrém pszichés protokoll új, ismeretlen stresszhatásként készítette alkalmazkodásra a vegetatív szabályozásukat. Ugyanakkor a szakirodalmi adatok alapján azoknál a résztvevőknél, akik rendszeresen találkoznak extrém pszichés stresszel (pl. katonák), ugyanolyan vegetatív változásokat, tendenciákat mértek a kutatók, mint kutatócsoportunk a sportolók esetében az extrém fizikális stressz protokoll során.

Feltételeztük, hogy az extrém stresszhatások miatt a HRV mutatók többsége szignifikáns változást mutat a nyugalmi állapothoz képest.

Feltételezésünk igazolást nyert, az extrém stresszhatások szignifikáns változásokat generáltak a HRV mutatók mindegyikénél, függetlenül attól, hogy a résztvevőknek volt korábban szerzett tapasztalata az adott szituációban, vagy sem. Az extrém intenzitású stressz nagymértékű változásokat generált a vegetatív szabályozásban, azonban ezen változások iránya az adott szituációban szerzett korábbi tapasztalatok meglétének, vagy hiányának függvénye.

ÚJ EREDMÉNYEK

1. A longitudinális kutatás igazolta, hogy a HRV paraméterek vizsgálata alkalmas a szervezetet ért stresszhatások elemzésére pályamérések esetében is. A vizsgálati módszer akkor is megbízható eredményt ad, amennyiben a sportolók eltérő jellegű, vagy intenzitású edzésen vesznek részt, ugyanis a csoportok között eltérő dinamikájú HRV változásokat figyeltünk meg, amely eltérések logikusak, szakmailag alátámaszthatók.
2. Az összehasonlító kutatás eredeti célja az volt, hogy a sportolókat érő komplex stresszhatások két nagyobb alkotóelemét (fizikai, valamint pszichés stressz) elkülönítsük, majd ezek hatásait megpróbáljuk külön, a másiktól függetlenül megvizsgálni. Feltételezésünk az volt, hogy a két stresszhatás eltérő változásokat generál a vegetatív szabályozásban, azonban az eredmények alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy a vegetatív szabályozás szempontjából a tapasztalatnak a hatása sokkal jelentősebb, mint a stresszhatás jellegének.

LIMITÁCIÓK

A disszertációban bemutatott kutatási eredmények ellenére a HRV adatok használata a vagális tónus megállapítására továbbra is a sporttudomány egy vitatott területe, így szándékomban áll röviden azt is bemutatni, hogy a nemzetközi szakirodalomban milyen kétségek merültek fel a módszer hatékonyságával kapcsolatban. A HRV mérésére alkalmas eszközök használata a vegetatív idegrendszer szabályozásában bekövetkezett változások egyszerű, indirect módon történő nyomkövetésére egy olyan kutatási terület, amely az elmúlt évtizedekben nagy figyelmet kapott (Owens, 2020), az eredmények pedig biztatóak voltak, azonban nagyon fontos megemlíteni a mérési módszer limitációit az eredmények megfelelő értékelése érdekében.

A vizsgálati módszer megítélését nagyban meghatározza, hogy több, széles körben használt és publikált paraméternek nincs jól megalapozott háttére, használhatósága vitatott. A disszertáció keretein belül érintőlegesen foglalkoztam már a frequency domain mutatók egyenlőtlenségével. A HF mutató bizonyítottan a paraszimpatikus hatások jelzője, ugyanakkor nem találunk olyan paramétert, amely a szimpatikus hatások megjelenítését és számszerűsítését megoldaná. Goldstein (2010) eredményei megkérdőjelezzik a frequency domain paraméterek validitását a szimpatikus vegetatív hatások jellemzése esetén. Hosszú ideig a VLF és az LF mutatót tekintették a tisztán a szimpatikus hatásokat megjelenítő paraméternek, azonban ezt az elméletet számos kutatás minden kétséget kizóan cáfolta (Baumert et al., 2009; Goldstein et al., 2011). Jelenlegi ismereteink szerint a szimpatikus hatások mellett a VLF mutatót a renin-angiotenzin és a paraszimpatikus hatások, az LF-et pedig a paraszimpatikus aktivitás befolyásolja (Ernst, 2017).

A HRV adatok értelmezését tovább nehezíti, hogy a szimpatikus hatások szabályozása, a szimpatikus dominancia kialakulása két úton megy végbe, amely folyamatok eltérő időtartamúak. Azoknak a HRV paramétereknek a változása, amelyeket a vagális tónus jellemzésére használunk (rMSSD, pNN50, HF), nagyon gyorsan, szívciklusról szívciklusra végbe megy, hiszen a bolygóideg szabályozásának azonnali hatása van a szív ingerképző rendszerére, és így a szívfrekvenciára is. Ezzel párhuzamosan a vegetatív tónus szimpatikus irányba való eltolódásának első lépése a noradrenalin béta receptorokhoz való kötődése, amely további komplex kémiai folyamatokat indít el a szervezetben, melyek lefutása hosszabb időt vesz igénybe. A mérések értékelésénél azonban azt találták, hogy bizonyos populációk esetén

(elsősorban idősek, valamint szív és keringési betegségekben szenvedők) a szimpatikus tónus fokozódásakor a szívfrekvencia emelkedése, és ezzel párhuzamosan a szívfrekvencia variabilitás paraméterek változása túlzottan nagymértékű, amelyeknek a nagysága nem jellemzi megfelelően az alkalmazott stressz hatás mértékét. Az így mért adatok közül sokszor szoftveres segítséggel sem lehet kiszűrni az ektópiákat, nem lehet meghatározni a normál szívciklusokat, amely a megbízható HRV mérés alapjául szolgálna. Ennek a jelenségnek az oka egyelőre ismeretlen, azonban a megtalálása nagyon fontos lépés lenne annak érdekében, hogy a HRV mérések és értékelések széles körben elfogadottá váljanak (Stein, 2005).

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS ÖSSZEFOGLALÁS

Bár a HRV adatok elemzése és értelmezése továbbra sem teljes körűen elfogadott, a nemzetközi szakirodalomban található kutatási eredmények egyre határozottabban támasztják alá a módszernek a stressz mértékének meghatározásában való használhatóságát. Az összehasonlító vizsgálatban a HRV paraméterek ellenkező irányú változásokat mutattak a teszt protokollok között, amelyben az elsődleges különbséget az adott szituációban szerzett korábbi tapasztalatok megléte vagy hiánya okozott, mely felismerést a szakirodalom alátámasztotta. Ezt az ismeretet fontos a sportszakmai felkészítésben részt vevő edzőknek és egyéb sportszakembereknek ismerniük, hiszen ez a tényező nagymértékben kihathat a sportoló teljesítményére az eltérő, a szervezet számára ismeretlen vegetatív háttér miatt.

Ez a tényező eltérő mértékben a sport minden szintjén megjelenik (utánpótláskorú sportoló a tehetsége miatt felkerül egy idősebb korosztályba, egy akadémiára, a korosztályos utánpótlás válogatottba, esetleg a felnőtt csapatba), azonban elsősorban az elit környezetben jelentős, Európa-bajnokságok, világbajnokságok, olimpiák döntői, valamint a csapat sportágak nemzetközi kupa sorozatainak késői periódusai esetén, ahol a sportolót érő komplex stresszorok összességének kezelése egy jelentős mentális folyamat, amelynek kezelése sportteljesítmény befolyásoló tényező lehet egy olyan sportoló számára, aki még korábban nem élte ezt át.

Ugyanakkor annak ellenére, hogy a HRV adatok mérése non-invazív és egyszerűen reprodukálható, az elemzés folyamata hosszú időt vesz igénybe. A mérés után a mérőeszköztől az adatok letöltése, a file elemző szoftverbe való beillesztése, valamint azok elemzése sok időt vesz igénybe. Ez egy sportoló figyelemmel követése esetén vállalható, egy csapat esetén azonban túlzottan idő- vagy erőforrásigényes. A mérés jellege miatt az adatok értékelésénél szükség van egy összefüggésekben, folyamatokban gondolkodó szakemberre, a mesterséges intelligencia technológia exponenciális fejlődésének ellenére az algoritmusok még hosszú időn keresztül nem lesznek alkalmasak arra, hogy az elemzésben segítséget nyújtsanak a kutatóknak, edzőknek. Az egyre megalapozottabb tudományos háttér ellenére a folyamatok egyszerűbbé és gyorsabbá válása lesz annak a kulcsa, hogy a mérés milyen mértékben tud elterjedni a sporttudományos és sportszakmai körök mindennapjaiban.

CONCLUSIONS AND SUMMARY

Although the analysis and interpretation of HRV data are still not universally accepted, research findings in international literature increasingly support the utility of this method in assessing stress levels. In the comparative study, HRV parameters showed opposite directional changes between test protocols, where the primary difference was attributed to the presence or absence of prior experiences in the given situation, a finding corroborated by the literature. This knowledge is crucial for coaches and other sports professionals involved in athletic preparation, as this factor can significantly impact an athlete's performance due to the varying, unfamiliar autonomic background encountered by the body.

This factor appears at different levels across all tiers of sport (e.g., a youth athlete moving up to an older age group, joining an academy, being selected for a national youth team, or even a senior team); however, it is particularly significant in elite environments — such as the finals of European Championships, World Championships, the Olympics, and the final stages of international cup series in team sports. In these settings, managing the complex array of stressors faced by the athlete becomes a critical mental process, potentially influencing athletic performance, especially for an athlete who has not previously experienced such pressures.

Despite the fact that HRV data measurement is non-invasive and easily reproducible, the analysis process is time-consuming. After measurement, data must be downloaded from the device, imported into analytical software, and then analyzed, which can be very time-intensive. While this may be manageable when monitoring an individual athlete, it becomes excessively time- or resource-consuming when applied to an entire team. Due to the nature of the measurement, data evaluation requires a professional who can think in terms of correlations and processes. Despite the exponential development of artificial intelligence technology, algorithms will not be capable of assisting researchers and coaches in the analysis for a long time. Even with an increasingly solid scientific foundation, the key to the widespread adoption of this measurement in the daily practice of sports science and sports professionals will be the simplification and acceleration of these processes.

Irodalomjegyzék

- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538.
- Agelink, M. W., Majewski, T., Akila, F., Zeit, T., & Ziegler, D. (2001). Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, and effects of age, gender, and heart rate. *Clinical Autonomic Research*, 11(2), 99–108.
- Ahmed, M. U., Begum, S., & Islam, M. S. (2010). Heart Rate and Inter-beat Interval Computation to Diagnose Stress Using ECG Sensor Signal. MRTC Report, 4.
- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., & Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213(4504), 220–222.
- Alansare, A., Alford, K., Lee, S., Church, T., & Jung, H. C. (2018). The effects of high-intensity interval training vs. Moderate-intensity continuous training on heart rate variability in physically inactive adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1–10.
- Almási, G., Bosnyák, E., Móra, Á., Zsákai, A., Fehér, P., Annár, D., Nagy, N., Sziráki, Z., Kemper, H. C. G., & Szmodis, M. (2021). Physiological and Psychological Responses to a Maximal Swimming Exercise Test in Adolescent Elite Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17).
- Amat, J., Paul, E., Watkins, L. R., & Maier, S. F. (2008). Activation of the ventral medial prefrontal cortex during an uncontrollable stressor reproduces both the immediate and long-term protective effects of behavioral control. *Neuroscience*, 154(4), 1178–1186.
- Ariëns, G. A. M., Bongers, P. M., Hoogendoorn, W. E., Houtman, I. L. D., van der Wal, G., & van Mechelen, W. (2001). High Quantitative Job Demands and Low Coworker Support As Risk Factors for Neck Pain. *Spine*, 26(17), 1896–1901.
- Aubert, A., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33, 889–919.
- Barak, O. F., Jakovljevic, D. G., Gacesa, J. Z. P., Ovcin, Z. B., Brodie, D. A., & Grujic, N. G. (2010). Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9(2), 176–182.
- Baumert, M., Lambert, G. W., Dawood, T., Lambert, E. A., Esler, M. D., McGrane, M., Barton, D., Sanders, P., & Nalivaiko, E. (2009). Short-term heart rate variability and cardiac norepinephrine spillover in patients with depression and panic disorder. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 297(2), 674–679.

- Beaver, W. L., Wasserman, K., & Whipp, B. J. (2016). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 121(6), 2020–2027.
- Benarroch, E. E. (1993). The Central Autonomic Network: Functional Organization, Dysfunction, and Perspective. *Mayo Clinic Proceedings*, 68(10), 988–1001.
- Benichou, T., Pereira, B., Mermillod, M., Tauveron, I., Pfabigan, D., Maqdasy, S., & Dutheil, F. (2018). Heart rate variability in type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. In *PLoS ONE* (Vol. 13, Issue 4). Public Library of Science.
- Berntson, G. G., Norman, G. J., Hawley, L. C., & Cacioppo, J. T. (2008). Cardiac autonomic balance versus cardiac regulatory capacity. *Psychophysiology*, 45(4), 643–652.
- Bloomfield, D. M., Magnano, A., Bigger, J. T., Rivadeneira, H., Parides, M., & Steinman, R. C. (2001). Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 280(3 49-3), 1145–1150.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377–381.
- Boullosa, D. A., Abreu, L., Tuimil, J. L., & Leicht, A. S. (2012). Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *European Journal of Applied Physiology*, 112(6), 2233–2242.
- Bourdillon, N., Jeanneret, F., Nilchian, M., Albertoni, P., Ha, P., & Millet, G. P. (2021). Sleep Deprivation Deteriorates Heart Rate Variability and Photoplethysmography. *Frontiers in Neuroscience*, 15(April), 1–12.
- Brinza, C., Floria, M., Covic, A., & Burlacu, A. (2021). Measuring heart rate variability in patients admitted with st-elevation myocardial infarction for the prediction of subsequent cardiovascular events: A systematic review. In *Medicina (Lithuania)* (Vol. 57, Issue 10). MDPI.
- Britton, A., Shipley, M., Malik, M., Hnatkova, K., Hemingway, H., & Marmot, M. (2007). Changes in Heart Rate and Heart Rate Variability Over Time in Middle-Aged Men and Women in the General Population (from the Whitehall II Cohort Study).
- Brown, T. E., Beightol, L. A., Koh, J., & Eckberg, D. L. (1993). Important influence of respiration on human R-R interval power spectra is largely ignored. *Journal of Applied Physiology*, 75(5), 2310–2317.
- Byrne, A. J., Murphy, A., McIntyre, O., & Tweed, N. (2013). The relationship between experience and mental workload in anaesthetic practice: An observational study. *Anaesthesia*, 68(12), 1266–1272.
- Chen, P. C., Sattari, N., Whitehurst, L. N., & Mednick, S. C. (2021). Age-related losses in cardiac autonomic activity during a daytime nap. *Psychophysiology*, 58(7), 1–17.

- Clays, E., De Bacquer, D., Crasset, V., Kittel, F., De Smet, P., Kornitzer, M., Karasek, R., & De Backer, G. (2011). The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(2), 185–191.
- Clemente-Suárez, V. J., & Robles-Pérez, J. J. (2013). Psycho-physiological response of soldiers in urban combat [Respuesta psicofisiológica de soldados en combate urbano]. *Anales de Psicología*, 29(2), 598–603.
- Clifford, G. D. (2002). Signal processing methods for heart rate variability. Thesis at St Cross College.
- Dalmeida, K. M., & Masala, G. L. (2021). HRV Features as Viable Physiological Markers for Stress Detection Using Wearable Devices. *Sensors*.
- Dettoni, J. L., Consolim-Colombo, F. M., Drager, L. F., Rubira, M. C., De Souza, S. B. P. C., Irigoyen, M. C., Mostarda, C., Borile, S., Krieger, E. M., Moreno, H., & Lorenzi-Filho, G. (2012). Cardiovascular effects of partial sleep deprivation in healthy volunteers. *Journal of Applied Physiology*, 113(2), 232–236.
- Dewa, C. S., Lin, E., Kooehoorn, M., & Goldner, E. (2007). Association of Chronic Work Stress, Psychiatric Disorders, and Chronic Physical Conditions With Disability Among Workers. *Psychiatric Services*, 58(5), 652–658.
- Earnest, C. P., Lavie, C. J., Blair, S. N., & Church, T. S. (2008). Heart rate variability characteristics in sedentary postmenopausal women following six months of exercise training: The DREW study. *PLoS ONE*, 3(6), 1–7.
- Ernst, G. (2017). Heart-Rate Variability—More than Heart Beats? *Frontiers in Public Health*, 5(September), 1–12.
- Etkin, A., & Wager, T. D. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *American Journal of Psychiatry*, 164(10), 1476–1488.
- Ewing, D. J., Campbell, I. W., & Clarke, B. F. (1976). Mortality in diabetic autonomic neuropathy. *The Lancet*, 307(7960), 601–603.
- Forte, G., Troisi, G., Pazzaglia, M., De Pascalis, V., & Casagrande, M. (2022). Heart Rate Variability and Pain: A Systematic Review. In *Brain Sciences* (Vol. 12, Issue 2). MDPI.
- Giles, D., Draper, N., & Neil, W. (2016). Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 563–571.
- Gillie, B. L., & Thayer F., J. F. (2014). Individual differences in resting heart rate variability and cognitive control in posttraumatic stress disorder. *Frontiers in Psychology*, 5(JUL), 1–7.
- Goldstein, D. S. (2010). Neuroscience and heart-brain medicine: The year in review. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 77(SUPPL. 3).

- Goldstein, D. S., Benthó, O., Park, M. Y., & Sharabi, Y. (2011). Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Experimental Physiology*, 96(12), 1255–1261.
- Gronwald, T., & Hoos, O. (2020). Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 25(1), 1–11.
- Grupe, D. W., Imhoff-Smith, T., Wielgosz, J., Nitschke, J. B., & Davidson, R. J. (2020). A common neural substrate for elevated PTSD symptoms and reduced pulse rate variability in combat-exposed veterans. *Psychophysiology*, 57(1), 1–11.
- Guiraud, T., Labrunee, M., Gaucher-Cazalis, K., Despas, F., Meyer, P., Bosquet, L., Gales, C., Vaccaro, A., Bousquet, M., Galinier, M., Sénard, J.-M., Pathak, A. (2013). High-Intensity Interval Exercise Improves Vagal Tone and Decreases Arrhythmias in Chronic Heart Failure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(10), 1861–1867.
- Hadase, M., Azuma, A., Zen, K., Asada, S., Kawasaki, T., Kamitani, T., Kawasaki, S., Sugihara, H., & Matsubara, H. (2004). Very Low Frequency Power of Heart Rate Variability is a Powerful Predictor of Clinical Prognosis in Patients With Congestive Heart Failure. *Circulation*, 68(April), 343–347.
- Hall, M., Vasko, R., Buysse, D., Ombao, H., Chen, Q., Cashmere, J. D., Kupfer, D., & Thayer, J. F. (2004). Acute Stress Affects Heart Rate Variability during Sleep. *Psychosomatic Medicine*, 66(1), 56–62.
- Haller, J., Raczkevy-Deak, G., Gyimesine, K. P., Szakmary, A., Farkas, I., & Vegh, J. (2014). Cardiac autonomic functions and the emergence of violence in a highly realistic model of social conflict in humans. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8(OCT), 1–10.
- Hautala, A. J., Karjalainen, J., Kiviniemi, A. M., Kinnunen, H., Mäkikallio, T. H., Huikuri, H. V., & Tulppo, M. P. (2023). Physical activity and heart rate variability measured simultaneously during waking hours. 4(38), 874–880.
- Hedelin, R., Kentt'a, O., Kentt'a, K., Wiklund, U., Henriksson-Larsén, K., & Larsén, L. (2000). Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. In *Med. Sci. Sports Exerc* (Vol. 32, Issue 8).
- Herman, J. P. (2013). Neural control of chronic stress adaptation. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7(MAY), 1–12.
- Hinzmann, D., Singer, M., Schmelter, V., Kreiser, K., Gehling, K., Ströber, L., Kirschke, J. S., Schulz, C. M., & Schneider, F. (2022). Differences in beginner and expert neurointerventionalists' heart rate variability during simulated neuroangiographies. *Interventional Neuroradiology*.
- Holland, P. C., & Gallagher, M. (2004). Amygdala – frontal interactions and reward expectancy. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(2), 148–155.

- Holmes, A. L., Burgess, H. J., Dawson, D., Alexandra, L., & Burgess, H. J. (2002). Effects of sleep pressure on endogenous cardiac autonomic activity and body temperature. *2578–2584*.
- Holzman, J. B., & Bridgett, D. J. (2017). Heart rate variability indices as bio-markers of top-down self-regulatory mechanisms: A meta-analytic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *74*, 233–255.
- Hon, E. H., & Lee, S. T. (1963). Electronic evaluation of the fetal heart rate. VIII. Patterns preceding fetal death, further observations. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *87*, 814–826.
- Hoogendoorn, W. E., Van Poppel, M. N. M., Bongers, P. M., Koes, B. W., Bouter, L. M., & Hoogendoorn, L. (2000). Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine*, *25*(16), 2114–2125.
- Hunt, K. J., & Saengsuwan, J. (2018). Changes in heart rate variability with respect to exercise intensity and time during treadmill running. *BioMedical Engineering Online*, *17*(1), 1–12.
- Hynynen, E., Konttinen, N., & Rusko, H. (2009). Heart Rate Variability and Stress Hormones in Novice and Experienced Parachutists Anticipating a Jump. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *80*(11), 976–980.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N., & Rusko, H. (2008). Cardiac Autonomic Responses to Standing Up and Cognitive Task in Cardiac Autonomic Responses to Standing Up and Cognitive Task in Overtrained Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, *29*, 552–558.
- Järvelin-Pasanen, S., Sinikallio, S., & Tarvainen, M. P. (2019). Heart rate variability and occupational stress—systematic review. *Industrial Health*, *56*(6), 500–511.
- Javorka, M., Žila, I., Balhárek, T., & Javorka, K. (2002). Heart rate recovery after exercise: Relations to heart rate variability and coplexity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, *35*(8), 991–1000.
- Jensen-Urstad, K., Storck, N., Bouvier, F., Ericson, M., Lindbland, L. E., & Jensen-Urstad, M. (1997). Heart rate variability in healthy subjects is related to age and gender. *Acta Physiologica Scandinavica*, *160*(3), 235–241.
- Jurca, R., Church, T. S., Morss, G. M., Jordan, A. N., & Earnest, C. P. (2004). Eight weeks of moderate-intensity exercise training increases heart rate variability in sedentary postmenopausal women. *American Heart Journal*, *147*(5), e8–e15.
- Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., Nummela, A., & Linnarsson, D. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(3), 829–838.

- Karasek, R. A. (1979). Job Demands, Job Decision Latitude, and Mental Strain: Implications for Job Redesign. *Administrative Science Quarterly*, 24(2), 285.
- Kellerová, E. (2013). Variability and reactive changes of the peripheral blood flow, blood pressure and of the electrical behavior of the heart. *Activitas Nervosa Superior Rediviva*, 55(3), 113–124.
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. In *Psychiatry Investigation* (Vol. 15, Issue 3, pp. 235–245). Korean Neuropsychiatric Association.
- Kiss, O., Sydó, N., Vargha, P., Vágó, H., Czibalmos, C., Édes, E., Zima, E., Apponyi, G., Merkely, G., Sydó, T., Becker, D., Allison, T. G., & Merkely, B. (2016). Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research*, 26(4), 245–252.
- Kivimäki, M., Leino-Arjas, P., Luukkonen, R., Riihimäki, H., Vahtera, J., & Kirjonen, J. (2002). Work stress and risk of cardiovascular mortality: Prospective cohort study of industrial employees. *British Medical Journal*, 325(7369), 857–860.
- Kleiger, R., Stein, P., & Bigger, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 1–14.
- Kobayashi, H., Ishibashi, K., & Noguchi, H. (1999). Heart rate variability; an index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 18(2), 53–59.
- Kromenacker, B. W., Sanova, A. A., Marcus, F. I., Allen, J. J. B., & Lane, R. D. (2018). Vagal Mediation of Low-Frequency Heart Rate Variability During Slow Yogic Breathing. *August*, 581–587.
- Kruk, J., Aboul-Enein, B. H., Bernstein, J., & Gronostaj, M. (2019). Psychological Stress and Cellular Aging in Cancer: A Meta-Analysis. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 1–23.
- Laborde, S., Allen, M. S., Borges, U., Dosseville, F., Hosang, T. J., Iskra, M., Mosley, E., Salvotti, C., Spolverato, L., Zammit, N., & Javelle, F. (2022). Effects of voluntary slow breathing on heart rate and heart rate variability: A systematic review and a meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 138(April), 104711.
- Laborde, S., Hosang, T., Mosley, E., & Dosseville, F. (2019). Influence of a 30-day slow-paced breathing intervention compared to social media use on subjective sleep quality and cardiac vagal activity. *Journal of Clinical Medicine*, 8(2).
- Laborde, S., Mosley, E., & Thayer, J. F. (2017). Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research - Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 8, Issue FEB). Frontiers Research Foundation.

- Lee, H. J., Hwang, S. H., Yoon, H. N., Lee, W. K., & Park, K. S. (2015). Heart rate variability monitoring during sleep based on capacitively coupled textile electrodes on a bed. *Sensors (Switzerland)*, 15(5), 11295–11311.
- Lehrer, P., Kaur, K., Sharma, A., Shah, K., Huseby, R., Bhavsar, J., & Zhang, Y. (2020). Heart Rate Variability Biofeedback Improves Emotional and Physical Health and Performance: A Systematic Review and Meta Analysis. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 45(3), 109–129.
- Levin, C. J., & Swoap, S. J. (2019). The impact of deep breathing and alternate nostril breathing on heart rate variability: A human physiology laboratory. *Advances in Physiology Education*, 43(3), 270–276.
- Luczak, H., & Laurig, W. (1973). An Analysis of Heart Rate Variability. *Ergonomics*, 16(1), 85–97.
- Luís Oliveira, N., Ribeiro, F., Jorge Alves, A., Teixeira, M., Miranda, F., & Oliveira, J. (2013). Heart rate variability in myocardial infarction patients: Effects of exercise training. In *Revista Portuguesa de Cardiologia* (Vol. 32, Issue 9, pp. 687–700). Sociedade Portuguesa de Cardiologia.
- Makivić, B., Nikić, M. D., & Willis, M. S. (2013). Heart Rate Variability (HRV) as a Tool for Diagnostic and Monitoring Performance in Sport and Physical Activities. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(3), 103–131.
- Marques, A. H., Silverman, M. N., & Sternberg, E. M. (2010). Evaluation of stress systems by applying noninvasive methodologies: Measurements of neuroimmune biomarkers in the sweat, heart rate variability and salivary cortisol. *NeuroImmunoModulation*, 17(3), 205–208.
- Mateo, M., Blasco-Lafarga, C., Martinez-Navarro, I., Guzman, J. F., & Zabala, M. (2012). Heart rate variability and pre-competitive anxiety in BMX discipline. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 113–123.
- McCraty, R., & Shaffer, F. (2015). Heart rate variability: New perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. *Global Advances In Health and Medicine*, 4(1), 46–61.
- Medeiros, A. R., Tonello, L., Gasparini, N., Foster, C., & Boullosa, D. A. (2016). Lowered heart rate response during competition in figure skaters with greater aerobic fitness. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16(2), 581–589.
- Meier-Ewert, H. K., Ridker, P. M., Rifai, N., Regan, M. M., Price, N. J., Dinges, D. F., & Mullington, J. M. (2004). Effect of sleep loss on C-Reactive protein, an inflammatory marker of cardiovascular risk. *Journal of the American College of Cardiology*, 43(4), 678–683.

- Michael, S., Jay, O., Graham, K. S., & Davis, G. M. (2017). Higher exercise intensity delays postexercise recovery of impedance-derived cardiac sympathetic activity. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 42(8), 834–840.
- Michael, S., Jay, O., Halaki, M., Graham, K., & Davis, G. M. (2016). Submaximal exercise intensity modulates acute post-exercise heart rate variability. *European Journal of Applied Physiology*, 116(4), 697–706.
- Moodithaya, S., & Avadhany, S. T. (2012). Gender differences in age-related changes in cardiac autonomic nervous function. *Journal of Aging Research*, 2012.
- Moodithaya, S. S., & Avadhany, S. T. (2009). Comparison of cardiac autonomic activity between pre and post menopausal women using heart rate variability. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 53(3), 227–234.
- Móra, Á., Komka, Z., Végh, J., Farkas, I., Kocsiné, G. S., Bosnyák, E., Szmodis, M., Ligetvári, R., Csöndör, É., Almási, G., Oláh, A., Kemper, H. C. G., Tóth, M., & Ács, P. (2022). Comparison of the Cardiovascular Effects of Extreme Psychological and Physical Stress Tests in Male Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2).
- N. Jarczok, M., Guendel, H., J. McGrath, J., & M. Balint, E. (2019). Circadian Rhythms of the Autonomic Nervous System: Scientific Implication and Practical Implementation. *Chronobiology - The Science of Biological Time Structure*, 1–20.
- Oliveira-Silva, I., Silva, V. A., Cunha, R. M., & Foster, C. (2018). Autonomic changes induced by precompetitive stress in cyclists in relation to physical fitness and anxiety. *PLoS ONE*, 13(12).
- Opmeer, C. H. J. M. (1973). The Information Content of Successive RR-Interval Times in the ECG. Preliminary Results Using Factor Analysis and Frequency Analysis. *Ergonomics*, 16(1), 105–112.
- O’Sullivan, S. E., & Bell, C. (2000). The effects of exercise and training on human cardiovascular reflex control. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 81(1–3), 16–24.
- Owens, A. P. (2020). The Role of Heart Rate Variability in the Future of Remote Digital Biomarkers. *Frontiers in Neuroscience*, 14(November), 1–10.
- Palatini, P. (1999). Elevated heart rate as a predictor of increased cardiovascular morbidity. *Journal of Hypertension. Supplement : Official Journal of the International Society of Hypertension*, 17(3), S3-10.
- Pavlik, G. (2011). *Élettan - sportélettan*. Medicina Könyvkiadó Zrt.
- Perna, G., Riva, A., Defillo, A., Sangiorgio, E., Nobile, M., & Caldirola, D. (2020). Heart rate variability: Can it serve as a marker of mental health resilience?: Special Section on “Translational and Neuroscience Studies in Affective Disorders” Section Editor, Maria Nobile MD, PhD. *Journal of Affective Disorders*, 263(June 2019), 754–761.

- Peters, S. C., & Hopkins, K. (2014). Validation of the Use of the Effort-Reward Imbalance Scale in Human Services Using Confirmatory Factor Analysis. *Journal of the Society for Social Work and Research*, 5(4), 565–587.
- Pham, T., Lau, Z. J., Chen, S. H. A., & Makowski, D. (2021). Heart rate variability in psychology: A review of hrv indices and an analysis tutorial. In *Sensors* (Vol. 21, Issue 12). MDPI AG.
- Pieper, S., Brosschot, J. F., van der Leeden, R., & Thayer, J. F. (2010). Prolonged Cardiac Effects of Momentary Assessed Stressful Events and Worry Episodes. *Psychosomatic Medicine*, 577, 570–577.
- Pikkujämsä, S. M. (1999). Heart Rate Variability and Baroreflex Sensitivity in Subjects Without Heart Disease: Effects of Age, Sex and Cardiovascular Risk Factors. In *Internal Medicine*.
- Pikkujämsä, S. M., Mäkikallio, T. H., Juhani Airaksinen, K. E., & Huikuri, H. V. (2001). Determinants and interindividual variation of R-R interval dynamics in healthy middle-aged subjects. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology*, 280(3 49-3), 1400–1406.
- Pyne, J. M., Constans, J. I., Wiederhold, M. D., Gibson, D. P., Kimbrell, T., Kramer, T. L., Pitcock, J. A., Han, X., Williams, D. K., Chartrand, D., Gevirtz, R. N., Spira, J., Wiederhold, B. K., McCraty, R., & McCune, T. R. (2016). Heart rate variability: Pre-deployment predictor of post-deployment PTSD symptoms. *Biological Psychology*, 121, 91–98.
- Ramírez-Vélez, R., Tordecilla-Sanders, A., Téllez-T, L. A., Camelo-Prieto, D., Hernández-Quñonez, P. A., Correa-Bautista, J. E., Garcia-Hermoso, A., Ramírez-Campillo, R., & Izquierdo, M. (2020). Effect of Moderate- Versus High-Intensity Interval Exercise Training on Heart Rate Variability Parameters in Inactive Latin-American Adults: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(12), 3403–3415.
- Reichel, T., Hacker, S., Palmowski, J., Boßlau, T. K., Frech, T., Tirekoglu, P., Weyh, C., Bothur, E., Samel, S., Walscheid, R., & Krüger, K. (2022). Neurophysiological Markers for Monitoring Exercise and Recovery Cycles in Endurance Sports. *Journal of Sports Science and Medicine*, 21(3), 446–457.
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477–487.
- Rincon Soler, A. I., Silva, L. E. V., Fazan, R., & Murta, L. O. (2017). The impact of artifact correction methods of RR series on heart rate variability parameters. *Journal of Applied Physiology*, 124(3), 646–652.

- Rotenberg, S., & McGrath, J. J. (2016). Inter-relation between autonomic and HPA axis activity in children and adolescents. *Biological Psychology*, 117, 16–25.
- Sacha, J. (2014). Interplay between heart rate and its variability: A prognostic game. *Frontiers in Physiology*, 5 AUG(September), 1–4.
- Salai, M., Vassányi, I., & Kósa, I. (2016). Stress detection using low cost heart rate sensors. *Journal of Healthcare Engineering*, 2016(i).
- Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2006). The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. 302–313.
- Schulz, C. M., Endsley, M. R., Kochs, E. F., Gelb, A. W., & Wagner, K. J. (2013). Situation Awareness in Anesthesia. *Anesthesiology*, 118(3), 729–742.
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*, 5(September), 1–17.
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart’s anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5.
- Siegrist, J., & Peter, R. (1994). Job stressors and coping characteristics in work-related disease: Issues of validity. *Work & Stress*, 8(2), 130–140.
- Snieder, H., Doornen, L. J. P. Van, Boomsma, D. I., & Thayer, J. F. (2006). Sex Differences and Heritability of Two Indices of Heart Rate Dynamics : A Twin Study. 10(2), 364–372.
- Souza, R. A., Beltran, O. A. B., Zapata, D. M., Silva, E., Freitas, W. Z., Junior, R. V., da Silva, F. F., & Higino, W. P. (2019). Heart rate variability, salivary cortisol and competitive state anxiety responses during pre-competition and pre-training moments. *Biology of Sport*, 36(1), 39–46.
- Stein, P. K. (2005). Vagal tone: Myths and realities. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology*, 16(8), 870–871.
- Steptoe, A., Hamer, M., & Chida, Y. (2007). The effects of acute psychological stress on circulating inflammatory factors in humans: A review and meta-analysis. *Brain, Behavior, and Immunity*, 21(7), 901–912.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. *Circulation*, 93, 1043–1065.
- Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies : Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756.

- Thayer, J. F., Hansen, A. L., Saus-Rose, E., & Johnsen, B. H. (2009). Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine*, 37(2), 141–153.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88.
- Tornero-Aguilera, J. F., Robles-Pérez, J. J., & Clemente-Suárez, V. J. (2018). Use of Psychophysiological Portable Devices to Analyse Stress Response in Different Experienced Soldiers. *Journal of Medical Systems*, 42(4).
- Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., & Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: Relations to age and gender over nine decades. *Journal of the American College of Cardiology*, 31(3), 593–601.
- Voss, A., Schroeder, R., Heitmann, A., Peters, A., & Perz, S. (2015). Short-term heart rate variability - Influence of gender and age in healthy subjects. *PLoS ONE*, 10(3), 1–33.
- Weippert, M., Behrens, K., Rieger, A., Stoll, R., & Kreuzfeld, S. (2013). Heart rate variability and blood pressure during dynamic and static exercise at similar heart rate levels. *PLoS ONE*, 8(12), 1–8.
- Whitehurst, L. N., Naji, M., & Mednick, S. C. (2018). Comparing the cardiac autonomic activity profile of daytime naps and nighttime sleep. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*, 5(March), 52–57.
- Zaza, A., & Lombardi, F. (2001). Autonomic indexes based on the analysis of heart rate variability: A view from the sinus node. *Cardiovascular Research*, 50(3), 434–442.
- Zhang, Y., Liang, A., Song, J., Zhang, Y., Niu, X., Xiao, T., & Chi, A. (2021). Effects of acute-partial sleep deprivation on high-intensity exercise performance and cardiac autonomic activity in healthy adolescents. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani a Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Doktori Iskolájának, és vezetőjének, Prof. Dr. Bódis Józsefnek, az MTA doktorának, hogy támogatták kutatói ambícióimat. Köszönettel tartozom Prof. Dr. Ács Pongrácnak a segítőkészségéért, valamint azért, hogy lehetőséget biztosított számomra bekapcsolódni a karon folyó oktatói munkába, amelyet mindig örömmel és hatalmas motivációval végeztem.

Köszönettel tartozom társ-témavezetőmnek, Prof. Dr. Tóth Miklósnak állandó támogatásáért, segítségéért, valamint azért, hogy lehetőséget és irányítást biztosított számomra, hogy elmélyülhessek a sporttudomány csodálatos világában. Hálával és köszönettel tartozom Bartusné Prof. Dr. Szmodis Mártának a rengeteg segítségéért, tanácsáért, kedvességéért, és mindenek előtt a példamutatásáért, amelyeknek köszönhetően nem csak szakmailag, hanem emberileg is nagyon sokat tanultam. Köszönöm Dr. Komka Zsolt fáradhatatlan munkáját és segítőkészségét! Köszönöm Szendrei Eszternek és Patikás Attilánénak a kísérletek lebonyolításában nyújtott precíz asszisztensi munkát.

Köszönettel tartozom a Nemzetközi Oktatási Központ (NOK) két munkatársának, Dr. Farkas István dandártábornok úrnak, a központ vezetőjének, valamint Végh József klinikai szakpszichológus úrnak, akiknek a disszertációban bemutatott vizsgálat egy nagyon fontos részének kidolgozásáért, levezetéséért, valamint a kapott eredmények interpretálásában nyújtott segítségéért nagyon hálás vagyok!

Szavakkal nem kifejezhető hálával tartozom feleségemnek, Dr. Bosnyák Editnek, aki kiváló szakmai meglátásai és tanácsai mellett olyan családi háttérrel biztosított számomra, ami nélkül ez a disszertáció soha nem született volna meg. Köszönöm kislányomnak, Móra Elizának a sok mosolyt, játékot és nevetést, amely talán még a mozgásnál is jobb orvosság. Köszönöm szüleimnek és testvéremnek a támogatásukat, biztatásukat, és hogy mindig mellettem állnak!

A disszertációban foglalt munkát támogatta az Innovációs és Technológiai Minisztérium a következő pályázatokkal:

TKP2021-EGA-10

TKP2021-EGA-37

2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00245

PUBLIKÁCIÓS LISTA

Folyóiratcikkek

Móra, Á.; Komka, Zs.; Végh, J.; Farkas, I.; Kocsisné Szilágyi, Gy.; Bosnyák, E.; Szmodis, M.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; Almási, G.; Oláh, A.; Kemper, H. C. G.; Tóth, M.; Ács, P.
Comparison of the Cardiovascular Effects of Extreme Psychological and Physical Stress Tests in Male Soccer Players

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH 19: 2 Paper: 715, 12p. (2022)

MTMT azonosító: 32597665

Móra, Á.; Ács, P.; Filó, Cs.

Fizikai aktivitás és sportfogyasztási szokások Magyarországon

SPORT- ÉS EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI FÜZETEK 3: 2 pp. 24-39., 16 p. (2019)

MTMT azonosító: 30754784

Móra, Á.; Bosnyák, E.; Elek, L.; Betlehem, J.; Szmodis, M.; Ács, P.; Tóth, M.; Oláh, A.

Kézilabdázók szívfrekvencia változékonyságának alakulása eltérő edzésterhelés esetén ötnapos edzőtábor alatt - pilot study

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 1 (78) pp. S-41-S-45. (2019)

MTMT azonosító: 30550146

Csőndör, É.; Karvaly, G.; Ligetvári, R.; Kovács, K.; Komka, Zs.; **Móra, Á.**; Stromájer-Rácz, T.; Oláh, A.; Tóth, M.; Ács, P.

Adrenal, Gonadal and Peripherally Steroid Changes in Response to Extreme Physical Stress for Characterizing Load Capacity in Athletes

METABOLITES 12: 2 Paper: 91, 11 p. (2022)

MTMT azonosító: 32604172

Ligetvári, R.; Szokodi, I.; Far, G.; Csöndör, É.; **Móra, Á.**; Komka, Zs.; Tóth, M.; Oláh, A.; Ács, P.

Apelin as a Potential Regulator of Peak Athletic Performance

INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES 24: 9 Paper: 8195, 15 p. (2023)

MTMT azonosító: 33826913

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Protzner, A.; Györe, I.; **Móra, Á.**; Tóth, M.; Szmodis, M.

Associations of PPAR γ and PGC-1 α gene polymorphisms with body structure

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19: 2 (74) pp. 17-21., 5 p. (2018)

MTMT azonosító: 3379535

Guilherme, J.; Bosnyák, E.; Semenova, E.; Szmodis, M.; Griff, A.; **Móra, Á.**; Almási, G.; Trájer, E.; Udvardy, A.; Kostyukova, E.; Borisov, O.; Larin, A.; Andryushchenko, L.; Akimov, E.; Generozov, E.; Ahmetov, I.; Tóth, M.; Lancha Junior, A.

The MCT1 gene Glu490Asp polymorphism (rs1049434) is associated with endurance athlete status, lower blood lactate accumulation and higher maximum oxygen uptake

BIOLOGY OF SPORT 38: 3 pp. 465-474., 10 p. (2021)

MTMT azonosító: 31822087

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Alszászi, G.; **Móra, Á.**; Györe, I.; Udvardy, A.; Tóth, M.; Szmodis, M.

Lack of association between the GNB3 rs5443, HIF1A rs11549465 polymorphisms, physiological and functional characteristics

ANNALS OF HUMAN GENETICS 2020 Paper: ahg. 12387 (2020)

MTMT azonosító: 31319521

Almási, G.; Bosnyák, E.; **Móra, Á.**; Zsákai, A.; Fehér, P. V.; Annár, D.; Nagy, N.; Sziráki, Zs.; Kemper, H. C. G.; Szmodis, M.

Physiological and Psychological Responses to a Maximal Swimming Exercise Test in Adolescent Elite Athletes

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH 18: 17 Paper: 9270, 13 p. (2021)

MTMT azonosító: 32185818

Idézhető absztraktok

Móra, Á.; Bosnyák, E.; Elek, L.; Betlehem, J.; Szmodis, M.; Ács, P.; Tóth, M.; Oláh, A.

Eltérő edzésterhelésre adott vegetatív válasz ötnapos edzőtábor alatt - pilot study

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19: 75 pp. 67-67., 1 p. (2018)

MTMT azonosító: 3388893

Móra, Á.; Komka, Zs.; Végh, J.; Farkas, I.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; Far, G.; Almási, G.; Ács, P.; Tóth, M.; Oláh, A.

A szívfrekvencia-változékonyság és az Endothelin-1 peptid szintjének változása extrém fizikai terhelés hatására

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 21: 85 (3) pp. 72-72., 1 p. (2020)

MTMT azonosító: 31595144

Móra, Á.; Komka, Zs.; Szendrei, E.; Végh, J.; Farkas, I.; Szilágyi, Gy.; Bosnyák, E.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; Far, G.; Almási, G.; Szmodis, M.; Tóth, M.; Ács, P.; Oláh, A.

Extrém fizikai és mentális stresszre adott eltérő vegetatív válasz

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 2 (79) pp. 66-67., 2 p. (2019)

MTMT azonosító: 30741388

Móra, Á.; Komka, Zs.; Szendrei, E.; Végh, J.; Farkas, I.; Szilágyi, Gy.; Bosnyák, E.; Szmodis, M.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; Far, G.; Almási, G.; Ács, P.; Tóth, M.; Oláh, A.
Differences of autonomic nervous system regulation at physical and psychological stress
In: Heazlewood, IT Asia-Singapore Conference on Sport Science 2019 : Programme & Abstract Book
EAST ASIA RESEARCH (2019) 62 p. pp. 20-22., 3 p.
MTMT azonosító: 31154045

Móra, Á.; Bosnyák, E.; Elek, L.; Betlehem, J.; Szmodis, M.; Ács, P.; Tóth, M.; Oláh, A.
Kézilabdázók szívfrekvencia változékonyságának alakulása eltérő edzésterhelés esetén ötnapos edzőtábor alatt: pilot study
MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19: 5 (77) p. 69 (2018)
MTMT azonosító: 30379708

Móra, Á.; Tóth, M.; Oláh, A.
Antropometriai mérések első eredményei a Cserepka János Baptista Általános Iskola, Középiskola és Sportiskola testnevelés tagozatos osztályának felmért tanulói körében
In: Ladossné, Dobai J; Derdák, M; Varga, G - Morvay-Sey, K (szerk.) I. Sporttudományi Konferencia: Absztrakt kötet
Cserepka János Általános Iskola, Középiskola és Sportiskola pp. 16-16., 1 p. (2018)
MTMT azonosító: 30321817

Móra, Á.; Bosnyák, E.
A szívfrekvencia-változékonyság (HRV) adatainak értelmezése a sporttudományban
MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 17: 4 (68) pp. 72-73., 2 p. (2016)
MTMT azonosító: 3148833

Bosnyák, E.; Szmodis, M.; Griff, A.; Udvardy, A.; **Móra, Á.**; Almási, G.; Trájer, E.; Tóth, M.
Az MCT1 A1470T polimorfizmus összefüggése a vér laktát koncentrációval és a sovány testtömeggel
MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 21: 85 (3) pp. 41-41., 1 p. (2020)
MTMT azonosító: 31594537

Bosnyák, E.; Pischne Bankó, Zs.; **Móra, Á.**
Nemzetközi minősítésű kézilabda játékosok állapotának felmérése
MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 22: 3 (91) pp. 46-46., 1 p. (2021)
MTMT azonosító: 32059065

Almási, G.; Bosnyák, E.; **Móra, Á.**; Farkas, A.; Szmodis, M.
Utánpótláskorú versenyzők multidiszciplináris hosszmetzeti vizsgálata
MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 21: 5 (87) pp. 13-14., 2 p. (2020)
MTMT azonosító: 31683344

Almási, G.; Bosnyák, E.; **Móra, Á.**; Zsákai, A.; Fehér, P.; Annár, D.; Nagy, N.; Tóth, M.; Szmodis, M.

Hormonal And Heart Rate Changes To Maximal Exercise In Elite Adolescent Athletes
MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE 52(7S) pp. 1098-1098., 1 p. (2020)
MTMT azonosító: 31379298

Far, G.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; **Móra, Á.**; Tóth, M.V.; Tóth, M.; Ács, P.; Oláh, A.
Changes in plasma visfatin concentration upon extreme physical load in hungarian athletes

In: Bunc, V.; Tsolakidis, E. (szerk.) 24th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE - BOOK OF ABSTRACTS
EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE 847 p. pp. 715-715., 1 p. (2019)
MTMT azonosító: 30830710

Csőndör, É.; Karvaly, G.; Ligetvári, R.; Far, G.; **Móra, Á.**; Vásárhelyi, B.; Tóth, M.; Tóth, M.V.; Stromájer-Rácz, T.; Betlehem, J.; Ács, P.; Oláh, A.

Adrenal steroid levels, metabolic and cardiorespiratory parameters changes in response to extreme physical stress in male handball players

In: Bunc, V.; Tsolakidis, E. (szerk.) 24th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE - BOOK OF ABSTRACTS
EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE 847 p. pp. 140-141., 2 p. (2019)
MTMT azonosító: 30830653

Ligetvári, R.; Ács, P.; Far, G.; **Móra, Á.**; Csöndör, É.; Komka, Zs.; Szokodi, I.; Tóth, M.; Stromájer-Rácz, T.; Betlehem, J.; Oláh, A.

Differential Apelin Responses To Physical Stress In Elite Hungarian Athletes
MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS AND EXERCISE 52 : 5 suppl pp. S558-S558.
(2020)
MTMT azonosító: 31796985

Csőndör, É.; Ligetvári, R.; Karvaly, G.; Far, G.; **Móra, Á.**; Komka, Zs.; Vásárhelyi, B.; Tóth, M.; Tóth, M. V.; Stromájer-Rácz, T.; Betlehem, J.; Ács, P.; Oláh, A.

Circulating Steroid Changes In Response To Extreme Physical Stress In Male Athletes
MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS AND EXERCISE 52: 5 Suppl pp. S179-S180.

Paper: 938 (2020)

MTMT azonosító: 31797025

Csőndör, É.; Karvaly, G.; Ligetvári, R.; Far, G.; **Móra, Á.**; Vásárhelyi, B.; Tóth, M. V.; Tóth, M.; Stromájer-Rácz, T.; Betlehem, J.; Ács, P.; Oláh, A.

Szteroid hormonok, metabolikus és kardiorespiratorikus értékek változása fizikális stressz hatására

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 2 (79) p. 42, 1 p. (2019)

MTMT azonosító: 30738707

Far, G.; Ligetvári, R.; Csöndör, É.; **Móra, Á.**; Tóth, M. V.; Tóth, M.; Ács, P.; Oláh, A.

Examination of plasma visfatin concentration upon extreme physical and mental load in Hungarian athletes

In: Dela, F.; Müller, E.; Tsolakidis, E. (szerk.) 25th Annual Congress of the European College of Sport Science - Book of Abstracts

EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE pp. 499-500., 2 p. (2020)

MTMT azonosító: 31796948

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Protzner, A.; **Móra, Á.**; Györe, I.; Szmodis, M.; Tóth, M.

Lack of associations between GNB3 C825T and HIF1A Pro582Ser polymorphisms and physiological & functional characteristics in Hungarian athletes

In: Heazlewood, IT Asia-Singapore Conference on Sport Science 2019 : Programme & Abstract Book

EAST ASIA RESEARCH 62 p. pp. 24-25., 2 p. (2019)

MTMT azonosító: 31154052

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Protzner, A.; **Móra, Á.**; Alszászi, G.; Györe, I.; Szmodis, M.

A PPAR γ , a PGC-1 α és a HIF1 α a polimorfizmusok összefüggései testszerkezeti jellemzőkkel és a relatív aerob kapacitással

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 19 : 5 (77) p. 56 (2018)

MTMT azonosító: 30379432

Almási, G.; Zsákai, A.; Bosnyák, E.; Farkas, A.; **Móra, Á.**; Tóth, M.; Szmodis, M.

A magyar vizes sportok utánpótláskorú versenyzőinek vizsgálata

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 2 (79) p. 32 (2018)

MTMT azonosító: 30738455

Almási, G.; Bosnyák, E.; Farkas, A.; **Móra, Á.**; Tóth, M.; Szmodis, M.

Anthropometry and heart rate influence on swimming performance of adolescent athletes of water sports

In: Bunc, V.; Tsolakidis, E. (szerk.) 24th Annual Congress of the EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE - BOOK OF ABSTRACTS

EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE 847 p. p. 788 (2019)

MTMT azonosító: 31133838

Almási, G.; Zsákai, A.; Bosnyák, E.; Farkas, A.; **Móra, Á.**; Tóth, M.; Szmodis, M.

A magyar vizes sportok utánpótláskorú versenyzőinek vizsgálata

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 2 (79) p. 32, 1 p. (2019)

MTMT azonosító: 31040560

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Protzner, A.; **Móra, Á.**; Alszászi, G.; Györe, I.; Szmodis, M.; Tóth, M.

A GNB3 C825T és a HIF1A Pro582Ser gén polimorfizmusok összefüggései élettani és testszerkezeti jellemzőkkel magyar sportolóknál

MAGYAR SPORTTUDOMÁNYI SZEMLE 20: 2 (79) p. 39 (2019)

MTMT azonosító: 30738545

Bosnyák, E.; Trájer, E.; Protzner, A.; **Móra, Á.**; Alszászi, G.; Györe, I.; Szmodis, M.; Tóth, M.

A PPARG, a PGC-1 α és a HIF1 α polimorfizmusok összefüggései a testszerkezeti jellemzőkkel és a relatív aerob kapacitással

In: 2. Sport és Innováció Nemzetközi Konferencia: 2nd Sport and Innovation International Conference

pp. 45-48., 4 p. (2018)

MTMT azonosító: 3385557

7. sz. melléklet

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS BENYÚJTÁSA ÉS NYILATKOZAT A DOLGOZAT
EREDETISÉGÉRŐL**

Alulírott

név: Móra Ákos
születési név: Móra Ákos
anyja neve: Nemes Edit
születési hely, idő: Ózd, 1986. június 10.

Az extrém fizikai és pszichés stressz vegetatív szabályozásra kifejtett hatása a szívfrekvencia variabilitás (HRV) paraméterek tükrében

című doktori értekezésemet a mai napon benyújtom a(z)

Pécsi Tudományegyetem, Egészségtudományi Doktori Iskola
PR-7, S-26 Programjához/témacsoportjához

Témavezető(k) neve: Prof. Dr. Ács Pongrác, Prof. Dr. Tóth Miklós

Egyúttal nyilatkozom, hogy jelen eljárás során benyújtott doktori értekezésemet
- korábban más doktori iskolába (sem hazai, sem külföldi egyetemen) nem nyújtottam be,
- fokozatszerzési eljárásra jelentkezésemet két éven belül nem utasították el,
- az elmúlt két esztendőben nem volt sikertelen doktori eljárásom,
- öt éven belül doktori fokozatom visszavonására nem került sor,
- értekezésem önálló munka, más szellemi alkotását sajátomként nem mutattam be, az irodalmi hivatkozások egyértelműek és teljeseek, az értekezés elkészítésénél hamis vagy hamisított adatokat nem használtam.

Továbbá nyilatkozom, hogy hozzájárulok a doktori értekezésem DOI azonosító igényléséhez.

Dátum: Pécs, 2024. augusztus 30.



.....
doktorvárományos aláírása



.....
témavezető aláírása



.....
társtémavezető aláírása