

Akadémista labdarúgók terhelési változóinak vizsgálata GPS-szel, pulzusméréssel és szubjektív kérdőívekkel

Doktori értekezés

Havanecz Krisztián

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem
Sporttudományok Doktori Iskola



MAGYAR TESTNEVELÉSI
ÉS SPORTTUDOMÁNYI
EGYETEM
BUDAPEST

Témavezető: Dr. Géczi Gábor egyetemi tanár, PhD

Konzulens: Dr. Sáfár Sándor egyetemi docens, PhD

Hivatalos bírálók: Dr. habil. Szabó Tamás egyetemi magántanár, CSc

Dr. habil. Hortobágyi Tibor kutatóprofesszor, DSc

Budapest

2026

TARTALOMJEGYZÉK

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	7
1. BEVEZETÉS	10
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	13
2.1 A külső edzésterhelés definiálása és monitorozása	13
2.2 A belső edzésterhelés definiálása és monitorozása	18
2.3 A külső és a belső edzésterhelés kapcsolata	24
3. CÉLKITŰZÉSEK	32
3.1 Első vizsgálat hipotézisei	32
3.2 Második vizsgálat hipotézisei	33
4. MÓDSZEREK.....	34
4.1 Vizsgálati személyek	34
4.1.1 Első vizsgálat.....	34
4.1.2 Második vizsgálat.....	35
4.2 Vizsgálati procedúra	36
4.2.1 Első vizsgálat.....	36
4.2.2 Második vizsgálat.....	38
4.3 Vizsgálati eszközök	39
4.3.1 Az ETL mérésének módszerei.....	39
4.3.2 Az ITL mérésének módszerei.....	41
4.4 Statisztikai analízis.....	46
4.4.1 Korreláció és lineáris regresszióanalízis az első vizsgálatnál.....	46
4.4.2 Korreláció és lineáris regresszióanalízis a második vizsgálatnál	47

5.	EREDMÉNYEK.....	48
	5.1 Első vizsgálat	48
	5.1.1 U15-ös korosztály eredményei	49
	5.1.2 Az U17-es korosztály eredményei.....	54
	5.1.3 U19-es korosztály eredményei	61
	5.1.4 A három korosztály eredményeinek összehasonlítása.....	67
	5.2 Második vizsgálat.....	72
	5.2.1 Az U16-os korosztály eredményei	73
6.	MEGBESZÉLÉS.....	81
	6.1 A vizsgálatok célja és a TL-monitorozás értelmezési kerete	81
	6.2 Az ETL–ITL-kapcsolatok stabilitása edzés- és mérkőzéskörnyezetben	83
	6.3 A TDC-változó dominanciája az ITL-változók összefüggéseiben..	85
	6.4 Nagyobb intenzitású és mechanikai mutatók szerepének kontextusfüggősége és korlátai	87
	6.5 A szubjektív és objektív ITL konvergenciája és eltérései.....	88
	6.6 Limitációk.....	89
	6.6.1 Első vizsgálat.....	89
	6.6.2 Második vizsgálat.....	90
	6.6.3 Statisztikai korlátok	92
	6.7 Gyakorlati javaslatok	93
	6.7.1 Az első vizsgálat.....	94
	6.7.2 A második vizsgálat	95
7.	KÖVETKEZTETÉSEK	97
	7.1 Első vizsgálat	97
	7.1.1 H1 következtetése.....	97

7.1.2 H2 következtetése.....	97
7.1.3 H3 következtetése.....	98
7.2 Második vizsgálat.....	98
7.2.1 H4 következtetése.....	98
7.2.2 H5 következtetése.....	99
7.2.3 H6 következtetése.....	99
8. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	100
9. ÖSSZEFOGLALÁS	101
10. SUMMARY	102
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	103
12. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE	118
13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	120
14. MELLÉKLETEK	121
14.1 Kutatásetikai engedélyek.....	121
14.1.1 Első vizsgálat.....	121
14.1.2 Második vizsgálat.....	123
14.2 Tájékoztató és bejegyző nyilatkozatok	124
14.2.1 Első vizsgálat.....	124
14.2.2 Második vizsgálat.....	126
14.3 Szubjektív kérdőívek	128
14.3.1 Wellness kérdőív (WQ).....	128
14.3.2 Észlelt erőfeszítés (RPE) (Borg, 1998 alapján)	129

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A külső edzésterhelés két alterülete és az ezekben vizsgált objektív paraméterek.....	14
2. ábra: A belső edzésterhelés két alterülete és az ezekben vizsgált objektív és szubjektív paraméterek	19
3. ábra: Az s-RPE és a GPS- és IMU-alapú terhelésmutatók közötti kapcsolat U17-es korosztályú labdarúgók edzésein.....	58
4. ábra: Az RPE és az ETL-alapú terhelésmutatók közötti kapcsolat U17-es korosztályú labdarúgók edzésein	59
5. ábra: A GPS-alapú terjedelmi terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen	67
6. ábra: Az IMU-alapú terjedelmi terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen.....	68
7. ábra: A GPS-alapú intenzitási terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen.....	69
8. ábra: Az IMU-alapú intenzitási terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen.....	70
9. ábra: Az s-RPE átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen	71
10. ábra: Heti szintű elemzés az ITL- és ETL-paraméterek átlagértékeire terjed ki, és az értékelés a vizsgált változók minimum- és maximumértékeit is tartalmazza az U16-os edzések vonatkozásában.....	74
11. ábra: Heti szintű elemzés az ITL- és ETL-paraméterek átlagértékeire terjed ki, és az értékelés a vizsgált változók minimum- és maximumértékeit is tartalmazza az U16-os mérkőzések vonatkozásában.....	75
12. ábra: Az edzés közben rögzített GPS-, IMU- és HR-adatok, valamint az RPE- és s-RPE-változók közötti kapcsolatot az egyes változópárok korrelációs együtthatói írják le.....	76
13. ábra: A mérkőzés közben rögzített GPS-, HR-, valamint RPE- és s-RPE-változók közötti kapcsolatot az egyes változópárok korrelációs együtthatói írják le	77
14. ábra: A TRIMP, a HR exertion és az s-RPE ITL-mutatók közötti kapcsolat U16-os korosztályú labdarúgók edzései tekintetében.....	78
15. ábra: A TRIMP, a HR exertion és az s-RPE ITL-mutatók közötti kapcsolat U16-os korosztályú labdarúgók mérkőzései tekintetében	79
16. ábra: A TRIMP (függő változó) és TDC (prediktor) részleges regressziós grafikonja	80
17. ábra: A HR exertion (függő változó) és a TDC (prediktor) részleges regressziós grafikonja	80
18. ábra: Az ITL- és GPS-alapú változók közötti kapcsolat az U15, U17 és U19 korosztályokban az edzések és mérkőzések kombinációja szerint vizsgálva	82
19. ábra: A külső és belső edzésterhelés kapcsolatának vizsgálata	83

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A három vizsgált utánpótlás-labdárúgó korosztály edzéseinek és mérkőzéseinek időtartam adatai.....	36
2. táblázat: A GPS- és IMU-alapú ETL-változók	40
3. táblázat: A vizsgálati személyek ITL-ét leíró képletek.....	42
4. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U15-ös edzéseknél	49
5. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U15-ös mérkőzéseknél.....	50
6. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U15-ös edzések tekintetében	51
7. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U15-ös mérkőzések tekintetében.....	52
8. táblázat: Az U15-ös korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére	54
9. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U17-es edzések tekintetében.....	54
10. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U17-es mérkőzések tekintetében	56
11. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U17-es edzések tekintetében.....	57
12. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U17-es mérkőzések tekintetében	59
13. táblázat: Az U17-es korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére	61
14. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U19-es edzések tekintetében.....	61
15. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U19-es mérkőzések tekintetében	63
16. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U19-es edzések tekintetében.....	64
17. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U19-es mérkőzések tekintetében	65
18. táblázat: Az U19-es korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére	66
19. táblázat: A reziduális kovariancia-paraméterek becslése U15, U17 és U19 korcsoportos SEM-modellben.....	71
20. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése az U16-os edzések és mérkőzések tekintetében	73

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ACC (acceleration): a kiválasztott gyorsulási zónákban (alacsony, közepes, magas) megtett távolság ($a > 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

AU (arbitrary unit): tetszőleges egység

CFI (comparative fit index): komparatív illeszkedési mutató

CI (confidence interval): konfidenciaintervallum

CR (category rate): kategóriaérték

DEC (deceleration): a kiválasztott lassulási zónákban (alacsony, közepes, magas) megtett távolság ($a < -1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

dRPE: differenciált észlelt erőfeszítés/terhelés

ETL (external training load): külső edzésterhelés

eTRIMP: Edwards-féle edzésimpulzus-érték

GEE (generalized estimating equations): általánosított becslési egyenletek

GNSS (global navigation satellite system): globális navigációs műholdrendszer

GPS (global positioning system): globális helymeghatározó rendszer

HDOP (horizontal dilution of precision): vízszintes pontosság-hígulás

HR (heart rate): pulzus

HR exertion (heart rate exertion): súlyozott pulzusterhelés

HR_{max} (maximum of heart rate): maximális pulzus

HSR (high-speed running): magas intenzitású futásban megtett távolság ($19,8\text{--}25,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

ITL (internal training load): belső edzésterhelés

IMA (inertial movement analysis): inerciális mozgáselemzés

IMU (inertial measurement unit): inerciális mérőegység

MD (match day): mérkőzésnap

MSR (medium-speed running): közepes intenzitású futásban megtett távolság (14,4–19,79 km·h⁻¹)

PL (player load): az edzés teljes időtartama alatt az egyes mozgástengelyek (XYZ-tengelyek) mentén mért gyorsulásvektorok eredőjeként tetszőleges egységként fejezhető ki

RMSE (root mean square error): standard hiba négyzetes középértéke

RMSEA (root mean square error of approximation): közelítési hiba négyzetes átlaga

RPE (rate of perceived exertion): észlelt erőfeszítés/észlelt terhelés

SRMR (standardized root mean square residual): standardizált reziduális négyzetes hiba

SSGs (small-sided games): kisterületű játékok

s-RPE (session-rating of perceived exertion): észlelt terhelés az aktivitás időtartamának függvényében (RPE x aktivitás teljes időtartama)

SPR (sprint): ($v > 25,2$ km·h⁻¹)

TDC (total distance covered): teljes megtett távolság

TDU (total duration): teljes időtartam

TL (training load): edzésterhelés

TQR (total quality recovery): észlelt teljes minőségi regeneráció

TRIMP (Training Impulse): edzésimpulzus-érték

TLI (Tucker–Lewis index)

VIF (variance inflation factor): variancia infláló faktor

WQ (wellness questionnaire): észlelt jólléti kérdőív

1. BEVEZETÉS

A labdarúgás iránti érdeklődésem gyerekkorom óta meghatározó, amatőr sportolói, majd később erőnléti edzői és sportteljesítmény-elemzői tapasztalataim során pedig közvetlenül ismerkedhettem meg a sportágban alkalmazott terhelésmonitorozási eszközökkel. A szakirodalom tanulmányozása, illetőleg a gyakorlati munka során szerzett tapasztalatok rávilágítottak arra, hogy a terhelés nyomon követése és értelmezése kulcsfontosságú szerepet játszik a teljesítményoptimalizálásban, ugyanakkor a tudományban és a gyakorlatban alkalmazott módszerek sok esetben nem egységesek és eltérő mértékben támaszkodnak objektív adatokra. Mindezek vezettek ahhoz, hogy kutatási érdeklődésem középpontjába e terület vizsgálata és rendszerezése kerüljön.

A labdarúgás egy dinamikus, szakaszos terhelési jellegű csapatsportág, amelyben a változó intenzitású mozgások és a gyors hely- és helyzetváltoztatások a játék folyamatos ritmusváltásait eredményezik, ezzel jelentős és ezzel egyidőben összetett követelményeket támasztva a játékosok fizikális és mentális képességeivel szemben (Reilly, 1997).

A sportág komplexitása kihívás elé állítja az edzőket a terhelés megtervezése és szabályozása során. A játékban megjelenő ismétlődő nagy intenzitású mozgás, valamint a mentális terhelés együttes hatása miatt az edzésfolyamat strukturált irányítása elengedhetetlen a sportolók hosszú távú fejlődése szempontjából.

Az utánpótláskorú labdarúgók hosszú távú sportági bevétele nagymértékben függ az edzésterhelés nyomon követésétől és annak optimalizálásától. A sporttudományi alapokra helyezett terhelésmenedzsment hozzájárul a teljesítményfejlődéshez, a hatékony regenerációhoz és a nonkontakt sérülések megelőzéséhez. Az említett tényezők pontos és részletes ismerete megalapozza az edzésterhelési változók célzott, tudományos alapokon nyugovó optimalizálását, ezáltal lehetővé téve a különböző labdarúgókorosztályok életkori és fejlettségi sajátosságaihoz igazított edzésprogramok hatékony tervezését és megvalósítását. Az edzésterhelés két fő dimenziója –

a külső és a belső edzésterhelés – egymással szoros összefüggésben határozza meg az emberi szervezetre gyakorolt edzéshatásokat, amelyek hosszú távon edzésadaptációs folyamatokhoz vezetnek.

A külső edzésterhelés az edzésen és mérkőzésen mért objektív fizikai munka, amelyet a korszerű technológiai eszközök tesznek nyomon követhetővé. Ezek információt nyújtanak a sportoló által megtett távolságról, a sebességnázokról, gyorsulásokról, irányváltásokról és egyéb paramétereikről, lehetővé téve az edzés terjedelmének és intenzitásának precíz elemzését, értékelését. Ezzel párhuzamosan a belső edzésterhelés a szervezet fiziológiai és pszichológiai válaszait tükrözi a külső ingerre. Ennek objektív mérési eljárása a pulzusmonitorozás, amely a keringési rendszer terheléséről szolgáltat információt. Ezt kiegészíti a pszichofiziológiai oldal, amely az észlelt terhelési skálán alapuló kérdőív segítségével méri fel a sportoló belső terhelését.

A külső és belső edzésterhelési adatok integrált értékelése lehetővé teszi az egyéni differenciálás alkalmazását, a fejlődési folyamatok tudatos irányítását és a túlterhelésből adódó kockázatok minimalizálását a fizikális felkészítés folyamata során. E megközelítés a kutatásalapú, adatvezérelt edzésprogramok alapját képezi, és meghatározó szerepet játszik a sportolók hosszú távú sportági beválásában (Balyi és mtsai, 2013).

A külső és belső edzésterhelés közötti kapcsolat feltárása napjaink sporttudományos kutatásainak egyik területe, hiszen a két edzésterhelési dimenzió együttes értelmezése összetett képet adhat a fizikális és fiziológiai állapotról. A sporttudományi szakember szempontjából különös jelentőségű annak vizsgálata, hogy a különböző edzésterhelési paraméterek milyen mértékű összefüggést mutatnak a belső edzésterhelési mutatókkal, mint a pulzusalapú változók és a szubjektív megítélésű változók. Míg a felnőtt labdarúgásban már ismertek a korrelációs mintázatok, az utánpótláskorú korosztályok esetében ezek az összefüggések még egyértelműen nem tisztázottak. A természetes biológiai érés és az edzettségi különbségek következtében feltételezhető, hogy a korrelációk erőssége és iránya

korosztályonként, illetve edzések és mérkőzések között is eltérő mintázatot mutathat.

Ebből adódóan a kutatás központi célja annak meghatározása, hogy mely külső edzésterhelési változók állnak szignifikáns kapcsolatban a belső edzésterhelési mutatókkal különböző utánpótláskorú labdarúgó-korosztályok esetében. Kiemelt fontosságú annak vizsgálata is, hogy ezek a korrelációs koefficiens értékek milyen mértékben különböznek edzésen és mérkőzésen, hiszen a játékszituációk dinamikája, a versenyhelyzetből fakadó pszichés terhelés és az edzés strukturáltsága eltérő fiziológiai válaszokat válthat ki. A meghatározott eredmények hozzájárulhatnak ahhoz, hogy pontosabb képet kapjunk a fiatal labdarúgók terhelés–válasz kapcsolatáról, ami megalapozhatja az életkornak és a fejlettségi szintnek megfelelő, tudományosan alátámasztott edzésprogramok kialakítását. A korrelációs összefüggések feltérképezése így nem csak az utánpótlás-nevelés hatékonyságát, hanem a hosszú távú sportági beválást és a sérülések megelőzését is támogatja.

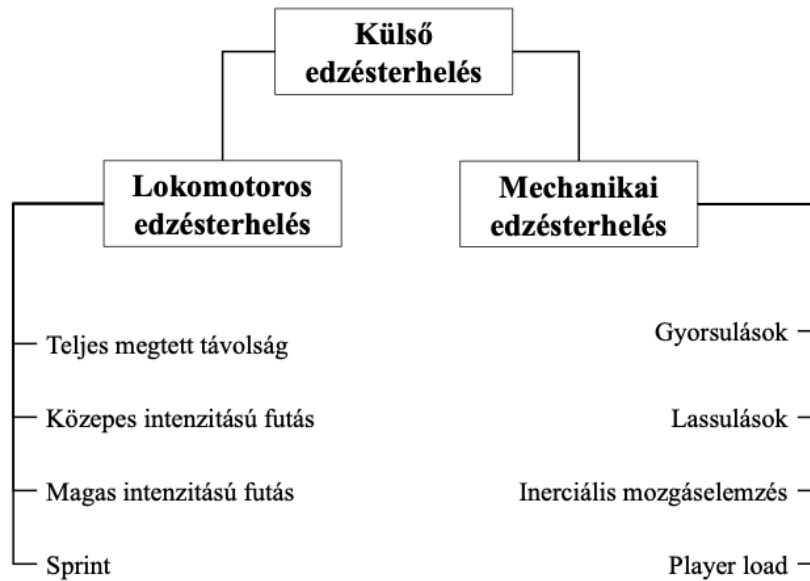
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A külső edzésterhelés definiálása és monitorozása

A labdarúgók teljesítményének optimalizálása és a sérülések megelőzése érdekében napjaink edzésmódszertanának egyik központi eleme az edzésterhelés (TL) különböző dimenzióinak módszertani szempontból elfogadott, érvényesnek és megbízhatónak tekintett monitorozása, valamint a mért változók adatainak integrált értelmezése edzések és mérkőzések során. A TL az egyént érő fiziológiai és pszichológiai stresszként írható le (Banister és mtsai, 1975), amelyet a terhelési változók, mint független változók befolyásolásával alkalmazunk az edzésadaptáció elérése céljából (Impellizzeri és mtsai, 2019). Az TL-t két fő komponensre lehet bontani (Jaspers és mtsai, 2017): a külső edzésterhelésre (ETL) és a belső edzésterhelésre (ITL) (Varley és mtsai, 2012).

Az ETL a sportoló által elvégzett fizikai munkát jelenti, amely objektív módszerekkel, különböző szenzortechnológiák segítségével mérhetővé válik a sportpályán (Impellizzeri és mtsai, 2019), amelyet gyakran mozgásalapú változókkal, például futási sebességzónákkal, gyorsításokkal és lassításokkal jellemeznek (Halson, 2014; Gabbett, 2016). Oliveira és mtsai (2025) alapján az ETL két további kategóriára bontható fel: lokomotoros edzésterhelésre (LTL) és mechanikai edzésterhelésre (MTL).

Az LTL a keringési és anyagcsererendszer igénybevételéhez köthető, és a sportoló helyváltoztató mozgásait írja le (pl. megtett távolság, különböző sebességzónákban megtett távolság) (Martín-García és mtsai, 2020). Ezzel szemben az MTL elsősorban az ideg-izomrendszerre ható (1. ábra), a különböző elmozdulásokat, gyorsulásokat, lassulásokat is magába foglaló helyzetváltoztató mozgásokat jellemzi (Martín-García és mtsai, 2020).



1. ábra: A külső edzésterhelés két alterülete és az ezekben vizsgált objektív paraméterek

Labdarúgásban az ETL monitorozásához érvényes és megbízható mérésrendszereket alkalmaznak, amelyek képesek a sportolók terhelésének objektív rögzítésére (Boyd és mtsai, 2011). A szakirodalom ugyanakkor hangsúlyozza, hogy az egyes mérőeszközök és TL-mutatók megbízhatósága és érvényessége, végsősoron mérési pontossága eszköz-, helyzet- és paraméterfüggő, ezért a választott technológia teljesítményének folyamatos ellenőrzése elengedhetetlen (Malone és mtsai, 2017).

A modern teljesítménymutató rendszerek többsége globális navigációs műholdrendszerekre (GNSS) épül, amelyek közül a globális helymeghatározó rendszer (GPS) terjedt el a labdarúgásban (Wehbe és mtsai, 2014; Akenhead & Nassis, 2016). A „GPS” ugyan ernyőfogalomként használatos a tudományos és gyakorlati környezetben, noha a készülékek valójában többféle szenzorral integrált multiszenzoros platformot jelentenek, nem csupán helymeghatározó egységet. A GNSS/GPS-jeladó egy erre a célra kialakított, jellemzően a gyártó által biztosított sportmellényben helyezhető el, amelyet a játékosok edzéseken és mérkőzéseken egyaránt viselhetnek.

A GPS-technológia napjaink labdarúgásában az ETL kvantifikálásának és monitorozásának standard eszközeként vált elfogadottá (Cummins és mtsai,

2013), és segítségével nagy pontossággal mérhetők a sportolók helyváltoztató mozgásai, mint a különböző sebességzónákban megtett távolságok (Halson, 2014; Gabbett, 2016).

A legtöbb GPS-technológiai jeladót úgynevezett inerciális mérőegységek (IMU-k) egészítik ki (Roell és mtsai, 2019). Ezek a szenzorok triaxiális gyorsulásmérőt, giroszkópot és magnetométert tartalmaznak, amelyek nagy mintavételi frekvenciával képesek rögzíteni a játékosok mikromozgásait, vagyis a mechanikai edzésterhelési változókat (Chambers és mtsai, 2015). Az IMU-alapú mérések lehetővé teszik többek között a gyorsulások, lassulások, irányváltások, felugrások, vetődések, ütközések, valamint ezek irányának és intenzitásának pontos meghatározását (Aroganam és mtsai, 2019).

A GNSS/GPS/IMU-technológiák érvényessége és megbízhatósága nagymértékben függ az eszköz mintavételi frekvenciájától, a gyorsulások és különböző intenzitású futások detektálására alkalmazott algoritmusoktól, valamint a környezeti feltételektől (pl. műfüves pálya, fedett létesítmény, szabadtér). Varley és munkatársai (2012) rámutattak arra, hogy a különböző eszközök, beállítások és gyártói algoritmusok rendszerszintű eltéréseket eredményezhetnek, amelyek megnehezítik a változók összehasonlítását, amennyiben nem azonos típusú és konfigurációjú eszközöket alkalmaznak (Varley és mtsai, 2012).

További kihívást jelent az ETL monitorozása szempontjából, hogy mely GPS/IMU-alapú változók tekinthetők releváns mutatóknak labdarúgásban. A tudományos bizonyítékok alapján az alábbi terhelési paraméterek monitorozása javasolt labdarúgásban: teljes megtett távolság (TDC), a magas intenzitású futással megtett távolság (HSR), a sprinttávolság (SPR), a gyorsulások száma (ACC), a lassulások száma (DEC) és a player load (összesített gyorsulási mutató XYZ-tengelyeken, és tetszőleges egységként kifejezve, PL) (Akenhead és mtsai, 2016; Varley és mtsai, 2017; Malone és mtsai, 2019; Ravé és mtsai, 2020; Prudholme és mtsai, 2023, Oliva-Lozano és mtsai, 2023). Megjegyzendő, hogy ezek az ETL-paraméterek jól jellemzik a játékosok külső terhelését, ugyanakkor, mindegyik kategórián belül

lehetőség nyílik további differenciálásra (pl. különböző sebességzónák, gyorsulási küszöbök, intenzitási zónák alkalmazásával).

A jelenlegi kutatási irányok és publikációs elvárások alapján a terjedelmi és az intenzitásalapú mutatók együttes vizsgálata vált szükségessé, mivel ezek együttesen adnak átfogó és pontos képet a játékosok külső edzésterheléséről (Marynowicz és mtsai, 2020; Havanecz és mtsai, 2025a).

Az LTL- és MTL-változók nem csupán mennyiségi terhelési mutatóként értelmezhetők, hanem szoros kapcsolatban állnak a futballspecifikus fiziológiai követelményekkel is. A TDC és az egyes sebességtartományokban végzett futások – különösen a HSR és a SPR – a játékosok aerob és anaerob kapacitásának közvetett indikátorai, mivel az ezekben a zónákban eltöltött idő és megtett táv jelentős metabolikus stresszt és energiatermelési igényt generál (Buchheit & Simpson, 2017). A labdarúgók által végrehajtott nagy intenzitású futások és sprintakciók gyakorisága és összterjedelme a mérkőzésterhelés egyik meghatározó komponense, amely jelentős mértékben eltér a különböző játékosok és az alkalmazott játékrendszerek között, ezáltal befolyásolva a játékosok versenyszerhelését és teljesítményprofilját (Hader és mtsai, 2019). A HSR- és SPR-mutatók ráadásul szoros összefüggést mutatnak a játék intenzitásával, a támadó és védekező akciók sikerességével, valamint az ismételt, nagy intenzitású terhelések tolerálásával (Rampinini és mtsai, 2007).

Az MTL-mutatók, mint az ACC és DEC, az ideg-izomrendszerre ható neuromuszkuláris igénybevételt tükrözik. Ezek a mozgások kinematikai szempontból megterhelőbbek, mint az egyenletes sebességű futások, mivel magasabb erő- és teljesítményleadással járnak együtt (Vanrenterghem és mtsai, 2017), vagyis minden intenzitásfüggő. A gyorsulások és lassulások mennyisége és intenzitása emellett szoros kapcsolatban áll a fáradási folyamatokkal, a sérülések bekövetkezésének kockázatával és az izomban a mikrosérüléseket kiváltó mechanikai stresszel (Greig & Siegler, 2009). A mérkőzésterhelés utáni neuromuszkuláris fáradás tekintetében több kutatás is bizonyította, hogy az ACC- és DEC-akciók, valamint a HSR megnövekedett mennyisége szoros összefüggésben áll a teljesítménycsökkenéssel és a

fáradás markereivel (Akyildiz és mtsai, 2022). Mindezek miatt az ACC- és DEC-mutatók kiemelt szerepet játszanak a terhelésmenedzsmentben, mivel a neuromuszkuláris fáradás és regeneráció kulcskomponenseiként szolgálnak (Thorpe és mtsai, 2015).

Miközben a TDC a legelterjedtebb terjedelmi paraméter a labdarúgók ETL-nek leírására, önmagában nem képes megragadni a játékosokra ható edzés- vagy mérkőzésintenzitás sajátosságait (Buchheit & Simpson, 2017). Két játékos azonos TDC-t érhet el teljesen eltérő metabolikus és mechanikai terhelési profillal, attól függően, hogy a táv mekkora hányadát teszik ki a HSR-, SPR-, illetve az ACC- és DEC-akciók (Buchheit & Simpson, 2017; Weaving és mtsai, 2014). A TDC tehát csak a "mennyiségre" utal, miközben a teljesítmény szempontjából a nagy intenzitású, robbanékony mozgások sokkal jelentősebb információkat szolgáltatnak a TL-ről (Delaney és mtsai, 2017; Hader és mtsai, 2019).

Hasonlóképpen, az intenzitásalapú mutatók önmagukban nem elégedők, mivel figyelmen kívül hagyják a TL teljes terjedelmét. Egy játékos rövid időt tölthet magas sebességzónában vagy sok nagy gyorsulási akciót produkálhat, ám, ha a terjedelmi komponens kicsi, a valódi terhelési inger elmaradhat (Gabbett, 2016). A szakirodalom ezért hangsúlyozza, hogy az ETL megbízható értelmezéséhez a terjedelmi és intenzitási paraméterek együttes vizsgálata szükséges, mivel ezek egymást kiegészítve szolgáltatnak teljesebb képet a sportolók fiziológiai, biomechanikai és neuromuszkuláris igénybevételéről (Impellizzeri és mtsai, 2019; Akyildiz és mtsai, 2022; Marqués-Jiménez és mtsai, 2022).

Az utánpótláskorú labdarúgók TL-re adott válaszait jelentős mértékben befolyásolja az életkorral és biológiai éréssel járó ideg-izomrendszeri fejlődés, valamint a mozgásgazdaságosság javulása, amelyek a terhelési mintázatok korosztályonkénti eltéréseihez vezethetnek (Lloyd & Oliver, 2012). Számos vizsgálat kimutatta, hogy a nagyobb korosztályok (U17–U19) nagyobb ETL-t produkálnak mind edzésen, mind mérkőzésen, amely különösen a HSR, az SPR, valamint az ACC és DEC növekedésében érhető tetten (Harley és mtsai, 2011; Palucci Vieira és mtsai, 2019). A biológiai

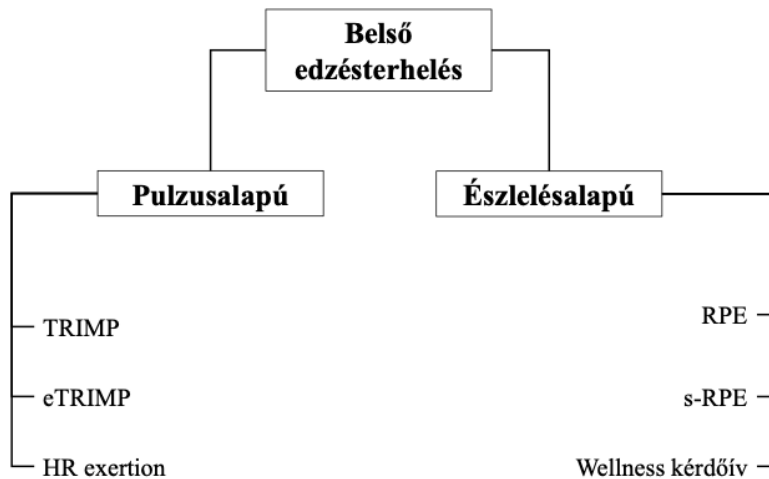
érettség előrehaladásával nő a sportolók ereje, a maximális futási sebességük, valamint a neuromuszkuláris kontroll szintje, ami lehetővé teszi a nagyobb mechanikai és metabolikus terhelés tolerálását (Towlson és mtsai, 2017). Mindezek eredményeként az idősebb korosztályú, utánpótlás-labdarúgók jellemzően nagyobb HSR-, SPR-, ACC- és DEC-volumen mutatnak, illetve intenzívebb aktivitási profilokkal rendelkeznek, mint a fiatalabb korcsoportban lévők.

Amíg az U15-ös játékosok terhelése nagyobb arányban alacsonyabb sebességzónákban végrehajtott futásokból tevődik össze, addig az U17–U19-es korosztályok esetében a terhelést elsősorban a nagy intenzitású futások, valamint a gyakoribb gyorsulási és lassulási ingerek határozzák meg (Roescher és mtsai, 2010). Az idősebb korosztályokban a játék intenzitása és ritmusa is jelentősen felgyorsul, ami a labdabirtoklás arányosságától, a taktikai követelményektől és a posztspecifikus futóteljesítmények változásából és további kontextuális tényezőkből ered (Kádár és mtsai, 2023). Az U19 korosztályban mért sprinttávolság, a magas intenzitású futási táv, valamint a gyorsulási és lassulási akciószámok gyakran eléri vagy meghaladják a felnőtt, profi játékosokra jellemző szinteket (Gabbett, 2016; Palucci Vieira és mtsai, 2019).

A mért adatokból feltételezhető, hogy a terhelés növekedése nem lineáris, hanem ugrásszerű a serdülőkortól kezdve, ezért a korosztályos ETL-ek differenciált értelmezése elengedhetetlen az utánpótlás-labdarúgásban.

2.2 A belső edzésterhelés definiálása és monitorozása

Az ITL a TL azon komponense, amely az ETL-re adott egyéni válaszreakciókat foglalja magában. A 2. ábrán látható, hogy az ITL a sportoló fiziológiai, hormonális, kardiovaszkuláris, neuromuszkuláris és pszichés rendszereinek integrált válaszát tükrözi az adott terhelésre (Impellizzeri és mtsai, 2019; Halson, 2014).



2. ábra: A belső edzésterhelés két alterülete és az ezekben vizsgált objektív és szubjektív paraméterek

Az ITL meghatározásának alapjai az 1950-es évekre nyúlnak vissza Selye János stressz-adaptáció modelljéhez, amely szerint minden külső inger (stresszor) egy belső válaszreakciót vált ki, amely adaptációhoz vagy maladaptációhoz (negatív alkalmazkodás) vezethet (Selye, 1950). A modell szerint nem a külső stresszor, hanem a belső terhelés nagysága határozza ezt meg (Borresen & Lambert, 2009). Ebben az értelmezési kontextusban az edzésprogram célja tehát az ITL olyan mértékű és időbeli eloszlású kialakítása, amely az edzésadaptációs folyamatokat támogatja, miközben minimalizálja a maladaptáció kockázatát (Meeusen és mtsai, 2013).

Az ITL nyomon követése kiemelt jelentőségű az edzésadaptációk, a fáradtság felhalmozódása, a túledzettség kialakulása, valamint a sérüléskockázat vizsgálatában (Gabbett, 2016). Ennek megfelelően az ITL monitorozása lehetővé teszi a terhelés-pihenés egyensúlyának egyéni szintű szabályozását. Bár az ITL és a sérüléskockázat közötti kapcsolat még nem teljesen tisztázott, különösen utánpótláskorú sportolók esetében, a legtöbb kutatás arra utal, hogy a fokozatos, kontrollált terhelésnövelés alacsonyabb sérüléskockázattal jár (Bowen és mtsai, 2017; Maupin és mtsai, 2020).

Az ITL egyik legfontosabb jellemzője az individualizáció. A labdarúgás fizikai követelményei alapján intermittáló terhelési jellegű, és a gyakori irányváltások következtében az azonos külső terhelés mellett is jelentős

egyéni eltérések mutatkozhatnak a sportolók belső terhelési válaszaiban, ezért az ITL monitorozása kiemelt jelentőségű. Az ITL értékelése minden esetben mérésalapú módon, az adott sportoló saját bázisértékeihez és korábbi átlagaihoz viszonyítva történik, figyelembe véve az aktuális edzésadaptációs szintet. Ennek megfelelően ugyanazon ETL eltérő ITL-választ válthat ki, amelyet számos tényező befolyásolhat, többek között a sportoló fizikai és pszichés állapota, valamint az alvás és a táplálkozás (Buchheit, 2014).

A pulzus (HR) egyénspecifikus, ugyanakkor objektíven mérhető mutatója az ITL-nek (Eniseler, 2005). A HR megbízható és érvényes visszajelzést nyújt a sportolók fiziológiai válaszaikról (Little & Williams, 2006) mind edzés-, mind mérkőzéskörnyezetben (Bangsbo és mtsai, 2006). A pulzusalapú mérés a kardiovaszkuláris rendszer igénybevételén és az edzésintenzitás változásán keresztül közvetett információt szolgáltat az aerob és anaerob anyagcsere-folyamatok relatív hozzájárulásáról (Achten & Jeukendrup, 2003). Ugyanakkor a HR-alapú monitorozás érzékenysége korlátozott lehet az intervall jellegű, rövid idejű, nagy intenzitású terhelések esetében, amelyek a labdarúgásban gyakran előfordulnak (Buchheit & Laursen, 2013). Ezzel összefüggésben meg kell jegyezni, hogy az utánpótláskorú labdarúgók esetében a szív élettani fejlődése és további érési jellemzői még nem lezárult folyamatok, ami megnehezíti a belső terhelés pontos meghatározását (Henderson és mtsai, 2015). A HR értelmezése így a gyerekeknél nem csupán a fizikai terheléstől, hanem a biológiai érés állapotától és az egyéni adaptációs különbségektől is függ.

A HR méréséhez hordható technológiai eszközök használata szükséges (Askow és mtsai, 2021), amelyek segítségével rögzíteni lehet a pulzus változását, ezáltal nyomon követhető lesz a belső terhelés. Labdarúgásban a HR monitorozására noninvazív módszereket alkalmaznak (Dellal és mtsai, 2012). A labdarúgás sajátosságai miatt a fotopletizmográfias elven működő okoseszközök (pl. okosórák) alkalmazása nem megengedett, mivel ezek a testi kontaktus miatt kockázatot jelentenek a játékosokra nézve. Ehelyett az elektrokardiográfias (EKG-alapú) elven működő mellkaspánt-érzékelőket alkalmazzák, amelyek pontosabb és megbízhatóbb adatokat szolgáltatnak a

HR-ről (Bangsbo és mtsai, 2006). Fontos megjegyezni azt, hogy van lehetőség a már említett GPS-technológiába integrált pulzusmérésre számos jeladó tekintetében (jelen kutatások alkalmával használt eszköz tekintetében is), mindazonáltal nem feltétlen rögzít pontos adatokat, mert a sportmellények belsejében lévő elektródok nem tapadnak rá az emberi testre, független a felszerelés méretétől (Havanecz és mtsai, 2020; Géczi és mtsai, 2022). A gyakorlatban ezért pulzusmérő öveket használnak, amelyek lehetővé teszik a pulzusadatok pontos rögzítését, és jellemzően mellkason hordhatók (Impellizzeri és mtsai, 2004; Bangsbo és mtsai, 2006), de léteznek eszközök, amelyeket csuklóra, felkarra vagy bokára helyeznek fel. A telemetriás eszközök az ITL pillanatnyi értékelése mellett a strukturált edzésprogram általi, hosszú távú edzésadaptáció optimalizálását is lehetővé teszik, különös tekintettel a fiatal labdarúgók fejlődési sajátosságaira.

A HR-alapú ITL-monitorozás során többféle változó alkalmazható a labdarúgásban, úgy, mint az átlagpulzus, a maximális pulzus, valamint az egyéni HR_{max}-hoz viszonyított pulzuszónákban eltöltött időtartam (Impellizzeri és mtsai, 2004). A pulzuszóna-alapú megközelítés lehetővé teszi a terhelés intenzitás szerinti differenciált értékelését (Bangsbo és mtsai, 2006), ugyanakkor a pulzuszónák meghatározása jelentős módszertani különbségeket, és ezzel együtt kihívásokat rejt (Achten & Jeukendrup, 2003), különösen az utánpótláskorú sportolókra vonatkoztatva. A HR_{max} meghatározása gyermek- és serdülőkorban a biológiai érés, valamint az autonóm idegrendszeri szabályozás változékonysága miatt bizonytalanságot hordozhat, ami befolyásolhatja az ITL értelmezését (Buchheit, 2014).

Az ITL vizsgálatának további aspektusát a szervezet élettani és biokémiai válaszainak elemzése jelenti, amely elsősorban kontrollált körülmények között, laboratóriumi mérések vagy standardizált pályatesztek során valósítható meg. Az olyan mutatók, mint a vérlaktát-koncentráció, a hormonális szekréció (pl. tesztoszteron és kortizol hormonok), valamint az izomkárosodást jelző biokémiai markerek (pl. kreatin kináz) részletes információt szolgáltathatnak a terhelés akut hatásairól és az edzésadaptáció folyamatáról (Brancaccio és mtsai, 2007; Faude és mtsai, 2009; Meeusen és

mtsai, 2013). Mindazonáltal a módszerek gyakorlati alkalmazása korlátozott, mivel invazívak, idő- és eszközigényesek – nem mellékesen szakember jelenléte szükséges –, így a mindennapi edzésmonitorozásban ritkán, mérkőzés kontextusban egyáltalán nem alkalmazhatók. Ezeket elsősorban szezonális állóképességi felmérések során alkalmazzák (Meeusen és mtsai, 2013; Halson, 2014).

A TL-lel összefüggésben a szubjektív kérdőívek alkalmazása (Rodríguez-Marroyo & Antoñan, 2015; Connolly és mtsai, 2024) átfogó betekintést nyújt az észlelt belső terhelésbe. Használják többek között az észlelt erőfeszítést/terhelést (RPE), amely a belső terhelés becslésének egyik legszélesebb körben alkalmazott módszere (Borg, 1982), és intenzitás mutató. Az edzés vagy mérkőzés befejezését követően a sportoló egy numerikus skálán, leggyakrabban a Borg CR10-skálán (kategóriaarány) értékeli az adott aktivitás után észlelt erőfeszítését. Az RPE különösen előnyös abból a szempontból, hogy integrált kezeli a fiziológiai, neuromuszkuláris és pszichés tényezőket (Borg, 1998), és amelyek együttesen határozzák meg a belső terhelés nagyságát, gyakorlatilag egy aktivitás intenzitását. Korábbi kutatások úgy találták, hogy az RPE-mutató jól korrelál a fiziológiai mutatókkal, például a pulzussal, a laktátszinttel és az oxigénfelvétellel (Borg és mtsai, 1987; Foster és mtsai, 2001). A szakirodalom alapján az RPE-módszer alkalmazása az utánpótláskorú labdarúgók körében is egyre elterjedtebb, és több tanulmány is igazolja annak használhatóságát az ITL monitorozásában (Marynowicz és mtsai, 2020; de Dios-Álvarez és mtsai, 2023; Havanecz és mtsai, 2025ab). A korosztályos fiziológiai és pszichológiai jellemzők, valamint az egyéni fejlődési ütemek jelentős eltéréseket mutathatnak (Gabbett, 2016). Vagyis, a fiatal sportolóknál az RPE-változónál nagyobb egyéni variabilitás tapasztalható (Haddad és mtsai, 2017; Towlson és mtsai, 2023).

Az RPE-értéket az aktivitás időtartamával megszorozva kapjuk meg az úgynevezett aktivitás-RPE-t (session-RPE, s-RPE) (Foster és mtsai, 2001), és terjedelmi mutató. Korábban számos tanulmány igazolta, hogy az s-RPE megbízhatóan tükrözi az ITL-t különböző sportágakban, többek között

labdarúgásban (Alexiou & Coutts, 2008; Casamichana és mtsai, 2013). Ez az egyszerű, mégis megbízható módszer jól korrelál a fiziológiai terhelésmutatókkal, például a HR-rel vagy a laktátszinttel (Impellizzeri és mtsai, 2004). Az RPE és s-RPE együttes használatának előnye, hogy költséghatékonyak, könnyen alkalmazhatók, illetőleg tudományosan validáltak (Wallace és mtsai, 2009). Foster és munkatársainak (2001) kutatása szerint az RPE és az s-RPE nagyon erős korrelációt mutat számos, további objektív belső terhelési mutatóval, többek között az edzésimpulzus-értékkel (TRIMP) (Foster és mtsai, 2001), amely ugyanúgy ITL-változó, csak pulzusalapon.

További kutatások szerint a HR-alapú és az s-RPE ITL-mérések hatékonyan alkalmazhatók mind felnőtt, mind utánpótláskorú labdarúgóknál (Marynowicz és mtsai, 2020; de Dios-Álvarez és mtsai, 2023; Havanecz és mtsai, 2025ab). U15–U19-es labdarúgó-korosztályokban végzett vizsgálatok rámutattak arra, hogy az ITL-értékek bizonyos mértékben összefüggést mutatnak olyan wellness mutatókkal, mint az észlelt fáradtság és izomláz (de Dios-Álvarez és mtsai, 2023; Havanecz és mtsai, 2025a).

Fontos megjegyezni, hogy az RPE-értékek nem kizárólag a fizikai terhelést tükrözik, hanem számos pszichológiai és környezeti tényező is befolyásolhatja őket, például a játékos motivációja és hangulati állapota, az edző-sportoló közötti kapcsolat, valamint a mérkőzés kontextusa (pl. bajnoki vagy barátságos mérkőzés). Különösen utánpótláskorban figyelhető meg nagyobb egyéni variabilitás az RPE-skálák használata során, ami az életkori sajátosságokból és a kognitív érettség eltérő szintjéből fakadhat (Haddad és mtsai, 2017; Towlson és mtsai, 2023).

A rendelkezésre álló szakirodalom alapján megállapítható, hogy sem a pulzusalapú, sem az RPE-alapú módszerek nem tekinthetők önmagukban, kizárólag azokra hagyatkozva „gold standardnak” az ITL meghatározásában. Ennek megfelelően a modern edzésmonitorozási megközelítések integrált alkalmazást javasolnak, amelyben az objektív és szubjektív mutatók együttes értékelése pontosabb képet nyújt a sportolók terhelésre adott egyéni válaszairól (Saw és mtsai, 2016; Bourdon és mtsai, 2017; Havanecz és mtsai,

2025ab). Ez a kombinált megközelítés különösen releváns utánpótláskorú labdarúgók esetében, ahol a biológiai érés és az edzésadaptációs folyamatok egyéni eltérései fokozott figyelmet igényelnek.

2.3 A külső és a belső edzésterhelés kapcsolata

Az utóbbi években a GPS és a terhelést észlelő szubjektív módszerek együttes alkalmazása egyre nagyobb figyelmet kapott mind a fiatal (Marynowicz és mtsai, 2020; Maughan és mtsai, 2021; de Dios-Álvarez és mtsai, 2023), mind pedig a felnőtt populációkban (Campos-Vázquez és mtsai, 2015; Rago és mtsai, 2019). Az ETL és az ITL közötti kapcsolat kiemelt kutatási terület a labdarúgásban, mivel a játékosok mechanikai és metabolikus terhelése nem mindig tükröződik azonos mértékben a belső élettani válaszokban. A tudományos eredmények alapján a két terheléstípus között általában közepes–erős kapcsolat figyelhető meg, különösen a terjedelmi (pl. TDC) és intenzív (pl. HSR, SPR) paraméterek, valamint az RPE-, s-RPE- és a pulzusalapú mutatók között (Scott és mtsai, 2013; Weaving és mtsai, 2014). Ugyanakkor ez a kapcsolat nem lineáris, korosztályonként eltérő lehet. Az ETL növekedése – különböző életkorokban, játékososztokon és edzőkörnyezetben – eltérő ITL-reakciókat válthat ki, ami jelzi az élettani és perceptuális (észlelési) rendszerek fejlődésének korosztályos különbségeit.

Az edzésprogramok hosszú távú periodizációja megköveteli a TL folyamatos és szisztematikus monitorozását, annak érdekében, hogy az edzésadaptációs folyamatok optimálisan alakuljanak, miközben elkerülhető legyen a krónikus fáradtság, a túledzés és a teljesítménycsökkenés. A szakirodalom hangsúlyozza, hogy az utánpótláskorú játékosok esetében – különösen a biológiai érés gyors és egyéni, variábilis testi változásai miatt – a terhelésmonitorozás összetettebb feladat, és életkorhoz és érési státuszhoz igazított megoldásokat igényel (Akenhead & Nassis, 2016, Impellizzeri és mtsai, 2019, Havanecz és mtsai, 2025b).

Több utánpótlás-labdarúgó mintán végzett vizsgálat alapján az RPE/s-RPE és a GPS-alapú ETL mutatók (pl. teljes megtett távolság, magas intenzitású futás, gyorsulások és lassulások) közötti kapcsolatok korosztályonként eltérő

erősségűek, és a fiatalabb serdülőknél gyengébbek vagy nagyobb variabilitást mutatnak, míg idősebb korosztályokban ezek a kapcsolatok következetesebbé válhatnak (Gros Lambert & Mahon, 2006; Teixeira és mtsai, 2022). Emellett edzések során az RPE és s-RPE alakulását különösen a magas intenzitású futások, valamint a gyorsulás- és lassulásalapú terhelésmutatók magyarázzák (Marynowicz és mtsai, 2020). A fiatalabb korosztályokban megfigyelhető gyengébb vagy inkonzisztensebb kapcsolatok háttérben feltételezhetően az észlelt erőfeszítés értékelésének életkorral összefüggő perceptuális és kognitív sajátosságai állnak, mivel a serdülőknél az s-RPE és a fiziológiai terhelésválasz közötti kapcsolat általában kevésbé stabil és érzékenyebb a kontextuális tényezőkre (Gros Lambert & Mahon, 2006).

Ezzel összhangban az ITL és ETL közötti kapcsolat jellemzően közepes erősségű korrelációt mutat, ami arra utal, hogy a külső terhelésmutatók önmagukban nem képesek a belső terhelés pontos előrejelzésére, különösen fiatalabb korosztályok esetében (Bartlett és mtsai, 2017).

Casamichana és munkatársai (2013) spanyol labdarúgókon végzett vizsgálatukban szoros összefüggést mutattak ki az RPE- és az ETL-mutatók között, különösen a teljes megtett távolság és a gyorsulási változók vonatkozásában (Casamichana és mtsai, 2013). Hasonló eredményeket mutattak ki Impellizzeri és munkatársai (2004) is, és úgy találták, hogy az s-RPE jól tükrözi a heti TL változásait, és alkalmas az edzésintenzitás nyomon követésére elit labdarúgók körében (Impellizzeri és mtsai, 2004).

Tan és munkatársai (2025) vizsgálatukban azt elemezték, hogy az RPE milyen belső (pulzusalapú) és külső (GPS-alapú) terhelési változók hatására reagál különböző labdarúgó edzésfeladatok során. 46 főt vizsgáltak, két U17-es labdarúgó akadémiáról, két héten keresztül. Eredményeik szerint az RPE- és az ETL-mutatók közötti összefüggések feladatspecifikusak voltak, vagyis a folyamatos, nagy terjedelmű gyakorlatok esetében az RPE szorosabban kapcsolódott a pulzusalapú mutatókhoz, míg a kisjátékok és az intervall feladatok során az RPE-t inkább az intenzív és mechanikai jellegű változók (pl. magas intenzitású futások, gyorsítások) magyarázták. A korrelációs és regressziós elemzések alapján az ITL- és ETL-változók együttesen

mérsékelt-jó magyarázatot mutattak az RPE variációjára (jellemzően $R^2=0,30-0,60$, edzésfeladattól függően). A vizsgálatok összességében azt jelzik, hogy ugyanazon edzésintenzitás eltérő észlelt erőfeszítést eredményezhet a gyakorlat struktúrájától függően (Tan és mtsai, 2025).

Marynowicz és munkatársai (2020) vizsgálatukban azt elemezték, hogy az ETL-mutatók közül melyek gyakorolják a legnagyobb hatást az RPE/s-RPE-re, valamint milyen összefüggések vannak azok között utánpótláskorú labdarúgók edzései során. A 18 hetes versenydőszak alatt 18 játékostól összesen 804 edzésmegfigyelést gyűjtöttek, amelynek terjedelme lehetővé tette az egyéni belüli összefüggések részletes elemzését. Eredményeik alapján az s-RPE- és az ETL-mutatók között mérsékelttől egészen a nagyon erős terjedelmű, szignifikáns egyéni belüli korrelációk voltak kimutathatók ($r=0,36-0,76$), különösen a terjedelmi változók esetében. Nagy erősségű, pozitív összefüggést találtak a teljes megtett távolság ($r=0,70$), a player load ($r=0,64$), valamint a gyorsulások száma ($r=0,62$) és az s-RPE között (minden esetben $p<0,001$). Ezzel szemben az RPE és az intenzitási paraméterek közötti kapcsolatok jellemzően gyengébbek, de szignifikánsak voltak ($r=0,16-0,39$), és csupán a percnkénti magas intenzitású futási változó mutatott mérsékelt kapcsolatot ($r=0,39$; $p<0,001$). Az általánosított becslési egyenleteken (GEE) alapuló modellezés tovább erősítette ezeket a megállapításait; míg az RPE-t elsősorban a percnkénti magas intenzitású futás és a percnkénti lassítás változói magyarázták, addig az s-RPE modelljében a player load, a magas intenzitású futás és a gyorsulási változók játszottak meghatározó szerepet. A szerzők következtetése szerint az RPE önmagában nem tükrözi megbízhatóan az edzésintenzitást, míg az s-RPE hatékony, egyszerű és költséghatékony eszközt jelent a TL monitorozására (Marynowicz és mtsai, 2020).

Maughan és munkatársai (2021) egy 46 hetes, longitudinális vizsgálatban 20 elit utánpótláskorú labdarúgót monitoroztak, összesen 3324 edzés és mérkőzés adatrögzítéssel. A kutatás célja az volt, hogy feltárják az RPE- és a GPS-alapú változók közötti kapcsolatot. Az ITL-változóknál a differenciált-RPE (dRPE) volt alkalmazva, amely a globálisan alkalmazott RPE-ből,

valamint a légszomjra és a lábizom észlelt terhelésére adott értékelésekből állt össze. Az ismételt méréseken alapuló korrelációk szerint a dRPE jelentős pozitív összefüggést mutatott a terjedelmi ETL-változókkal ($r=0,44-0,99$; $p<0,001$). A vizsgálat két főkomponenst azonosított, amelyek együtt az adatok 83,3%-át magyarázták, ahol az első komponens 72,9%-os varianciát mutatott mind az objektív, mind a szubjektív változók tekintetében, míg a második komponens ennél sokkal alacsonyabb varianciát jelzett (~10,4%). Összességében a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a dRPE nagymértékben korrelál a GPS-alapú terjedelmi változókkal, mint például a teljes megtett távolsággal és a player loaddal (Maughan és mtsai, 2021).

Egy hasonló kutatást végző csoport – Maughan és munkatársai (2022) – vizsgálatukban szintén az ETL-mutatók, valamint az RPE és s-RPE közötti korrelációkat nézték utánpótláskorú labdarúgóknál. A kutatást három szakaszra osztották, mint a felkészülési időszakra, és első és második versenyzidőszakra, így összességében a felosztás egy makrociklust jelentett a teljes szezon (Bompa & Buzzichelli, 2019 alapján). A szerzők eredményei szerint az s-RPE mérsékelt–erős korrelációt mutatott több ETL-változóval, mint a teljes megtett távolsággal, a player loaddal és az alacsony intenzitású futással, mindhárom vizsgált időszakban. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy míg a felkészülési időszakban közepes, addig a két versenyzidőszakban erős kapcsolatot mutatott a magas intenzitású futással az s-RPE. A legkisebb kapcsolatot a sprint változó mutatta mindhárom időszakban. Az eredmények összességében alátámasztják, hogy az észlelt ITL és az objektív ETL közötti kapcsolat nem egységes minden terhelési komponens esetében, és az edzésadaptációk megértéshez szükséges a különböző belső terhelési indikátorok integrált értelmezése, vagyis az adott időszakhoz is viszonyítsuk az eredményeket (Maughan és mtsai, 2022). Ez a megközelítés indokoltá teszi az s-RPE használatát utánpótláskorú labdarúgóknál, annak ellenére, hogy érzékenyebb adatforrás, és erősen kontextusfüggő a külső terhelési hatásokra. Ezenfelül a szerzők főkomponens-elemzést is alkalmaztak annak feltárására, hogy a különböző ETL-változók milyen rejtett struktúrákba rendeződnek, és ezek hogyan kapcsolódnak az észlelt ITL-hez. Eredményeik alapján a szerzők

megállapították, hogy a felkészülési időszakban két fő terhelési komponens különült el, amelyek együttesen a variancia 77,1%-át magyarázták: az első, domináns komponens (63,9%) a globális volumenjellegű terhelést reprezentálta, magas faktortöltésekkel az s-RPE (0,85), a teljes megtett távolság (0,90), a player load (0,91) és az alacsony intenzitású futás (0,94) esetében, míg a második komponens jelentősen alacsonyabbnak bizonyult (13,2%). Ezzel szemben a versenyidőszak különböző fázisaiban egyetlen domináns főkomponenst azonosítottak, amely a teljes variancia több mint 73%-át magyarázta, és amelyhez az s-RPE kiemelkedően magas töltéssel kapcsolódott (0,86-0,91), együtt a fő ETL-mutatókkal. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az s-RPE különösen a versenyidőszakban alkalmas az ITL integrált jellemzésére.

Teixeira és munkatársai (2022) vizsgálatukban szintén RPE/s-RPE-t és ETL-mutatókat, valamint észlelt regenerációs állapot közötti kapcsolatot elemezték U15 (20 fő), U17 (20 fő), illetve U19 (20 fő) labdarúgók körében. Hat héten keresztül tartott a vizsgálat egy versenyidőszak első időszakában. Eredményeik alapján az s-RPE és az ETL-változók között kismértékűtől mérsékeltig terjedő korrelációk voltak ($r=0,20-0,50$), korcsoporttól és terhelési mutatótól függően (Teixeira és mtsai, 2022). Az összefüggések elsősorban a terjedelmi változók esetében jelentkeztek, mint a teljes megtett távolság, a gyorsítások és lassítások száma, míg ezzel szemben az intenzitásalapú változók jellemzően gyengébb kapcsolatot mutattak a szubjektív terhelési változókkal. Az észlelt regenerációs állapot és az ETL-mutatók között szintén alacsony–mérsékelt nagyságrendű korrelációkat azonosítottak ($r=-0,20 - -0,40$), különösen a nagy intenzitású mechanikai változóknál, amely arra utal, hogy a regenerációs állapot érzékenyen reagálhat a kumulatív neuromuszkuláris terhelésre.

de Dios-Álvarez és munkatársai (2023) 21 elit utánpótláskorú labdarúgót (18 évesek – a szócikk nem tér ki konkrét korosztályra) vizsgáltak, melynek célja volt az RPE/s-RPE-alapú ITL és a GPS-technológiával mért ETL-változók közötti kapcsolat feltárása. Eredményeik alapján közepes–erős összefüggést mutattak számos GPS-alapú ETL-indikátorral, különösen az

edzések során, míg a mérkőzéseket komplexebb és kevésbé kontrollálható terhelésként határozták meg a kisebb kapcsolatok következtében. A szerzők továbbá megállapították, hogy az észlelt wellness-mutatók önmagukban csak gyenge kapcsolatban állnak az ETL-lel, vagyis a jólléti állapot és az észlelt terhelést más kontextusban kell értelmezni, és nem feltétlen együttesen (terhelés vs. készenléti állapot). A tanulmány eredményei alátámasztják, hogy az RPE monitorozása valid és a gyakorlatban is alkalmazható alternatívát jelenthet az ETL nyomon követése mellett, illetve olyan környezetben, ahol objektív mérőrendszerek nem állnak rendelkezésre. A regressziós elemzések alapján az ITL-mutatók szignifikáns, de eltérő mértékű hatást gyakoroltak az ETL-változók tekintetében. Az RPE, az edzés időtartama és az egyes észlelt jólléti indikátorok együttesen közepes magyarázatot mutattak a volumenjellegű mutatók esetében, így a teljes megtett távolság ($R^2=0,47$) és a player load ($R^2=0,54$) jól becsülhető volt. Ezzel szemben a nagyobb intenzitású paraméterek, mint például a magas intenzitású futás, csak kisebb mértékben voltak magyarázóak ($R^2=0,21$), jóllehet az RPE önmagában is szignifikáns prediktornak bizonyult (de-Dios-Álvarez és mtsai, 2023). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az RPE/s-RPE elsősorban a kisebb intenzitású, kumulatív változóknál lesz alkalmas függő változóként.

Jaspers és munkatársai (2017) szisztematikus áttekintésükben arra jutottak, hogy profi labdarúgásban a felkészülési időszakban a magas intenzitású (>90% HRmax) időtartam többnyire pozitívan társul az aerob fittség javulásával, ugyanakkor az összegzett edzés- és meccsidő a szezon során vegyes (pozitív és negatív) kapcsolatot mutatott a fittségváltozókkal; továbbá az izomra vonatkozott RPE-értékelés kedvezőtlen adaptációk indikátora lehet, valamint arra is, hogy a magas intenzitású terhelés fokozott sérüléskockázattal járhat együtt (Jaspers és mtsai, 2017).

Radzimiński és munkatársai (2021) tanulmányában professzionális labdarúgók heti TL-eloszlását, valamint az ETL- és ITL-indikátorok közötti kapcsolatokat vizsgálták edzés- és mérkőzés-környezetben. Eredményeik szerint a heti terheléseloszlás nem egyenletes, hanem markánsan eltérhet a

periodizáció függvényében. A legnagyobb volumenű és intenzitású terhelés jellemzően a MD-3/MD-4 napon jelentkeztek, míg a mérkőzés előtti utolsó napokban a terhelés jelentősen csökkent, ami a regeneráció és a mérkőzésre való felkészítés szempontjából volt kulcsfontosságú. Az ETL-mutatók (pl. teljes megtett távolság, magas intenzitású futások, sprinttávolság), a pulzusalapú változók (pl. átlagpulzus, maximális pulzus, pulzuszónákban eltöltött idő, relatív pulzusterhelés) és a szubjektív változók, mint az RPE és s-RPE között szignifikáns, de többnyire csak közepes erősségű összefüggéseket találtak. A szerzők hangsúlyozzák, hogy az ITL növekedése általában együtt jár az ETL emelkedésével, ugyanakkor a kapcsolat nem lineáris és nem minden mutató esetében azonos mértékű. A szerzők azt is kiemelték, hogy az egyes játékosok egyéni élettani válaszaik jelentős variabilitást mutatnak, ezért azonos ETL eltérő ITL-reakciókat válthat ki. A kutatás kitér arra is, hogy a professzionális labdarúgásban a terhelésmonitorozás során a külső és belső terhelésmutatók együttes alkalmazása elengedhetetlen, mivel egyik indikátorcsoport sem képes önmagában teljes képet adni az edzés- és mérkőzésterhelés élettani és fizikai hatásairól (Radzimiński és mtsai, 2021).

Ugyanakkor, a bemutatott szakirodalom által vizsgált az utánpótlás-labdarúgásban még nem vizsgálták kellő mértékben a témát, és a terhelésmonitorozás megkezdésének megfelelő életkora mindmáig nem meghatározott. A pulzus megbízható mérése fiatal labdarúgók esetében továbbra is kihívást jelent, mivel a rögzített értékeket külső környezeti tényezők által befolyásolt szimpatikus idegrendszeri válaszok torzíthatják, vagyis a biológiai érés következtében a még fejlődő sportoló szívfrekvenciája még nagy variabilitást mutathat, illetve az egyszerű változók rögzítése mellett további kalkulációk integrálása szükséges, amely tovább bonyolíthatja a gyakorlati alkalmazhatóságot.

Mindezen kutatási eredmények összességében arra engednek következtetni, hogy az ETL és ITL közötti kapcsolat az utánpótlás-labdarúgásban középestől erősig terjed, ám nem tekinthető egységesnek, ugyanis jelentős mértékben függ a vizsgált terhelési változók használatától (pl. abszolút vs.

relatív változók, terjedelmi vs. intenzitási változók), az edzésfeladatok struktúrájától (pl. kisterületű vs. nagyterületű játékok), valamint a sportolók életkorától és biológiai érési státuszától. A szakirodalom következetesen azt mutatja, hogy a terjedelmi jellegű ETL-mutatók – mint a teljes megtett távolság vagy a player load – általában erősebb kapcsolatot mutatnak az RPE/s-RPE-vel, míg az intenzívebb változók (pl. magas intenzitású futások, gyorsulások) esetében az összefüggések kontextusfüggők és nagyobb egyéni variabilitást mutatnak. A pulzusalapú változók nagyon erős kapcsolatot mutatnak a külső terhelési paraméterekkel, ám ezek, az utánpótláskorban nincs teljesen felfedve edzés- és mérkőzés-környezetben. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy sem az ETL, sem az ITL nem értelmezhető teljes mértékben önmagában az edzésadaptációk megítélése szempontjából. Ennek megfelelően az utánpótláskorú labdarúgók edzésmonitorozásában indokolt az objektív (GPS-és pulzusalapú) és a szubjektív (RPE, s-RPE) mutatók integrált alkalmazása, amely lehetővé teszi a terhelés egyéni, időszakhoz igazított értelmezését.

Az elit labdarúgásban a GPS- és a pulzusmonitorozó technológiákat is együttesen alkalmazzák az ETL és az ITL értékelésére (Barbero-Álvarez és mtsai, 2008), amelyek a játékosok edzés- és mérkőzésterhelésének kumulatív kitétttségét tükrözik. Ez az integrált megközelítés képezi a jelen disszertáció módszertani alapját utánpótláskorú labdarúgókat vizsgálva.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Jelen kutatásaink fő célja az edzésterhelés objektív és szubjektív mutatóinak együttes vizsgálata utánpótláskorú labdarúgóknál, különös tekintettel arra, hogy ezek a mutatók milyen mértékben és milyen módon reprezentálják a sportolók által észlelt terhelést edzésen és mérkőzésen.

Az első vizsgálatunk egyik célja annak meghatározása, hogy az ETL-mutatók (külső edzésterhelés), beleértve az LTL-változókat (pl. teljes megtett távolság, különböző intenzitású futások megtett távban) és az MTL-változókat (pl. gyorsulások, lassulások, inerciális mozgáselemzés – összesített mikromozgást mérő változó tetszőleges egységgel kifejezve, player load) – milyen kapcsolatban állnak az edzések és mérkőzések tekintetében az észlelt terhelési mutatókkal (RPE, s-RPE) és az észlelt jóléti mutatókkal (pl. észlelt alvás, stressz és fáradtság).

Az első vizsgálatunk másik célja meghatározni az ETL-változók közül melyek tükrözik az észlelt terhelést, illetve mely kovariánsok gyakorolják a legnagyobb hatást az RPE és az s-RPE alakulására három utánpótlás-labdarúgó korosztályban (U15, U17, U19).

A második vizsgálatunk egyik célja – szintén az észlelt terhelési változók (RPE/s-RPE) mellett – a pulzusalapú terhelési mutatók, mint a tréning-impulzus (TRIMP), az Edwards-féle TRIMP (eTRIMP, Edwards, 1994), és a pulzusterhelés (HR exertion) kapcsolatának vizsgálata az ETL-változókkal edzésen és mérkőzésen.

A második vizsgálatunk másik célja, hogy megvizsgáljuk a pulzusalapú változókat, hogy milyen mértékben jelzik előre az ETL-alapú változókat edzőkörnyezetben, U16-os korosztályt vizsgálva.

3.1 Első vizsgálat hipotézisei

H1: A lokomotoros edzésterhelési változók (LTL) terjedelmi és intenzitási paraméterei erősebb összefüggést mutatnak az RPE-vel és az s-RPE-vel, mint

a mechanikai edzésterhelési változók (MTL), edzésen és mérkőzésen egyaránt.

H2: A teljes megtett távolság, a magas intenzitású futás és a player load változók mutatják – az összes többi mért változóhoz képest – a legerősebb korrelációt az RPE-vel és s-RPE-vel, minden korosztályon belül, edzésen és mérkőzésen egyaránt.

H3: A magas intenzitású futás és a sprint változók korrelációja az RPE-vel és az s-RPE-vel az idősebb korcsoportokban erősebb kapcsolatot mutat, mint a fiatalabb korcsoportokban, edzésen és mérkőzésen egyaránt.

3.2 Második vizsgálat hipotézisei

H4: A pulzusalapú mutatók (TRIMP, eTRIMP, HR exertion) erős, szignifikáns korrelációt mutatnak a teljes megtett távolsággal és a player load-dal edzéseken, míg mérkőzések során ugyanezek az összefüggések szignifikánsak, de jellemzően közepes erősségűek.

H5: Mérkőzőkörnyezetben a TRIMP, eTRIMP és HR exertion erősebb korrelációt mutatnak a teljes megtett távolsággal, a magas intenzitású futással és a player load-dal, mint az RPE és az s-RPE ugyanazon ETL-változókkal.

H6: A TRIMP, eTRIMP és HR exertion, valamint az s-RPE között nagyon erős, szignifikáns korreláció áll fenn, míg az RPE-vel erős korreláció.

4. MÓDSZEREK

4.1 Vizsgálati személyek

4.1.1 Első vizsgálat

Az első vizsgálatban összesen 50 akadémiai labdarúgó fiú ($N=50$) vett részt, amiből három korosztályt vizsgáltunk: U15 ($N_{U15}=18$, életkor: $14,77\pm 0,25$ életév, testmagasság: $173,21\pm 6,11$ cm, testtömeg: $59,09\pm 4,95$ kg), U17 ($N_{U17}=16$, életkor: $16,70\pm 0,27$ életév, testmagasság: $176,60\pm 6,36$ cm, testtömeg: $65,02\pm 5,35$ kg), valamint U19 ($N_{U19}=16$, életkor: $17,69\pm 0,53$ életév, testmagasság: $180,53\pm 6,47$ cm, testtömeg: $71,99\pm 6,45$ kg; minden érték átlag \pm szórás formájában megadva). Kizárólag mezőnyjátékosok szerepeltek a vizsgálatban, mivel a kapusok más edzés- és mérkőzés munkát teljesítenek. Továbbá, az U15-ös korosztályból azoknak a játékosoknak az adatait is kizártuk, akik időnként az U16-os csapat edzésein és mérkőzésein is szerepeltek (feljátszottak), hogy az adatok korosztályonként vett összehasonlíthatósága biztosított legyen. Egy másik kizárási kritérium volt, hogy csak olyan utánpótláskorú labdarúgók adatai kerülhettek be a vizsgálatba, akiknek a vizsgálati időszak teljes ideje alatt nem volt ismert sportsérülésük (kontakt, nemkontakt egyaránt). A lehetséges zavaró tényezők kontrollálása érdekében – pl. dehidratáció megelőzésére – a játékosoknak meg volt engedve, hogy a pihenőintervallumokban szénsavmentes vizet fogyasszanak. A résztvevők nagyrésze ismerte a vizsgálatban használt monitorozási eszközöket, ugyanis ezek a labdarúgó akadémiai edzéseik és mérkőzéseik mindennapi rutinjuk részét képezték. Ez alól kivételt képez az U15 korosztály, akiknek a felkészülési időszakban volt tájékoztatás és betanítás az eszközviselet és adatgyűjtés kapcsán, ugyanis számukra újdonság volt minden monitorozási lehetőség. A labdarúgók szülei írásos beleegyezésüket adták a gyermekeik vizsgálatban való részvételéhez, még a vizsgálatot megelőzően. A kutatás intézményi etikai engedéllyel rendelkezik (MTSE-KEB/No07/2025 - 2025. március 25.), és a Helsinki Nyilatkozat előírásainak megfelelően zajlott. A mérések és az adatgyűjtések standardizált körülmények között, az edzések megszokott időpontjában, azonos pályaviszonyok mellett történtek, hogy minimalizáljuk az esetleges

környezeti hatásokból adódó különbségek megjelenését. Az adatokat azonos GPS-rendszerrel kalibrált eszközökkel rögzítettük, és minden játékos azonos mérési protokollnak volt kitéve.

4.1.2 Második vizsgálat

A második vizsgálatban tizenkilenc (N=19) fiú akadémiai labdarúgó vett részt (kronológiai életkor: $15,41 \pm 0,37$ életév, biológiai életkor: $14,42 \pm 0,40$ életév, biológiai érettségi eltérés: $1,40 \pm 0,53$ életév, testmagasság: $175,30 \pm 7,18$ cm, testtömeg: $61,73 \pm 5,23$ kg; minden érték átlag \pm szórás formájában megadva). A kutatásba való beválasztási kritériumok értelmében Stevens és munkatársai (2017) alapján kizárólag a mezőnyjátékosok vettek részt a vizsgálatban. A kizárási feltételek tekintetében csak azon játékosok vehettek részt a vizsgálatban, akik annak időtartama alatt nem voltak sérültek (kontakt, nemkontakt egyaránt). A kapusokat a vizsgálatba nem vontuk bele az előző vizsgálatban szereplő kritériumok vonatkozásában. Mivel az olyan zavaró tényezők, mint például a dehidratáció, befolyásolhatják a játékosok szubjektív terhelésészlelését, így az edzések pihenőidőszakaiban a vízfogyasztás engedélyezve volt. A mérkőzések során a folyadékbevitel nem volt kontrollálható, azonban a játékosoknak a félidőben minden esetben volt lehetőségük legalább két deciliter folyadékpótlásra. A résztvevőket a vizsgálat céljairól részletesen tájékoztattuk, és az alkalmazott mérőeszközöket a felkészülési időszak elején megismertettük a játékosokkal. Az eszközök viselése ezt követően a játékosok mindennapi terhelésmonitorozásának részét képezte a vizsgálati időszak teljes időtartama alatt. A fiatal játékosok szülei írásos beleegyezésüket adták gyermekeik vizsgálatban való részvételéhez. A kutatás intézményi etikai engedéllyel rendelkezik (MTSE-KEB/No12/2025 - 2025. június 26.), és az emberi vizsgálatok a Helsinkai Nyilatkozat legfrissebb verziójával összhangban zajlottak.

4.2 Vizsgálati procedúra

4.2.1 Első vizsgálat

Az első vizsgálat során összesen 1386 alkalommal történt adatfelvétel (U15 – edzések: 357, mérkőzések: 60; U17 – edzések: 388, mérkőzések: 62; U19 – edzések: 446, mérkőzések: 73), amelyek 145 labdás edzést (U15 – 49, U17 – 46, U19 – 50) és 11 db mérkőzést tartalmaztak csapatonként. Az edzések és mérkőzések átlagos időtartama, szórása és terjedelme percben kifejezve az U15, U17 és U19 korosztályokban az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat: A három vizsgált utánpótlás-labdárúgó korosztály edzéseinek és mérkőzéseinek időtartam adatai

	U15		U17		U19	
	átlag ± szórás	terje- delem	átlag ± szórás	terje- delem	átlag ± szórás	terje- delem
Edzések	67 ± 12 perc	50–97 perc	65 ± 19 perc	52–124 perc	63 ± 14 perc	55–102 perc
Mérkőzések	91 ± 7 perc	80–98 perc	77 ± 6 perc	74–83 perc	91 ± 9 perc	81–99 perc

A teljes, 164 edzést magában foglaló adatgyűjtésből 19 edzést kizártunk az elemzésből, mivel azon labdás foglalkozások részben beltérben, fedett pályán zajlottak, és az adatforrás (GPS-alapon mért LTL-változók) megbízhatatlannak bizonyult az elégtelen műholdas jelkapcsolat miatt.

A kutatás a 2023–2024-es szezon versenyzidőszakában februártól májusig tartott, és az adatgyűjtés időtartama 11 hét volt. A játékosoknak átlagosan heti 4–5 alkalommal volt labdás edzése, amelyek hétköznapokon zajlottak 15:30–17:00 között, többnyire műfüves labdarúgó pályán. Az edzésnapokat a mérkőzésnaphoz (Match Day \pm , MD \pm) viszonyítva osztottuk fel (Martín-García és mtsai, 2018). Az edzések felépítése technikai és kondicionális elemekből állt, utóbbi esetében kompenzációs futófeladatokat is tartalmazva. Ezen felül minden korosztály számára 30 perces erőnléti edzés volt MD-5/MD+2 (általában hétfő), MD-4/MD+3 (általában kedd) és MD-2 (általában csütörtök) napokon, amelyeket a labdás edzés előtt végeztek a labdarúgók. A bemelegítés adatai az elemzés részét képezték, míg a levezetés adatait nem vettük figyelembe, ugyanis minden esetben statikus nyújtó gyakorlatokat végeztek a játékosok, amelyhez nem szükséges terhelésmonitorozás. MD-6/MD+1-en minden utánpótláscsapatnak pihenőnap volt. MD-5/MD+2 napokon technikai és taktikai fejlesztésre irányuló edzéseket végeztek a játékosok. MD-4/MD+3-an elsősorban kisterületű játékokat (SSG, 2v2–5v5) tartalmaztak az edzések, amelyek a gyorsaság, az agilitás és az erő fejlesztését szolgálták. MD-3 az erő-állóképesség fejlesztésére irányult nagy területű játékokkal (LSG). MD-2-ön főként technikai és taktikai fejlesztést foglalt magában, illetőleg számos alkalommal terhelés-visszavétel (tapering) módszert is alkalmaztak az U19-es csapatnál. Az MD-1 ún. „aktiváló” (neuromuszkuláris) edzésnap volt, csökkentett edzésterhelési volumen mellett nagy és gyors intenzitású feladatokkal.

A vizsgálatban további feltétel volt a rendszeres részvétel az edzéseken és mérkőzéseken. A tanulmányba kizárólag azokat a játékosokat választottuk be, akik az edzések legalább 80%-án részt vettek, és minden egyes edzés során az összes edzésperiódusban aktívan szerepeltek. A mérkőzéseken való részvétel minimuma az U15 korosztályban 65 perc, míg az U17 és U19 korosztályokban legalább 75 perc volt (Alonso és mtsai, 2017).

Ez a strukturált edzés- és mérkőzésrendszer lehetővé tette a terhelésmenedzsmet, a mikrocikluson belüli – az éves edzésprogram heti

egysége (Bompa & Buzzichelli, 2019) – terhelési változók és a korosztályos különbségek pontos vizsgálatát a 11 hetes periódus során.

4.2.2 Második vizsgálat

A vizsgálat során összesen 50 edzést és 11 labdarúgó-mérkőzést elemeztünk, amelyekből 534 adatsor származott (ebből 465 edzés és 69 mérkőzés). Az adatgyűjtés kizárólag egy őszi versenyzidőszakra korlátozódott, mivel a felkészülési időszak alatti edzésadaptáció befolyásolhatta volna a terhelésmutatókat. Az elemzésbe csak olyan mikrociklusokat vontunk be, amikben legalább egy bajnoki mérkőzés is szerepelt. Az edzések hétköznapokon, azonos napszakban, 15:30 és 17:00 között zajlottak, heti legalább négy alkalommal, nagyrészt műfüves labdarúgó pályán. Az edzések és mérkőzések során GPS- és HR-adatokat, illetve a foglalkozásokat követően RPE-alapú adatokat gyűjtöttünk. Az edzések előtti labda nélküli bemelegítés a FIFA 11+ protokoll (Soligard és mtsai, 2008) alapján zajlott, ami körülbelül átlagosan tíz percet jelentett, és e periódus alatti adatok szintén bekerültek az elemzésbe; míg az edzés utáni levezetési periódus alatti adatokat nem vontuk be az elemzésbe, ugyanis azok statikus nyújtó gyakorlatokat tartalmaztak, amelyeknél nincs szükség a terhelés monitorozására. A beltérben megtartott edzési adatokat kizártuk az elemzésből, mivel a műholdas jelvesztés torzíthatta a GPS-adatok pontosságát.

A labdás edzésprogram technikai és taktikai elemeket egyaránt tartalmazott. Az edzésnapokat a mérkőzésnaphoz (Match Day \pm , MD \pm) viszonyítva klasszifikáltuk korábbi kutatás alapján (Martín-García és mtsai, 2018). MD-6-nál (6 nappal a mérkőzés előtt) és MD+1-nél (egy nappal a mérkőzés után) a játékosok pihentek, mivel nem volt edzés. Az MD-5/MD+2 napokon aktív regenerációfókuszú és taktikai fejlesztő edzések voltak, amelyek során a labda nélküli és a labdás bemelegítések hosszabbak voltak a többi edzésnaphoz képest, és SSG-ket (pl. 4vs2, 5vs2 kétfőzés labdatartásos feladatok) alkalmaztak. Az MD-4/MD+3 edzésnapokon a gyorsaság és a reaktív agilitás fejlesztésén volt a főhangsúly, SSG-s (pl. 1vs1, 2vs2, 3vs3) felállásokban. Ezeket az edzéseket rövidebb időtartam, de magas intenzitású intervall jellegű terhelés jellemezte, megfelelő pihenőidők betartásával. Az

MD-3 napokon az erő-állóképesség fejlesztése zajlott LSG-kkel, melyek létszámfölényes (8vs7, 9vs7) és létszámazonos (9vs9, 10vs10) formátumban zajlottak. Az MD-2 napokon már a következő ellenfélre való felkészülés során szükséges technikai és taktikai elemek kerültek előtérbe, amelyek nagyrészt a mikrociklusok legalacsonyabb intenzitású napjára estek. Az MD-1-es edzések az úgynevezett „aktivációs” napok voltak, amelyeken neuromuszkuláris aktiváció fókuszú feladatok, rövid időtartammal és döntően terhelés-visszavétellel történtek az edzésterjedelmét illetően. Ezeket rendszerint reakcióalapú SSG-k jellemezték, és ez volt a legrövidebb edzésnap egy mikrociklusban. Továbbá 30 perces erőnléti edzés volt MD-5/MD+2, MD-4/MD+3 és MD-2 edzésnapokon a labdás edzéseket megelőzően.

4.3 Vizsgálati eszközök

4.3.1 Az ETL mérésének módszerei

Az ETL monitorozására 10 Hz-es hordozható GPS-eszközöket (Vector S7, Catapult Sports Ltd., Melbourne, Ausztrália) alkalmaztunk. A jeladók integrált, 100 Hz-es háromtengelyű gyorsulásmérővel (3 dimenziós $\pm 16G$), magnetométerrel ($3D \pm 4900 \mu T$) és giroszkóppal (2000 fok/mp), valamint pulzusmérővel (EKG-alapú) vannak felszerelve. Az ETL-t mérő komponensek kombinációja révén a GPS-eszköz érvényességet és megbízhatóságot mutatott a távolság- és nagysebességű mozgásmutatók mérésében csapatsportágakat vizsgálva (Scott és mtsai, 2016), és a tipikus mérési hiba mértéke 1,3% volt (Johnston és mtsai, 2014). Gaudino és munkatársai (2015) ajánlása alapján a különböző GPS-eszközök közötti eltérések minimalizálása érdekében minden játékos ugyanazt a jeladóstruktúrát viselte a vizsgálat teljes időtartama alatt. Az adatgyűjtés során a vízszintes pontosság-hígulás (HDOP) átlagos értéke $0,76 \pm 0,10$, a kapcsolódott műholdak száma átlagosan $14,88 \pm 0,20$, míg az átlagos GNSS-jelminőség $70,51\% \pm 1,10\%$ volt. Ezek az értékek összhangban vannak a korábban publikált referenciaértékekkel, nemzetközi szabványokkal (Weston és mtsai, 2015). Azokat az adatsorokat kihagytuk az elemzésből, amelyek jelentős eltérést mutattak a fenti jelkvalitási mutatóktól. Minden GPS-jeladót

a gyártó által biztosított, speciális sportmellényben (Catapult Sports) viselték a játékosok, amelynek a hátrészénél, a lapockák közötti vertikális pozícióban egy ennek kialakított zsebbe bújtható. Maddison és Ni Mhurchu (2009) alapján az összes játékos jeladóját bekapcsoltuk egy dokkolóegységben, legalább öt perccel az edzés és mérkőzés megkezdése előtt, hogy stabil műholdkapcsolatot és optimális jelerősséget érjünk el. A sebességalapú ETL-változók sávozásai korábbi szakirodalmi ajánlások alapján történtek (Bradley és mtsai, 2009; Mallo és mtsai, 2015), melyek ezáltal a Catapult rendszer alapbeállításai lettek. A kiválasztott lokomotoros és mechanikai edzésterhelésimutatók az alábbiak voltak: TDC (méter), MSR ($14,4-19,79 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; méter), HSR ($19,8-25,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; méter), SPR ($>25,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; méter), ACC ($>1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; méter), DEC ($<-1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; méter), IMA (tetszőleges egység - AU), PL (AU), és ezek terjedelmi és intenzitási változói (2. táblázat).

2. táblázat: A GPS- és IMU-alapú ETL-változók

	LTL	MTL
Terjedelmi paraméterek	TDC (m)	ACC (m)
	MSR (m)	DEC (m)
	HSR (m)	IMA (AU)
	SPR (m)	PL (AU)
Intenzitási paraméterek	TDC/perc (m)	ACC/perc (m)
	MSR/perc (m)	DEC/perc (m)
	HSR/perc (m)	IMA/perc (AU)
	SPR/perc (m)	PL/perc (AU)

A sebességalapú paraméterek mellett a tetszőleges egységként (AU) jelöltek részletesebb betekintést igényelnek. Boyd és munkatársai (2011) alapján a PL egy módosított vektor mennyiséget mérő változó, amely a gyorsulás négyzetes változásának négyzetgyökével fejezhető ki minden egyes mozdulattal, az egyes mozgástengelyeken (XYZ-tengelyek). Ez szakmai szempontból azt jelenti, hogy a gyorsulási változók összesített mutatója. Korábbi tanulmányok szerint a PL nagyon erősen korrelál a teljes megtett

távolsággal (Casamichana és mtsai, 2013), ami a labdarúgás nagy pályaméretével magyarázható (Davies és mtsai, 2013).

A PL az alábbi egyenlet alapján lett meghatározva tetszőleges egység mértékegységgel (Boyd és mtsai, 2011):

$$PL = \sqrt{\frac{(a_{y1} - a_{y-1})^2 + (a_{x1} - a_{x-1})^2 + (a_{z1} - a_{z-1})^2}{100}}$$

ahol az a_y az előre és hátra irányuló gyorsulást, az a_x az oldalirányú gyorsulást és az a_z pedig a függőleges gyorsulásokat jelenti.

Az IMA olyan mérőszámrendszer, amely a sportolók mikromozgásait (gyorsulások és lassulások) és mozgásirányait (balra és jobbra) méri, függetlenül az eszköz térbeli orientációjától (Catapult Sports, 2018). Egy tanulmány szerint az IMA-értékek megbízhatóan jelezték a robbanékony akciókat – magas intenzitású gyorsulások, lassulások és irányváltások – női nemzeti válogatott mérkőzéseket vizsgálva (Meylan és mtsai, 2017).

4.3.2 Az ITL mérésének módszerei

4.3.2.1 HR-alapú módszerek

A pulzusadatokat pulzuszámoló szenzorral (Polar H9, Polar Electro Oy, Kempele, Finnország) rögzítettük U16-os labdarúgóknál. Az eszközök mellkaspánttal voltak felhelyezve a mellkas és a has régiói közé, a szegycsont alsó nyúlványa felett kissé magasabban igazítva. A pulzusszenzort a Catapult sportmellénnyel együtt viselték (pulzusöv a sportmellény alatt, a testre feszülve) a játékosok, és minden aktivitás előtt egyszerre lettek aktiválva, majd Bluetooth-kapcsolaton keresztül szinkronizáltuk a GPS-jeladóval, hogy az adatgyűjtés időben összehangolt legyen. A felkészülési időszak első hetében minden játékos egyéni maximális pulzusszámát (HRmax) egy lépcsőzetes terhelésű, spiroergometriai futószalagos vita maxima teszttel határoztuk meg. Amennyiben a HRmax-értékben nem volt változás, úgy korábbi években mért maximális pulzusértéket használtuk egyénileg

beállítva. A HRmax későbbiekben edzések és/vagy mérkőzések során felülírható volt, mivel az új egyéni HRmax értékek automatikusan frissíthetők (értesítést kap a felhasználó) az OpenField Cloud rendszerben minden tevékenységet követően. Az adatgyűjtést követően az ITL meghatározása három különböző képlettel történt (3. táblázat). Az edzésterhelési-impulzust (TRIMP) az edzés és mérkőzés során mért átlagpulzus és a foglalkozás teljes időtartamának szorzataként határoztuk meg (Hopkins, 1991). A HR exertion terhelési mutató számításához a Catapult rendszer alapértelmezett beállításai alapján nyolc pulzuszónát alkalmaztunk a HRmax-hoz képest és zónaspecifikus súlyozással (Catapult Sports, 2018). Az Edwards-féle TRIMP-módszert, vagyis az eTRIMP-et használtuk (Edwards, 1994), amely szintén a sportolók pulzusválaszait a HRmax százalékos értékben fejezi ki. Az eTRIMP változót a sportoló által az öt pulzuszónában eltöltött időtartam és a zónaspecifikus súlyozó tényezők szorzatának összegeként határoztuk meg. Ez a módszer lehetővé teszi az ITL pontos kvantifikálását, figyelembe véve a pulzuszónában eltöltött időtartamot és annak intenzitását is. A TRIMP-alapú egyenletek egyaránt alkalmazhatók edzőkörnyezetben és mérkőzések során is (Rebelo és mtsai, 2012).

3. táblázat: A vizsgálati személyek ITL-ét leíró képletek

Név	Képletek
TRIMP	$\text{átlagpulzus} \times \text{aktivitás időtartama}$ (AU)
eTRIMP	1-es pulzuszónában (50–59% HR _{max}) eltöltött időtartamot 1-es súlyozó faktorral szoroztuk, 2-es pulzuszónában (60–69% HR _{max}) eltöltött időtartamot 2-es súlyozó faktorral szoroztuk, 3-as pulzuszónában (70–79% HR _{max}) eltöltött időtartamot 3-as súlyozó faktorral szoroztuk,

	<p>4-es pulzuszonában (80–89% HR_{max}) eltöltött időtartamot 4-es súlyozó faktorral szoroztuk,</p> <p>5-ös pulzuszonában (90–100% HR_{max}) eltöltött időtartamot 5-ös súlyozó faktorral szoroztuk,</p> <p>majd ezeket a pontszámokat összeadva, és AU-ban kifejezve.</p>
HR exertion	<p>1-es pulzuszonában ($\leq 45\%$ HR_{max}) eltöltött időtartamot 1-es súlyozó tényezővel,</p> <p>2-es pulzuszonában (45–55% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,122-es súlyozó tényezővel,</p> <p>3-as pulzuszonában (55–65% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,322-es súlyozó tényezővel,</p> <p>4-es pulzuszonában (65–75% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,554-es súlyozó tényezővel,</p> <p>5-ös pulzuszonában (75–85% HR_{max}) eltöltött időtartamot 2,037-es súlyozó tényezővel,</p> <p>6-os pulzuszonában (85–95% HR_{max}) eltöltött időtartamot 3,252-es súlyozó tényezővel,</p> <p>7-es pulzuszonában (95–105% HR_{max}) eltöltött időtartamot 5,439-es súlyozó tényezővel,</p> <p>8-as pulzuszonában ($>105\%$ HR_{max}) eltöltött időtartamot 9-es súlyozó tényezővel,</p> <p>majd ezeket a pontszámokat összeadva, és AU-ban kifejezve.</p>

4.3.2.1 Észlelt erőfeszítés/terhelés (RPE)

A sportolók által szubjektíven észlelt terhelés számszerűsítésére széles körben alkalmazott módszer az RPE, amely a belső terhelés egyik

megbízható mutatója (Foster és mtsai, 2001). Az RPE az egyén szubjektív visszajelzésén alapul, és jól tükrözi a szervezet fiziológiai válaszait a külső terhelésre. A fizikai aktivitás szubjektív intenzitásának mérésére Borg (1998) dolgozta ki az ún. Borg-skálát, amely valid és reliabilis módszernek bizonyult a labdarúgásban mind edzések, mind mérkőzések terhelésének észlelésére (Impellizzeri és mtsai, 2004; Alexiou & Coutts, 2008). Jelen kutatás során Borg CR10-es skáláját alkalmaztuk, amely 1–10-es skálán méri az RPE-t (Noble és mtsai, 1983). Az egyes értékek a foglalkozások intenzitását értékelik, vagyis az 1-es érték a nagyon könnyű aktivitást, a 2–3-as értékek a könnyű aktivitást, a 4–6 értékek a közepes aktivitást, a 7–8 értékek a nehéz aktivitást, a 9-es érték a nagyon nehéz aktivitást, míg a 10-es érték a maximális aktivitást jelenti. Az RPE eredetileg ordinális (sorrendi) mérési szintet határozna meg, azonban a fiziológiai terheléssel közel lineáris kapcsolatot mutat, ezért a sporttudományi kutatások gyakorlatában intervallumváltozóként alkalmazható (Borg, 1998; Noble & Robertson, 1996).

4.3.2.2 *Wellness kérdőív (WQ)*

A wellness azt jelenti, hogy a mindennapokban tudatosan alkalmazunk egészséges szokásokat annak érdekében, hogy a testi és szellemi egyensúly összhangban legyen. A játékosok észlelt jólléti állapotának felmérésére hozták létre a wellness kérdőívet (WQ), amelyet Hooper-kérdőívként és észlelt wellness kérdőívként is jegyeznek (Hooper & Mackinnon, 1995). A kérdőív célja, hogy napi szinten felmérje a sportolók észlelt készenléti állapotát, beleértve a terhelhetőséget, a regenerációs állapotot, illetve az általános közérzetet. E kérdőívvel segíteni lehet az edzőket és a sporttudományi szakembereket a TL optimalizálásában és a túlterhelés megelőzésében. A WQ öt fő wellnesstényezőt tartalmaz és értékeli, mint az alvásminőség, a stressz-szint, a fáradtság, az izomláz és a sportoló hangulata. Mindazonáltal a jelen kutatás három tételt választott ki ezek közül: az alvás, a stressz és a fáradtság értékelése, utóbbi esetében pedig de Dios-Álvarez és munkatársai (2023) javaslata alapján központi (idegrendszeri) és perifériás (izom) komponensekre lett bontva, elősegítve a fáradtság felismerését és

lokalizálását (de Dios-Álvarez és mtsai, 2023). A válaszadók ötfokú, 1–5-ös Likert-skálán értékelik állapotukat, ahol az 1-es érték nagyon rossz állapotot, a 2-es érték rossz állapotot, a 3-as érték közepes állapotot, a 4-es érték jó állapotot, míg az 5-ös nagyon jó állapotot jelent (Hooper & Mackinnon, 1995). McCall és mtsai (2016) az UEFA elit klubok sérüléstanulmányaiban úgy találták, hogy a második legfontosabb megfigyelőeszközként tartják nyilván az észlelt wellnesst, más szubjektív fáradási mutatók mellett (McCall és mtsai, 2016). További megfigyelések szerint, az alvás, a stressz és a pihenés miatti fáradtság szubjektív értékelése előre jelzi a sérüléseket az értékelést követő hónapban (Laux és mtsai, 2015).

4.3.2.3 Észlelt teljes minőségi regeneráció (TQR)

A játékosok észlelt pszicho-fiziológiai regenerációjának vizsgálatára az észlelt teljes minőségi regenerációs kérdőívet (Total Quality Recovery, TQR) alkalmaztuk (Kenttä & Hassmén, 1998), amely hangsúlyozza a sportoló észlelt testi felépülését, regenerációját (Kenttä & Hassmén, 1998). Korábbi kutatás úgy találta, hogy a TQR szorosan összefügg a sportolók teljesítményével és jólléti állapotával (Laurent és mtsai, 2011).

A WQ-t és a TQR-t Google Úrlapon keresztül együtt gyűjtöttük be, amelyet az edzések előtt 30 perccel egy telefonos applikációs csoportban küldtünk ki, amely a szakirodalomban már használt módszer (Nobari és mtsai, 2021). Mérkőzésnapokon kizárólag az RPE-értéket gyűjtöttük, hogy a játékosok a mérkőzésük előtt a fő feladataikra koncentrálhassanak. A vizsgálati személyek előzetesen megismerték a kérdőíveket, mivel azokat korábban is alkalmazták (kivéve az U15-ös korosztály esetében, nekik tájékoztatás és betanítás vált szükségessé). A kérdőíves adatgyűjtést a vizsgált labdarúgó akadémia erőnléti csoportjának a vezetője végezte és kezelte a későbbiekben kivitelezett adatelemzéshez.

4.4 Statisztikai analízis

4.4.1 Korreláció és lineáris regresszióanalízis az első vizsgálatnál

Minden eredmény átlagként és szórásként (átlag±szórás) van bemutatva. Az edzéseket és mérkőzéseket külön és együttesen is elemeztük; a statisztikai hatékonyság növelése érdekében azokat életkorcsoportonként külön vizsgáltuk. A .csv fájlokból származó nyers adatokat az IBM SPSS Statistics szoftverrel (SPSS, IBM Corporation, Chicago, USA; 24.0-ás verzió) integráltuk és dolgoztuk fel statisztikai elemzés céljából. Az összes adat normalitását a Shapiro–Wilk-próbával teszteltük. A Cronbach-alfa értéket használtuk az észlelt jólléti kérdések belső konzisztenciájának és megbízhatóságának vizsgálatára, ahol az elfogadható határértéket $\alpha \geq 0,70$ -ben határoztuk meg. Az ETL és az ITL közötti összefüggések ellenőrzésére a Pearson-féle korrelációs együtthatót alkalmaztuk, $p < 0,05$ szignifikanciaszint mellett. A korrelációk erősségeit Hopkins és munkatársai (2009) alapján értelmeztük, ezeket az alábbi küszöbök szerint különböztettük meg: triviális ($r < 0,1$), kicsi ($0,1 \leq r < 0,3$), mérsékelt ($0,3 \leq r < 0,5$), erős ($0,5 \leq r < 0,7$), nagyon erős ($0,7 \leq r < 0,9$), közel tökéletes ($r \geq 0,9$). A vizsgált terhelési változók közötti összefüggések életkor szerinti különbségét (U15, U17, U19) többcsoportos strukturális egyenletmodellezéssel (Multigroup SEM) vizsgáltuk, reziduális kovarianciák egyenlőségi kényszer alkalmazásával. A modellek illeszkedésének összehasonlítása a constrained és unconstrained modellek χ^2 -tesztje alapján történt. A modellilleszkedést a komparatív illeszkedési mutató (CFI), a Tucker–Lewis index (TLI), a közelítési hiba négyzetes átlaga (RMSEA), a standardizált reziduális négyzetes hiba (SRMR) adták, melyeknél a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott kritériumokat alkalmaztuk (Hu & Bentler, 1999). Ezen túlmenően többszörös regresszióelemzést is végeztünk annak érdekében, hogy meglehessen előre határozni az RPE és az s-RPE értékeit a GPS-alapú változók alapján. A modellek értékelését a regressziós együtthatók (béta értékek) és a determinációs együttható (R^2) vizsgálatával végeztük. A szignifikanciaszintet 5%-ban határoztuk meg.

4.4.2 Korreláció és lineáris regresszióanalízis a második vizsgálatnál

Ahogy a 4.4.1-es alfejezetben is meg lett határozva – az eredmények átlagként és szórásként vannak feltüntetve, illetve az edzés- és a mérkőzésadatok külön vannak elemezve. Minden fizikai aktivitást (edzés és mérkőzés) követően a GPS- és HR-alapú adatokat az OpenField Console szoftverrel (Catapult Sports, Melbourne, Ausztrália; 3.9-es verzió) gyűjtöttük, majd .csv fájlformátumban exportáltuk további elemzés céljából. A statisztikai elemzéseket a JASP szoftverrel (The Jeffrey's Amazing Statistics Program; JASP Team, Amszterdam, Hollandia; 0.19.2-es verzió) végeztük el. Először leíró statisztikát számoltunk, majd a Shapiro–Wilk-próbát használtuk az adatok eloszlásának normalitásvizsgálatára. Mivel az adatok nem követték a normális eloszlást, így végül a Spearman-féle rangkorrelációs együtthatót alkalmaztuk az ETL- és az ITL-mutatók közötti összefüggések vizsgálatára. A korrelációk erősségét Hopkins és munkatársai (2009) alapján kategorizáltuk. Az edzésekből származó GPS- és HR-alapú változókat többváltozós lineáris regressziós modellbe illesztettük, hogy megvizsgáljuk az ITL-t befolyásoló prediktorokat. Az egyik modell esetében a függő változót a TRIMP, míg a másik modell esetében a HR exertion változót alkalmaztuk, és mindkét modell esetében a TDC, HSR, SPR és ACC változókat használtuk prediktorként. Ezt követően a modell teljesítményét a következő mutatókkal értékeltük: standardizált béta együtthatók, determinációs együttható (R^2), korrigált R^2 , valamint a standard hiba négyzetes középértéke (RMSE). A multikollinearitás vizsgálatához 5 és 10 közötti varianciainfláló faktor (VIF) értéktartományt tekintettük optimálisnak, illetve 0,20 alatti toleranciaértéket tekintettük potenciálisan zavarónak. A statisztikai szignifikancia szintjét $p < 0,05$ -ben határoztuk meg.

5. EREDMÉNYEK

Az eredmények közlése során valamennyi adatot átlag- és szórásérték formájában mutatjuk be. A két vizsgálatot két alfejezetben ismertetjük, amelyekben az edzések és a mérkőzések adatai külön elemzési egységet alkotnak, majd később azok összehasonlítása történik. Ezeken belül először az alapstatisztikai mutatókat, ezt követően a változók közötti korrelációkat, végül pedig a lineáris regressziós elemzés eredményeit mutatjuk be részletesen. Kiegészítőleg, az első vizsgálat esetében multigroup SEM-modellt is alkalmaztunk.

5.1 Első vizsgálat

A Shapiro–Wilk-teszt eredményei alapján a normalitás feltétele teljesült, mivel egyik GPS-változó esetében sem mutatkozott szignifikáns eltérés a normális eloszlástól ($p=0,0581$).

A továbbiakban a WQ tételeinek (észlelt fizikális és szellemi fáradtság, alvás, stressz) belső konzisztenciájának vizsgálatához Cronbach-alfa reliabilitási elemzést végeztünk, mely megbízhatósága megfelelőnek bizonyult ($\alpha=0,72$), illetőleg egyik változó sem esett 0,70 alá.

Két lineáris regressziós modellt építettünk fel az edzésadatok tekintetében. Az RPE-hez a következő ETL-változókat használtuk: TDC, MSR/perc, SPR/perc és DEC/perc. Az s-RPE-hez pedig a TDC, ACC, DEC, MSR/perc és a SPR/perc változókat integráltuk. Egyik változó sem, és összességében a két modell VIF-értéke sem haladta meg a 10-es értéket.

Végezetül a leíró statisztikai, a korrelációs és regressziós analízis eredmények alapján összehasonlító elemzést hajtottunk végre a három vizsgált korosztálynál gyűjtött változók áttekintésére.

5.1.1 U15-ös korosztály eredményei

A 4–5. táblázatok a GPS- és IMU-alapú változók, valamint az RPE-, s-RPE- és WQ értékeinek leíró statisztikáit mutatják be U15-ös edzések és mérkőzések tekintetében.

Általánosságban elmondható, hogy majd minden GPS- és IMU-változónál a tartomány széles. Az átlagos edzésidő mintegy 66 perc volt, amely mérsékelt szórással járt együtt. A TDC átlagosan közel 4500 méter volt. Az SPR-adatok minimálisak, ami U15-ös korosztálynál nem okozott meglepetést. Az ACC átlagosan 186 méter volt, míg a DEC 68 méter. A percenkénti mutatók az abszolút adatokkal összevetve következetes terhelési mintázatot jeleznek. A szubjektív visszajelzések alapján a játékosok észlelt erőfeszítése közepesnek mondható, ami összhangban áll az ETL-alapú mutatókkal. A készenléti állapot mérésére szolgáló WQ-adatok átlagosan optimális értékeket mutatnak (4. táblázat).

4. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U15-ös edzéseknél

Változók	Edzések	
	átlag±szórás	tartomány
TDU (ó:p:mp)	1:06:57±0:12:15	1:15:00
TDC (m)	4517,64±1186,71	6723,45
MSR (m)	400,21±214,35	1416,99
HSR (m)	133,01±97,30	660,01
SPR (m)	24,22±36,48	247,21
ACC (m)	185,73±57,75	273,61
DEC (m)	67,66±24,02	136,20
IMA (AU)	411,31±111,47	796,00
PL (AU)	504,34±127,39	810,36
TDC/perc (m)	68,06±13,11	65,80
MSR/perc (m)	5,96±2,84	16,28
HSR/perc (m)	1,98±1,37	8,98

SPR/perc (m)	0,36±0,56	4,01
ACC/perc (m)	2,79±0,80	4,92
DEC/perc (m)	1,01±0,31	1,91
IMA/perc (AU)	6,21±1,52	11,14
PL/perc (AU)	7,58±1,34	8,14
RPE (AU)	5,64±1,51	7,00
s-RPE (AU)	380,70±132,39	688,00
TQR (AU)	4,26±0,82	4,00
WQ - alvás (AU)	4,29±0,69	4,00
WQ - fáradtság (testi) (AU)	4,35±0,78	3,00
WQ - fáradtság (szellemi) (AU)	4,47±0,71	4,00
WQ - stressz (AU)	4,76±0,56	4,00

Az U15-ös mérkőzéseken gyűjtött adatok leíró statisztikai jelentősen magasabb értékeket mutatnak az edzésekhez képest (5. táblázat). A TDU átlagosan közel 81 perc volt, amelyhez nagyjából 8500 méteres TDC társult. Az LTL- és MTL-alapú változók értékei jól elkülönülő tartományban mozogtak, és a mérkőzésekre jellemző fokozott fizikai igénybevételt tükrözték. Különös tekintettel az IMA és a PL értékeire – a mérkőzések kumulatív MTL-je kiemelkedően nagy volt. Az ITL-t jelző RPE és s-RPE értékek összhangban állnak a GPS-alapú mutatókkal.

5. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U15-ös mérkőzéseknél

Változók	Mérkőzések	
	átlag±szórás	tartomány
TDU (ó:p:mp)	1:20:57±0:06:18	0:21:03
TDC (m)	8529,77±986,16	4968,98
MSR (m)	1295,45±366,36	1817,43
HSR (m)	450,67±130,68	562,17
SPR (m)	66,18±41,22	163,16

ACC (m)	286,96±75,32	313,46
DEC (m)	119,55±37,12	145,26
IMA (AU)	464,12±173,01	878,00
PL (AU)	927,18±133,95	642,96
TDC/perc (m)	93,85±6,49	30,71
MSR/perc (m)	12,17±3,16	14,79
HSR/perc (m)	4,06±1,17	4,84
SPR/perc (m)	0,59±0,37	1,57
ACC/perc (m)	3,16±0,73	3,35
DEC/perc (m)	1,29±0,34	1,30
IMA/perc (AU)	6,27±2,02	9,59
PL/perc (AU)	10,74±1,19	6,02
RPE (AU)	8,32±0,68	3,00
s-RPE (AU)	673,31±77,88	366,00

Az U15-ös edzéseken mért korrelációs eredmények alapján az s-RPE és az RPE mérsékelt kapcsolatot mutatnak a legtöbb GPS-alapú mutatóval (6. táblázat). A TDC, valamint az MSR, HSR pozitív, statisztikailag szignifikáns korrelációt mutattak az s-RPE-vel ($r=0,41-0,52$; $p<0,001$) és az RPE-vel is ($r=0,25-0,38$; $p<0,001$). Hasonlóan az ACC- és DEC-értékekkel való összefüggések is következetesek és szignifikánsak, ami azt jelzi, hogy a játékosok által észlelt terhelés jól tükrözi a gyorsítási és lassítási terhelés nagyságát. Az IMA- és a PL-paraméterekkel való kapcsolatok szintén meghatározók, ami az MTL és az s-RPE összefüggését erősíti meg. Az intenzitási mutatók tekintetében a korrelációk általában gyengébbek, de a HSR/perc szignifikánsnak bizonyult az RPE-vel ($r=0,34$).

6. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U15-ös edzések tekintetében

Változók	Edzések
----------	---------

	s-RPE/RPE (r)	95% CI	p
TDC (m)	0,52 / 0,25	0,40–0,60 / 0,11–0,34	<0,001
MSR (m)	0,41 / 0,29	0,26–0,49 / 0,14–0,37	<0,001
HSR (m)	0,42 / 0,38	0,28–0,50 / 0,28–0,45	<0,001
SPR (m)	0,23 / 0,24	0,10–0,34 / 0,24–0,43	<0,001
ACC (m)	0,39 / 0,25	0,30–0,46 / 0,14–0,33	<0,001
DEC (m)	0,43 / 0,26	0,32–0,52 / 0,14–0,36	<0,001
IMA (AU)	0,39 / 0,19	0,31–0,47 / 0,08–0,28	<0,001
PL (AU)	0,49 / 0,19	0,41–0,58 / 0,07–0,27	<0,001
TDC/perc (m)	0,09 / 0,15	-0,09–0,21 / -0,01–0,27	0,07 / 0,04
MSR/perc (m)	0,28 / 0,25	0,06–0,33 / 0,10–0,33	<0,001
HSR/perc (m)	0,22 / 0,34	0,13–0,40 / 0,24–0,43	<0,001
SPR/perc (m)	0,15 / 0,21	0,03–0,25 / 0,10–0,30	0,01 / <0,001
ACC/perc (m)	0,23 / 0,15	-0,07–0,09 / 0,02–0,22	0,07 / <0,001
DEC/perc (m)	0,02 / 0,19	0,01–0,22 / 0,07–0,29	0,02 / <0,001
IMA/perc (AU)	-0,05 / 0,06	-0,02–0,05 / -0,04–0,15	0,35 / 0,23
PL/perc (AU)	0,05 / 0,04	-0,09–0,14 / -0,05–0,15	0,36 / 0,16

Az U15-ös mérkőzésadatokra vonatkozó korrelációs elemzés eredményei alapján markánsan gyengébb kapcsolatot találtunk az edzésekhez képest. Az s-RPE szignifikáns, erős kapcsolatot mutatott a TDC-vel ($r=0,53$; $p<0,001$), míg a PL-lel mérsékelt kapcsolatot ($r=0,44$; $p=0,001$). A többi ETL-változó esetében gyenge kapcsolatokat találtunk az észlelt terhelési változókkal (7. táblázat).

7. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U15-ös mérkőzések tekintetében

Változók	Mérkőzések		
	s-RPE/RPE (r)	95% CI	p

TDC (m)	0,53 / 0,13	0,42–0,66 / -0,07–0,35	<0,001 / 0,03
MSR (m)	0,14 / 0,01	0,05–0,39 / -0,12–0,26	0,14 / 0,96
HSR (m)	0,03 / -0,07	-0,20–0,27 / -0,30–0,22	0,84 / 0,58
SPR (m)	0,06 / 0,05	-0,28–0,27 / -0,17–0,20	0,63
ACC (m)	0,06 / -0,10	-0,20–0,34 / -0,26–0,16	0,64 / 0,46
DEC (m)	-0,05 / -0,11	-0,29–0,16 / -0,36–0,13	0,69 / 0,40
IMA (AU)	0,05 / -0,12	-0,21–0,38 / -0,34–0,17	0,71 / 0,38
PL (AU)	0,44 / 0,12	0,30–0,59 / -0,10–0,37	0,001 / 0,35
TDC/perc (m)	0,17 / 0,06	-0,02–0,37 / -0,18–0,30	0,21 / 0,67
MSR/perc (m)	0,02 / -0,04	-0,15–0,24 / -0,21–0,25	0,86 / 0,78
HSR/perc (m)	-0,14 / -0,11	-0,38–0,13 / -0,35–0,21	0,30 / 0,42
SPR/perc (m)	-0,01 / 0,07	-0,34–0,22 / -0,26–0,27	0,97 / 0,61
ACC/perc (m)	-0,13 / -0,19	-0,36–0,15 / -0,36–0,07	0,31 / 0,16
DEC/perc (m)	-0,21 / -0,16	-0,47– -0,01 / -0,21–0,11	0,11 / 0,22
IMA/perc (AU)	-0,09 / -0,17	-0,37–0,36 / -0,09–0,50	0,50 / 0,20
PL/perc (AU)	0,10 / 0,06	-0,11–0,36 / -0,19–0,35	0,47 / 0,63

Az U15-ös korosztály esetében elvégzett többváltozós lineáris regressziós modell alapján az RPE-értékek alakulására vonatkozó teljes modell szignifikáns magyarázóerővel rendelkezett ($R^2=0,119$; $p<0,001$). A standardizált regressziós együtthatók alapján két prediktor mutatott kapcsolatot az RPE-vel: a TDC ($\beta=0,154$, $t(351)=2,302$; $p=0,022$) szignifikáns előre jelzőnek bizonyult, és hasonlóan az SPR/perc ($\beta=0,191$, $t(351)=3,750$; $p<0,001$) is szignifikáns pozitív hatást mutatott.

Az s-RPE regressziós modell esetében bevont magyarázó változók szintén szignifikánsnak bizonyult ($R^2=0,361$; $p<0,001$). A prediktorok közül a TDC bizonyult a legerősebb előre jelző tényezőnek ($\beta=0,572$; $p<0,001$). Emellett az ACC ($\beta=0,170$; $p=0,022$) és az SPR/perc ($\beta=0,098$; $p=0,027$) is szignifikáns pozitív hatást mutattak. Az MSR/perc változó negatív regressziós előjellel rendelkezett ($\beta=-0,248$; $p<0,001$) (8. táblázat).

8. táblázat: Az U15-ös korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére

Kimeneti változó	Prediktor	β	t	p
RPE	TDC (m)	0,154	2,302	0,022
	MSR/perc (m)	0,116	1,604	0,110
	SPR/perc (m)	0,191	3,750	<0,001
	DEC/perc (m)	0,068	1,191	0,234
s-RPE	TDC (m)	0,572	9,430	<0,001
	ACC (m)	0,170	2,308	0,022
	DEC (m)	0,094	1,207	0,228
	MSR/perc (m)	-0,248	-4,339	<0,001
	SPR/perc (m)	0,098	2,224	0,027

5.1.2 Az U17-es korosztály eredményei

A 9–10. táblázatok az ETL-változók, valamint az RPE, az s-RPE és a WQ értékeinek leíró statisztikáit mutatják be U17-es edzések és mérkőzések tekintetében.

Az edzésidő, valamint az ETL-mutatók jelentős variabilitást mutattak. A TDC átlagosan 4413 méter volt, míg az intenzitási paraméterek – különösen a TDC/perc és az ACC/perc – széles tartományban mozogtak. Az ITL-mutatók közül az RPE átlagos értéke 5,15 AU, míg az s-RPE 353 AU volt. A WQ változói közepes stabilitást mutattak, mérsékelt szórással (9. táblázat).

9. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U17-es edzések tekintetében

Változók	Edzések	
	átlag±szórás	tartomány
TDU (ó:p:mp)	1:08:41±0:19:41	1:24:13
TDC (m)	4413,30±1517,78	6812,50

MSR (m)	365,57±269,91	1652,98
HSR (m)	101,47±96,24	469,88
SPR (m)	16,74±29,18	141,27
ACC (m)	178,56±83,33	393,93
DEC (m)	63,35±33,79	166,66
IMA (AU)	416,58±187,09	884,00
PL (AU)	477,54±158,58	1045,77
TDC/perc (m)	68,45±16,69	99,30
MSR/perc (m)	5,63±5,41	45,01
HSR/perc (m)	1,47±1,51	13,27
SPR/perc (m)	0,21±0,35	1,71
ACC/perc (m)	2,72±1,11	5,73
DEC/perc (m)	0,95±0,44	2,41
IMA/perc (AU)	6,48±2,63	31,12
PL/perc (AU)	7,42±1,84	14,47
RPE (AU)	5,15±2,09	7,00
s-RPE (AU)	353,29±205,07	1162,00
TQR (AU)	4,18±0,72	4,00
WQ - alvás (AU)	4,11±0,79	4,00
WQ - fáradtság (testi) (AU)	4,20±0,76	3,00
WQ - fáradtság (szellemi) (AU)	4,42±0,79	4,00
WQ - stressz (AU)	4,73±0,55	2,00

Az U17-es mérkőzésadatok leíró statisztikai elemzése alapján jelentősen magasabb értékeket rögzítettünk, mint edzéseken. A TDC átlaga 9767 méter volt, míg a HSR-, SPR- és ACC-változók nagy szórással jellemezték a mérkőzéseket, amik számottevő egyéni különbségekre utalnak. Az intenzitási paraméterek közül a TDC átlagosan 108 méter volt percenként. Az RPE értéke 8,87 volt, míg az s-RPE 809 AU-t tett ki átlagosan, amely a mérkőzésterhelés egységesen magas szubjektív megítélését jelzi (10. táblázat).

10. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U17-es mérkőzések tekintetében

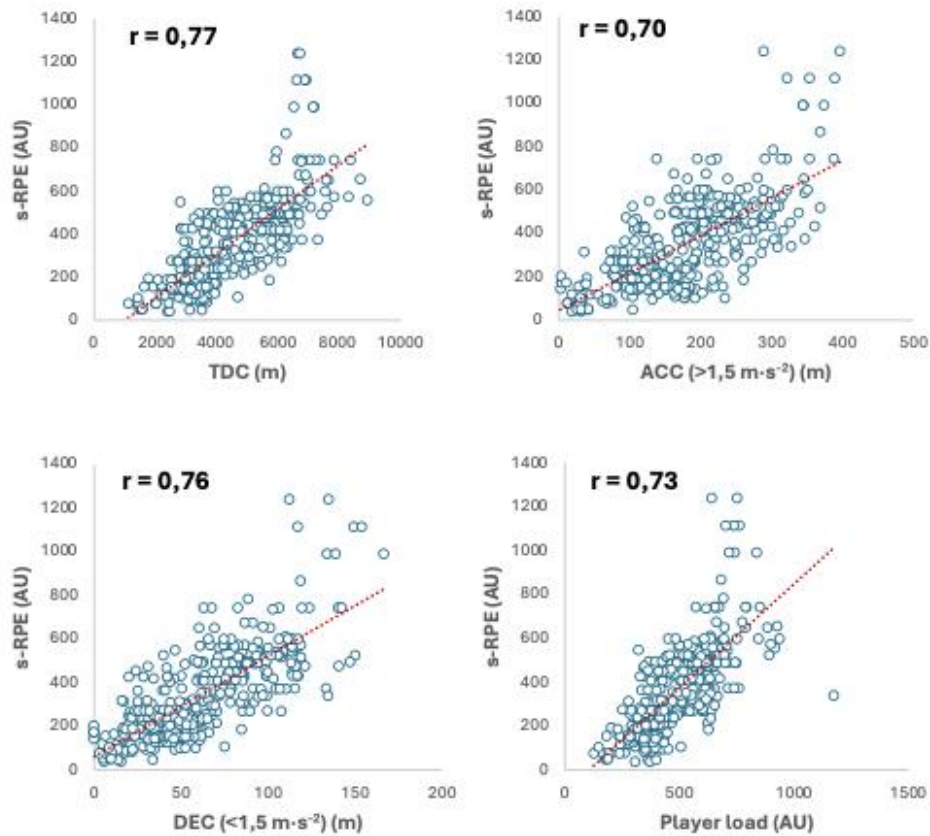
Változók	Mérkőzések	
	átlag±szórás	tartomány
TDU (ó:p:mp)	1:31:04±0:07:11	0:27:32
TDC (m)	9766,66±901,89	4113,48
MSR (m)	1421,92±277,11	1147,06
HSR (m)	484,24±152,20	579,17
SPR (m)	104,75±62,12	258,63
ACC (m)	347,66±59,75	257,41
DEC (m)	137,34±24,89	101,14
IMA (AU)	601,82±138,97	618,00
PL (AU)	997,07±116,84	536,89
TDC/perc (m)	107,53±9,07	39,63
MSR/perc (m)	15,70±3,18	11,62
HSR/perc (m)	5,35±1,73	6,85
SPR/perc (m)	1,17±0,72	3,37
ACC/perc (m)	3,83±0,66	2,87
DEC/perc (m)	1,52±0,30	1,26
IMA/perc (AU)	6,63±1,54	7,75
PL/perc (AU)	10,98±1,32	6,62
RPE (AU)	8,87±0,64	2,00
s-RPE (AU)	808,62±95,54	420,00

Az U17-es korosztály edzései tekintetében általában a terjedelmi változók szorosabb kapcsolatot mutatnak az ITL-változókkal, mint az intenzitási változók (11. táblázat). Az RPE nagyon erős korrelációt mutatott a PL-lel ($r=0,71$), míg az s-RPE a TDC-vel ($r=0,77$), az ACC-vel ($r=0,70$), a DEC-cel ($r=0,76$) és a PL-lel ($r=0,73$) (mindegyik esetben $p<0,001$).

11. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U17-es edzések tekintetében

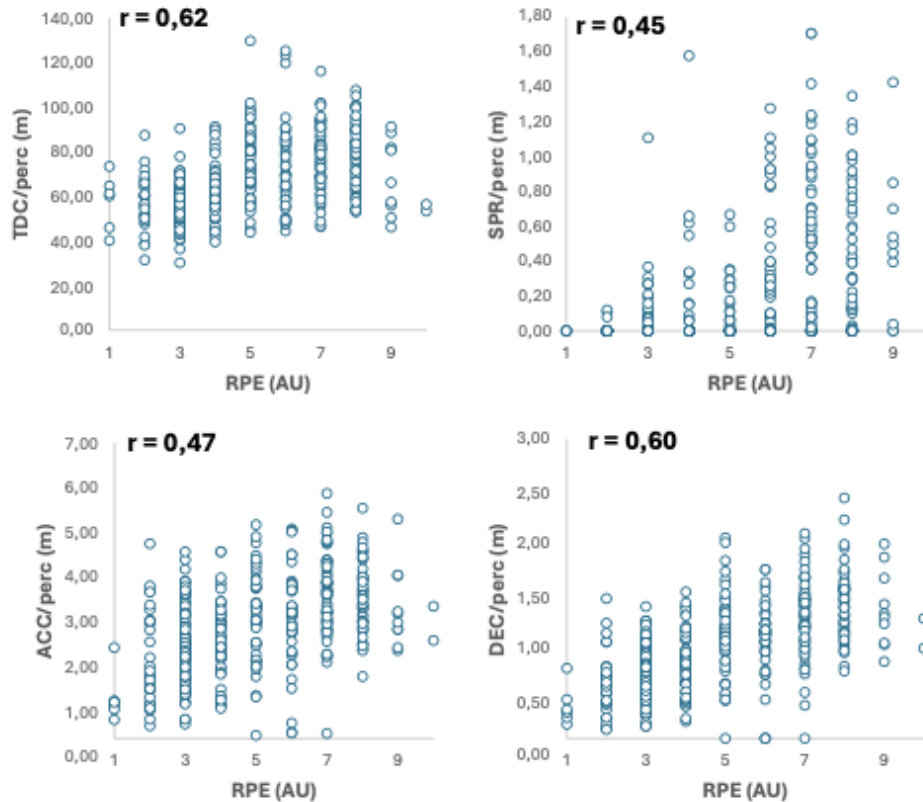
Változók	Edzések		
	s-RPE/RPE (r)	95% CI	p
TDC (m)	0,77 / 0,62	0,74–0,79 / 0,60–0,70	<0,001
MSR (m)	0,54 / 0,60	0,45–0,63 / 0,55–0,64	<0,001
HSR (m)	0,64 / 0,59	0,57–0,69 / 0,53–0,63	<0,001
SPR (m)	0,62 / 0,51	0,51–0,70 / 0,42–0,58	<0,001
ACC (m)	0,70 / 0,51	0,65–0,76 / 0,55–0,70	<0,001
DEC (m)	0,76 / 0,47	0,73–0,81 / 0,64–0,76	<0,001
IMA (AU)	0,51 / 0,63	0,40–0,61 / 0,35–0,58	<0,001
PL (AU)	0,73 / 0,71	0,67–0,79 / 0,55–0,69	<0,001
TDC/perc (m)	0,23 / 0,62	0,15–0,36 / 0,37–0,53	<0,001
MSR/perc (m)	0,15 / 0,37	0,06–0,37 / 0,30–0,54	<0,001
HSR/perc (m)	0,29 / 0,43	0,17–0,46 / 0,36–0,56	<0,001
SPR/perc (m)	0,40 / 0,45	0,32–0,45 / 0,38–0,52	<0,001
ACC/perc (m)	0,32 / 0,47	0,25–0,41 / 0,39–0,55	<0,001
DEC/perc (m)	0,46 / 0,60	0,39–0,54 / 0,54–0,67	<0,001
IMA/perc (AU)	0,09 / 0,25	0,02–0,18 / 0,15–0,35	0,07 / <0,001
PL/perc (AU)	0,15 / 0,38	0,07–0,27 / 0,30–0,47	<0,001

Az s-RPE vonatkozásában, nagyon erős korrelációkat találtunk a TDC-vel, az ACC-vel, a DEC-cel és a PL-lel ($r=0,70-0,77$ tartományban; $p<0,001$) (3. ábra).



3. ábra: Az s-RPE és a GPS- és IMU-alapú terhelésmutatók közötti kapcsolat U17-es korosztályú labdarúgók edzésein

Az intenzitásalapú mutatók vizsgálata során megállapítottuk, hogy a TDC/perc, SPR/perc, ACC/perc és a DEC/perc mutatók adták a legerősebb kapcsolatot az RPE-vel, amelyek korrelációs együtthatói az $r=0,45-0,62$ tartományban mozogtak ($p<0,001$) (4. ábra).



4. ábra: Az RPE és az ETL-alapú terhelésmutatók közötti kapcsolat U17-es korosztályú labdarúgók edzésein

A mérkőzéseknél a TDC ($r=0,41$) és az ACC ($r=0,35$) mutatott közepes kapcsolatot az s-RPE-vel, míg a többi változó esetében gyenge korrelációkat találtunk. Az RPE tekintetében egyedül az ACC-nél találtunk közepes kapcsolatot ($r=0,32$) (12. táblázat).

12. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U17-es mérkőzések tekintetében

Változók	Mérkőzések		
	s-RPE/RPE (r)	95% CI	p
TDC (m)	0,41 / 0,12	0,18–0,60 / -0,19–0,38	0,01 / 0,36
MSR (m)	0,07 / 0,03	-0,17–0,30 / -0,26–0,28	0,59 / 0,81
HSR (m)	0,09 / 0,17	-0,19–0,28 / -0,18–0,40	0,47 / 0,19

SPR (m)	-0,05 / 0,03	-0,29–0,29 / -0,20–0,30	0,72 / 0,83
ACC (m)	0,35 / 0,32	0,06–0,50 / -0,05–0,50	0,01 / 0,01
DEC (m)	0,16 / 0,26	-0,11–0,41 / -0,04–0,47	0,20 / 0,04
IMA (AU)	0,23 / 0,06	-0,13–0,36 / -0,28–0,32	0,33 / 0,65
PL (AU)	0,29 / 0,08	-0,06–0,51 / -0,21–0,34	0,02 / 0,52
TDC/perc (m)	0,17 / 0,06	-0,583– -0,09 / -0,45–0,15	0,21 / 0,67
MSR/perc (m)	0,02 / -0,04	-0,50– 0,06 / -0,37–0,18	0,86 / 0,78
HSR/perc (m)	-0,14 / -0,11	-0,38–0,09 / -0,13–0,33	0,30 / 0,42
SPR/perc (m)	-0,01 / 0,07	-0,40–0,09 / -0,26–0,28	0,97 / 0,61
ACC/perc (m)	-0,13 / -0,19	-0,31–0,15 / -0,12–0,44	0,31 / 0,16
DEC/perc (m)	-0,21 / -0,16	-0,42– -0,01 / -0,15–0,40	0,11 / 0,22
IMA/perc (AU)	-0,09 / -0,17	-0,39–0,13 / -0,32–0,22	0,50 / 0,20
PL/perc (AU)	0,10 / 0,06	-0,59– -0,03 / -0,365–0,11	0,47 / 0,63

Az U17-es korcsoport esetében a lineáris regressziós elemzés eredményei során jelentős magyarázóerőt találtunk az RPE-értékek tekintetében ($R^2=0,589$; $p<0,001$). A modellben alkalmazott prediktorváltozók közül valamennyi szignifikánsnak bizonyult. A TDC a legerősebb előre jelzőnek mutatkozott ($\beta=0,386$, $t(382)=9,45$; $p<0,001$). Szintén pozitív regressziós együtthatót mutatott az SPR/perc ($\beta=0,219$; $p<0,001$), a DEC/perc ($\beta=0,313$; $p<0,001$) és az MSR/perc is ($\beta=0,126$; $p<0,001$).

Az s-RPE-re illesztett regressziós modell nagyon magas magyarázóerőt mutatott az ETL-alapú változókkal ($R^2=0,689$; $p<0,001$). A prediktorok közül – az RPE-hez hasonlóan – a TDC bizonyult a legerősebb magyarázó tényezőnek ($\beta=0,511$, $t(381)=10,675$; $p<0,001$). A DEC szintén erőteljes pozitív hatást mutatott ($\beta=0,340$; $p<0,001$), míg emellett az SPR/perc változó is jelentős kapcsolatot jelzett ($\beta=0,156$; $p<0,001$). A modell másik érdekes eleme, hogy az MSR/perc negatív előjellel társul az s-RPE-vel ($\beta=-0,120$; $p<0,001$) (13.táblázat), amely az U15-ös eredmények tekintetében is megfigyelhető volt.

13. táblázat: Az U17-es korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére

Kimeneti változó	Prediktor	β	t	p
RPE	TDC (m)	0,386	9,451	<0,001
	MSR/perc (m)	0,126	3,555	
	SPR/perc (m)	0,219	6,217	
	DEC/perc (m)	0,313	7,997	
s-RPE	TDC (m)	0,511	10,675	<0,001
	ACC (m)	-0,008	-0,115	0,908
	DEC (m)	0,340	4,517	<0,001
	MSR/perc (m)	-0,120	-3,746	<0,001
	SPR/perc (m)	0,156	4,863	<0,001

5.1.3 U19-es korosztály eredményei

A 14–15. táblázatok az ETL-változók, valamint az RPE, s-RPE és WQ értékeinek leíró statisztikáit mutatják be az U19-esek edzéseinek és mérkőzéseinek tekintetében.

Az edzéseken az átlagos edzésidő mintegy 63 perc volt, mérsékelt szórással (± 14 perc). A TDC átlagosan közel 4400 méter volt. A különböző sebességnőkben megtett távok közül az MSR dominált (átlagban 385 méterrel), ezt követte a HSR (átlagban 134 méterrel), majd a sprinttáv (átlagban 42 méterrel). A gyorsulások (± 87 méter) és a lassulások (± 31 méter) szintén jelentős szórást mutattak. A WQ alsóskáláin minden értéknél mérsékelt variabilitást találtunk (14. táblázat).

14. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U19-es edzések tekintetében

Változók	Edzések	
	átlag \pm szórás	tartomány

TDU (ó:p:mp)	1:03:21±0:13:50	0:58:30
TDC (m)	4359,11±1497,82	6723,56
MSR (m)	385,17±262,13	2039,74
HSR (m)	134,20±93,68	426,86
SPR (m)	41,52±67,40	414,13
ACC (m)	201,76±87,24	557,48
DEC (m)	66,36±30,91	159,14
IMA (AU)	253,83±101,70	690,00
PL (AU)	465,66±161,03	859,67
TDC/perc (m)	67,71±16,60	90,06
MSR/perc (m)	2,06±1,51	7,05
HSR/perc (m)	0,53±0,94	6,14
SPR/perc (m)	9,47±22,02	112,42
ACC/perc (m)	3,09±1,07	6,61
DEC/perc (m)	1,01±0,40	2,41
IMA/perc (AU)	5,88±2,17	15,97
PL/perc (AU)	7,22±1,80	9,39
RPE (AU)	4,62±1,70	7,00
s-RPE (AU)	299,07±144,10	774,00
TQR (AU)	3,99±0,79	4,00
WQ - alvás (AU)	4,04±0,71	3,00
WQ - fáradtság (testi) (AU)	4,12±0,74	4,00
WQ - fáradtság (szellemi) (AU)	4,09±0,84	4,00
WQ - stressz (AU)	4,27±1,05	4,00

Az U19-es mérkőzésadatok leíró statisztikai elemzése alapján szintén jelentősen magasabb terjedelmi és intenzitási mutatókat rögzítettünk az edzésadatokhoz képest, ahogy U15 és U17-nél is. A TDU átlagosan 90 perc volt, mérsékelt szórással (± 9 perc). A TDC átlagosan 9600 métert tett ki. A különböző sebességtartományokban megtett távok közül az MSR átlagosan 1372 m-t tett ki, míg a HSR 500 métert, a sprintávolság pedig 153 méter volt. Az RPE-adatok átlagosan magas értékeket mutattak, amelyek nagy

intenzitású ITL-ről tanúskodnak. Az LTL-alapú intenzitási mutatók közül az SPR/perc szemmel láthatóan magasabb az edzésadatokhoz képest (átlagosan $\pm 15,55$ vs. $\pm 9,47$) (15. táblázat).

15. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése U19-es mérkőzések tekintetében

Változók	Mérkőzések	
	átlag \pm szórás	tartomány
TDU (ó:p:mp)	1:30:49 \pm 0:09:08	0:29:22
TDC (m)	9648,29 \pm 1068,61	4751,20
MSR (m)	1372,12 \pm 298,46	1340,33
HSR (m)	500,24 \pm 158,18	703,55
SPR (m)	153,15 \pm 97,38	365,00
ACC (m)	366,47 \pm 90,62	439,92
DEC (m)	135,56 \pm 33,77	148,83
IMA (AU)	384,44 \pm 132,08	535,00
PL (AU)	974,41 \pm 168,24	729,63
TDC/perc (m)	106,58 \pm 9,47	40,28
MSR/perc (m)	5,58 \pm 1,89	8,24
HSR/perc (m)	1,54 \pm 0,96	3,61
SPR/perc (m)	15,55 \pm 21,57	100,59
ACC/perc (m)	4,06 \pm 1,03	4,22
DEC/perc (m)	1,50 \pm 0,40	1,61
IMA/perc (AU)	6,66 \pm 2,47	11,49
PL/perc (AU)	10,78 \pm 1,81	7,02
RPE (AU)	8,75 \pm 1,03	3,00
s-RPE (AU)	792,96 \pm 138,62	505,00

Az U19-es korosztály edzésein az s-RPE és GPS- és IMU-alapú paraméterek között többnyire szignifikáns, közepes-erős erősségű kapcsolatok voltak megfigyelhetők. A legerősebb összefüggéseket a TDC ($r=0,61$), a DEC ($r=0,61$), a player load ($r=0,61$) és az ACC ($r=0,59$) mutatták az s-RPE-vel

(minden esetben: $p < 0,001$). Ugyanezen az ETL-változóknál az RPE mérsékeltbb korrelációkat eredményezett ($r = 0,36-0,43$). Az MSR és HSR esetében az s-RPE korrelációs értékei a $0,49-0,55$ közötti tartományban eredményeztek, míg az RPE $0,40-0,46$ közötti tartományban mozgott. Az IMA-változó esetében alacsonyabb, de szignifikáns kapcsolatok voltak kimutathatók (s-RPE: $r = 0,42$; RPE: $r = 0,23$). Az intenzitásalapú mutatók esetében általában gyengébb korrelációk jelentek meg. Az s-RPE r-értékei jellemzően $0,30-0,38$ között mozogtak, míg az RPE egyes változóknál – pl. MSR/perc ($r = 0,42$) és SPR/perc ($r = 0,45$) – hasonló vagy erősebb kapcsolatot mutatott.

16. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U19-es edzések tekintetében

Változók	Edzések		
	s-RPE/RPE (r)	95% CI	p
TDC (m)	0,61 / 0,36	0,55–0,65 / 0,25–0,42	<0,001
MSR (m)	0,55 / 0,40	0,49–0,62 / 0,33–0,47	<0,001
HSR (m)	0,49 / 0,46	0,42–0,55 / 0,37–0,50	<0,001
SPR (m)	0,39 / 0,37	0,17–0,37 / 0,30–0,50	<0,001
ACC (m)	0,59 / 0,39	0,54–0,67 / 0,34–0,48	<0,001
DEC (m)	0,61 / 0,43	0,55–0,68 / 0,37–0,52	<0,001
IMA (AU)	0,42 / 0,23	0,36–0,49 / 0,14–0,30	<0,001
PL (AU)	0,61 / 0,36	0,53–0,64 / 0,26–0,42	<0,001
TDC/perc (m)	0,32 / 0,33	0,22–0,39 / 0,24–0,41	<0,001
MSR/perc (m)	0,30 / 0,42	0,21–0,38 / 0,34–0,48	<0,001
HSR/perc (m)	0,10 / 0,26	0,01–0,20 / 0,18–0,37	0,04 / <0,001
SPR/perc (m)	0,33 / 0,45	0,25–0,43 / 0,39–0,52	<0,001
ACC/perc (m)	0,35 / 0,36	0,26–0,43 / 0,29–0,45	<0,001
DEC/perc (m)	0,38 / 0,40	0,29–0,47 / 0,32–0,50	<0,001
IMA/perc (AU)	0,15 / 0,16	0,06–0,22 / 0,06–0,23	<0,001

PL/perc (AU)	0,31 / 0,33	0,20–0,38 / 0,24–0,40	<0,001
--------------	-------------	-----------------------	--------

A mérkőzések elemzése során a szubjektív és az objektív terhelési mutatók közötti kapcsolatok változatosabbak voltak az edzéssel összevetve. Az s-RPE közepes erősségű korrelációt mutatott a TDC ($r=0,59$), az IMA ($r=0,54$) és a player load ($r=0,45$) változókkal (minden esetben: $p<0,001$). Ezzel szemben az RPE gyengébb, de közepes összefüggést jelzett az ETL-változókkal ($r=0,31–0,43$). A sebességzónákhoz kapcsolódó mutatók esetében többnyire alacsony korrelációk jelentek meg; az MSR mindkét szubjektív változóval gyenge, de szignifikáns kapcsolatot mutatott, míg a HSR kizárólag az RPE-vel volt szignifikáns ($r=0,29$). Az SPR egyik mutatóval sem mutatott érdemi összefüggést. Az intenzitási mutatók többsége nem volt szignifikáns, kivételt képez ez alól a DEC/perc és a PL/perc, ugyanis a DEC/perc mind az s-RPE-vel, mind az RPE-vel mérsékelt kapcsolatot jelzett ($r=0,35–0,37$), míg a PL/perc kizárólag az RPE-hez kapcsolódott szignifikánsan ($r=0,25$).

17. táblázat: Az s-RPE, az RPE és a különböző GPS- és IMU-alapú paraméterek (terjedelmi és intenzitási mutatók) közötti kapcsolat korrelációs együtthatókkal az U19-es mérkőzések tekintetében

s-RPE / RPE	Mérkőzések		
	r	95% CI	p
TDC (m)	0,59 / 0,31	0,43–0,70 / 0,011–0,47	<0,001 / 0,01
MSR (m)	0,30 / 0,29	0,12–0,43 / 0,09–0,45	0,01
HSR (m)	0,15 / 0,29	-0,13–0,42 / 0,05–0,55	0,21 / 0,01
SPR (m)	-0,10 / 0,01	-0,37–0,12 / -0,21–0,23	0,41 / 0,98
ACC (m)	0,27	-0,05–0,47 / -0,08–0,43	0,02 / 0,02
DEC (m)	0,19 / 0,24	-0,13–0,48 / -0,10–0,49	0,10 / 0,04
IMA (AU)	0,54 / 0,43	0,40–0,65 / 0,16–0,58	<0,001
PL (AU)	0,45 / 0,42	0,30–0,63 / 0,27–0,58	<0,001
TDC/perc (m)	-0,14 / 0,06	-0,25–0,08 / -0,11–0,28	0,25 / 0,62
MSR/perc (m)	-0,10 / 0,18	-0,41–0,21 / -0,10–0,47	0,41 / 0,13
HSR/perc (m)	-0,24 / -0,05	-0,47–0,02 / -0,26–0,18	0,04 / 0,68

SPR/perc (m)	-0,02 / -0,01	-0,22–0,22 / -0,27–0,18	0,87 / 0,93
ACC/perc (m)	-0,04 / 0,14	-0,42–0,23 / -0,25–0,37	0,72 / 0,22
DEC/perc (m)	0,35 / 0,37	-0,45–0,23 / -0,26–0,38	0,01
IMA/perc (AU)	-0,12 / 0,11	0,19–0,48 / 0,09–0,50	0,31 / 0,38
PL/perc (AU)	-0,01 / 0,25	-0,17–0,24 / 0,09–0,47	0,99 / 0,03

Az U19-es korosztály esetében a lineáris regresszió szignifikáns kapcsolatot mutatott az RPE és az ETL-mutatók között, és a modellünk magyarázóereje pedig közepes–magas volt ($R^2=0,443$; $p<0,001$). Az U19-es korosztályban – a többi korosztályhoz hasonlóan – a TDC jelent meg a legerősebb előrejelző változóként ($\beta=0,411$, $t(439)=9,343$; $p<0,001$). Továbbá az SPR/perc változó is jelentős pozitív hatást mutatott ($\beta=0,508$; $p<0,001$).

Az s-RPE előrejelzését célzó regressziós modellünk szintén szignifikáns magyarázóerővel rendelkezett ($R^2=0,617$; $p<0,001$). Ahogy a korábbi eredmények tekintetében is, úgy a legmarkánsabb prediktornak a TDC bizonyult, amely erőteljes pozitív kapcsolatot mutatott az s-RPE változóval ($\beta=0,654$, $t(438)=13,448$; $p<0,001$). Az SPR/perc ugyancsak szignifikáns és közepes erősségű előre jelzőnek bizonyult ($\beta=0,513$; $p<0,001$). Az MSR/perc negatív irányú és szignifikáns összefüggést mutatott ($\beta=-0,148$; $p<0,001$), csak úgy, mint a többi korosztály esetében is.

18. táblázat: Az U19-es korosztály regressziós modelljeinek paraméterbecslései az RPE és az s-RPE előrejelzésére

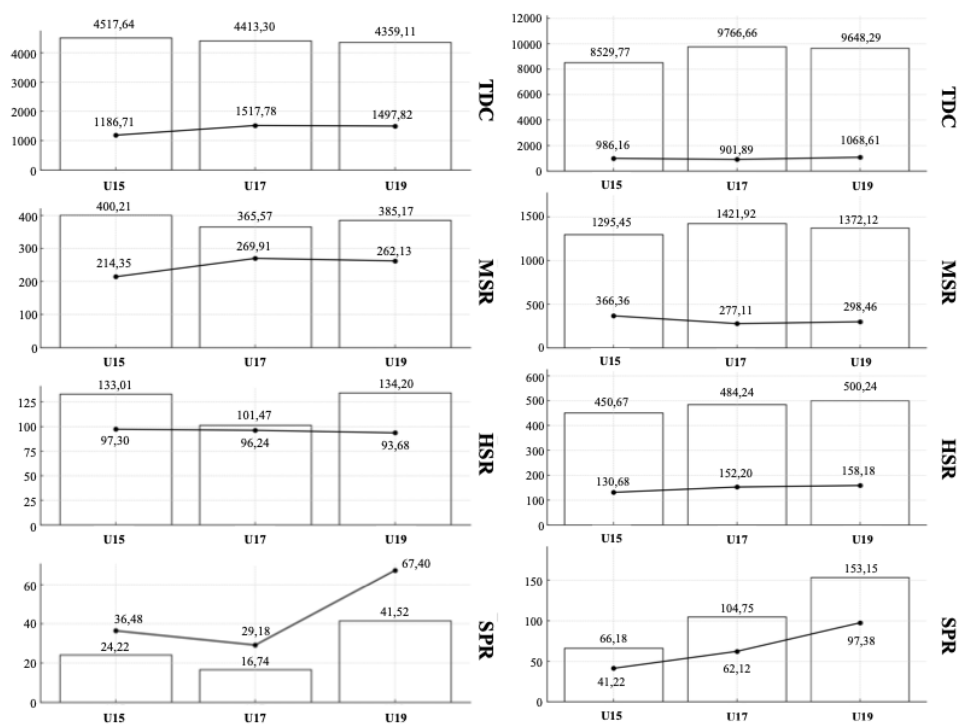
Kimeneti változó	Prediktor	β	t	p
RPE	TDC (m)	0,411	9,343	<0,001
	MSR/perc (m)	0,062	1,366	0,173
	SPR/perc (m)	0,508	12,096	<0,001
	DEC/perc (m)	0,085	1,838	0,067
s-RPE	TDC (m)	0,654	13,746	<0,001
	ACC (m)	0,140	1,900	0,058

	DEC (m)	0,014	0,181	0,856
	MSR/perc (m)	- 0,148	-4,049	<0,001
	SPR/perc (m)	0,513	14,186	<0,001

5.1.4 A három korosztály eredményeinek összehasonlítása

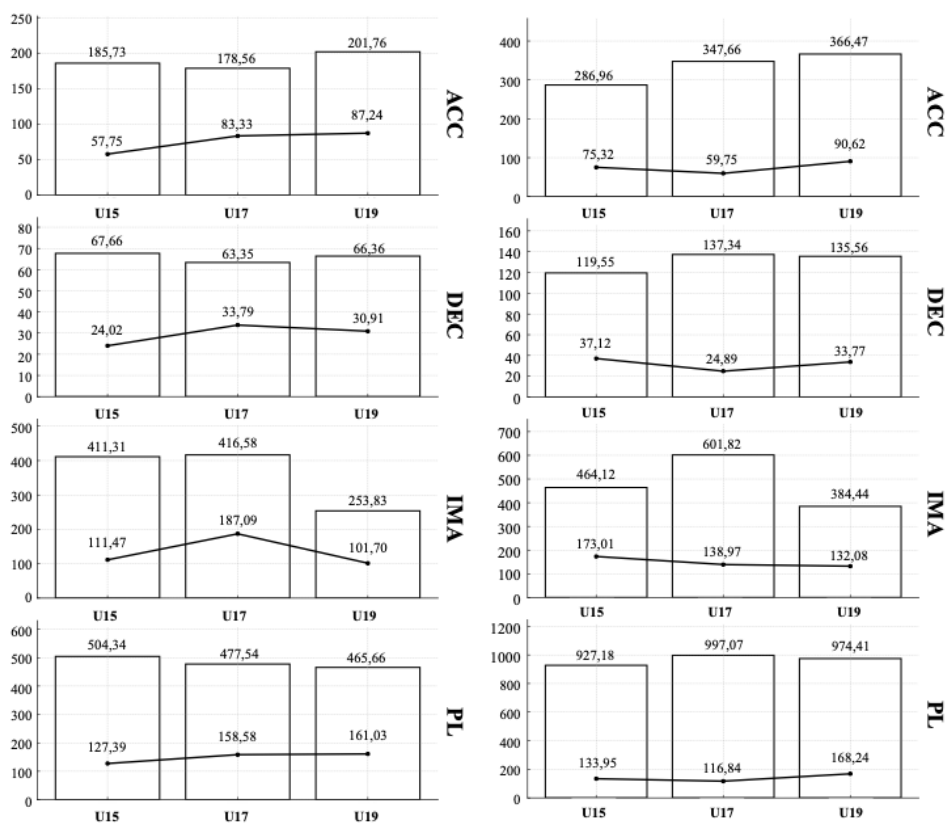
A három korosztály eredményeinek összehasonlításánál az átlagokat (oszlopdiaagramok) és a szórási (vonaldiagramok) adatokat vizsgáltuk meg.

A terjedelmi LTL-változókat tekintve azt találtuk, hogy az edzésen a TDC mindhárom korosztályban hasonló nagyságrendű volt, míg mérkőzésen az U17 és U19 korcsoportokban magasabb értékeket mutatott az U15-höz viszonyítva. Az MSR- és HSR-változók edzésen az U19 korcsoportban bizonyultak a legmagasabb átlagértékűnek, míg mérkőzésen az U17 és U19-ben. Az SPR-változó mind edzésen, mind mérkőzésen a nagyobb korosztályoknál növekedést mutatott (5. ábra).



5. ábra: A GPS-alapú terjedelmi terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen

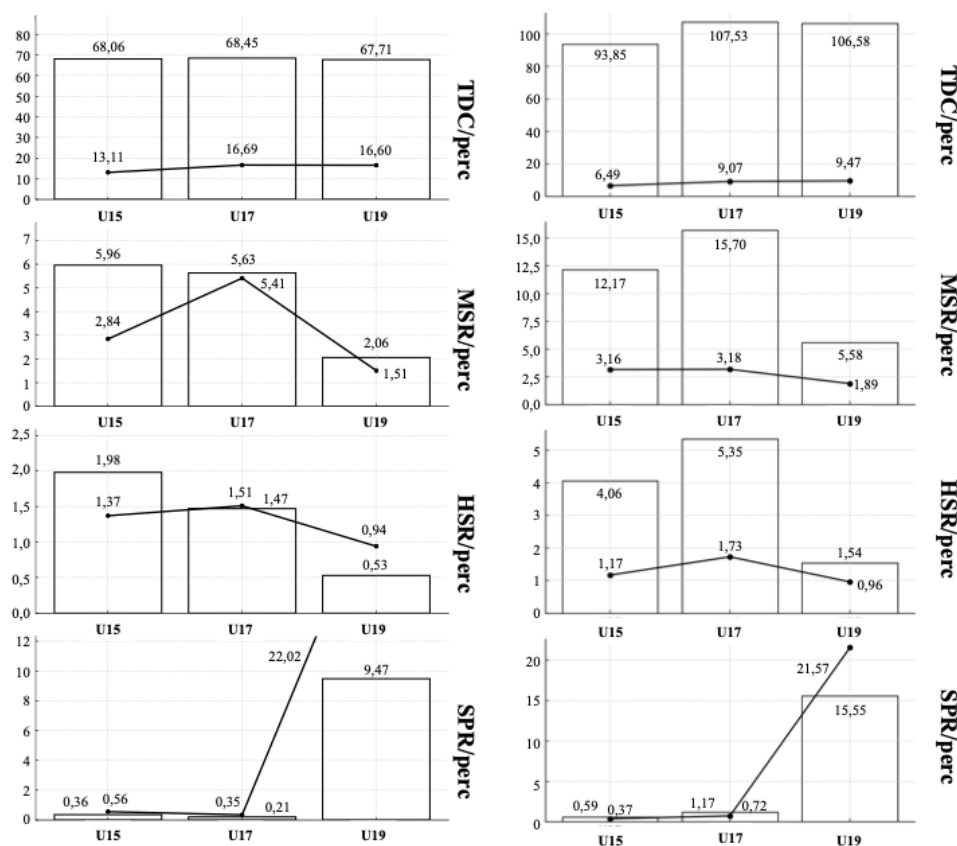
A terjedelmi MTL-változókon belül az ACC esetében mérkőzőskörnyezetben – minden korcsoportnál – nagyobb értékeket találtunk, mint edzésen, és a legmagasabb adatmennyiség – mindkét aktivitási környezetben – az U19-es korcsoportot jellemezte. A DEC mind edzésen, mind mérkőzésen hasonló nagyságrendben alakult a három korcsoport között, számottevő eltérést nem mutatva. Az IMA-mutatók edzésen az U17-es korosztályban, míg mérkőzésen az U15 esetében bizonyultak a legnagyobbak. A PL-változó mérkőzésen minden korosztálynál magasabb volt, mint edzésen, és az U15–U19 korosztályi sorrendben nem volt egyértelmű növekedési tendencia (6. ábra).



6. ábra: Az IMU-alapú terjedelmi terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen

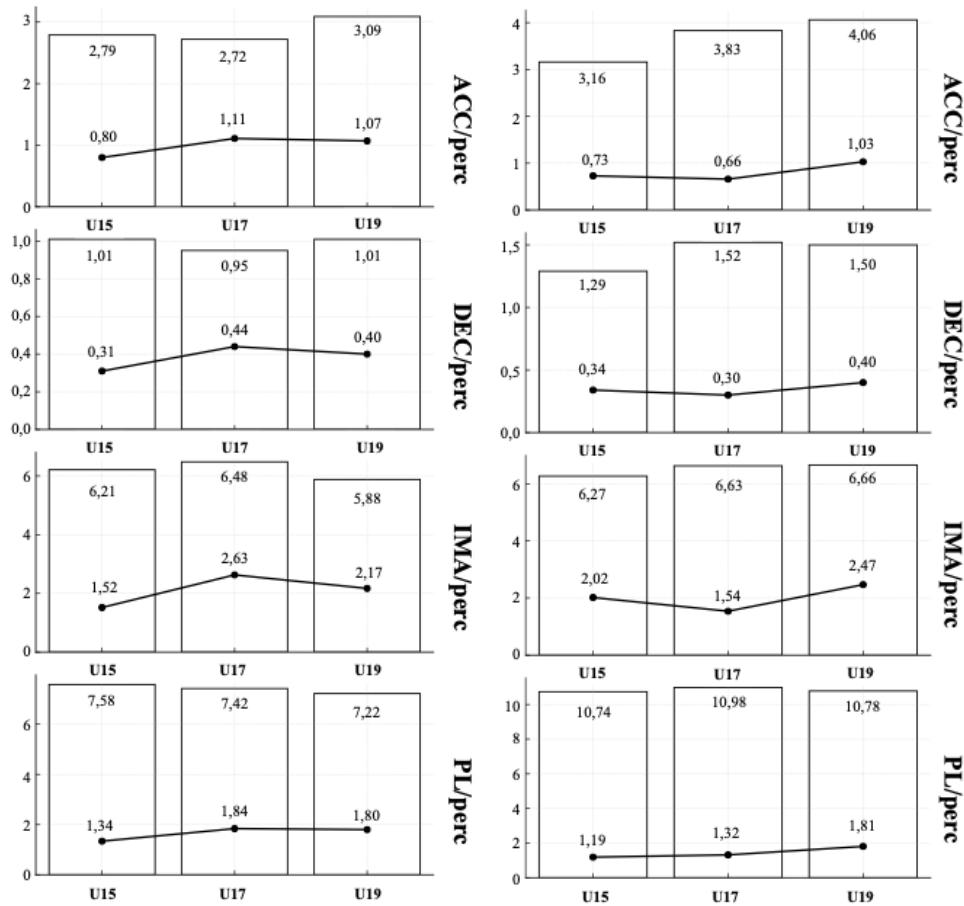
Az intenzitásalapú LTL-változóknál a TDC/perc mérkőzésen minden korcsoportnál magasabbnak bizonyult, mint edzésen, ugyanakkor a három életkori csoport között nem volt markáns eltérés. Az MSR/perc és a HSR/perc edzésen és mérkőzésen is az U17-es korosztályban bizonyult a legnagyobb

átlagértékkel. Számottevően az SPR/perc kizárólag az U19 korcsoportban jelent meg edzésen és mérkőzésen is (7. ábra).



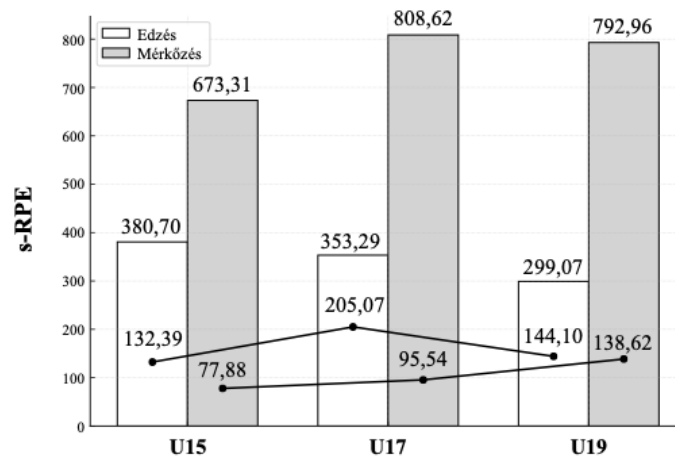
7. ábra: A GPS-alapú intenzitási terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen

Az intenzitásalapú MTL-változóknál az ACC/perc mérkőzéskörnyezetben minden korcsoportnál nagyobb értéket mutatott, mint edzésen, és mindkét környezetben az U19-ben volt a legmagasabb átlagérték. A DEC/perc tekintetében mérkőzésen minimális különbségek jelentkezték a csoportok között, míg edzésen az U17-es korosztályban volt megfigyelhető némileg magasabb átlagérték. Az IMA/perc az U17-es korcsoportban érte el a legnagyobb átlagértéket, mérkőzésen azonban a három korcsoport eredménye közel azonos szinten helyezkedett el. A PL/perc mérkőzésen minden életkori csoportnál jelentősen magasabbnak bizonyult, ugyanakkor a három korcsoport közötti különbség nem mutatott egyértelmű növekedési trendet a magasabb életkorral rendelkezőknél (8. ábra).



8. ábra: Az IMU-alapú intenzitási terhelésváltozók átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen

Az s-RPE átlagértékek minden vizsgált korosztálynál magasabbnak bizonyultak mérkőzésen, mint edzésen. A mérkőzés tekintetében az észlelt terhelés az U17-es korcsoportban érte el a legnagyobb átlagértéket, míg edzésen a növekedés U15–U19 irányban csak mérsékelten volt kimutatható (9. ábra).



9. ábra: Az s-RPE átlag- és szórásértékei a három korosztályban edzésen és mérkőzésen

A multigroup SEM eredményei alapján a terhelésmutatók közötti reziduális kovarianciák mintázata hasonló volt az egyes korcsoportokban. A kötött (constrained) modellben alkalmazott egyenlőségi kényszerek következtében a paraméterbecslések mindhárom korosztályban azonos értéket vettek fel. A TDC–s-RPE kapcsolat esetében mindhárom korcsoport becslött kovarianciaértéke 130443,487 volt. Hasonló eredményt kaptunk a PL–s-RPE kapcsolat tekintetében (-3466,033), illetve a DEC–s-RPE kapcsolatnál (1594,177). A becslési hibák (SE) és a z-értékek szintén azonos nagyságrendűek voltak, és valamennyi esetben szignifikáns paraméterbecslést jeleztek ($p < 0,001$), azonban a paraméterek értéke nem mutatott eltérést a három korcsoport között (19. táblázat).

19. táblázat: A reziduális kovariancia-paraméterek becslése U15, U17 és U19 korcsoportos SEM-modellben

Változópair	Korcsoport	Becslött kovariancia	SE	z-érték	p-érték
TDC–s-RPE	U15	130443,487	4681,056	27,87	<0,001
	U17				
	U19				
PL–s-RPE	U15	-3466,033	508,552	-6,82	<0,001

	U17				
	U19				
DEC-s-RPE	U15	1594,177	118,144	13,49	<0,001
	U17				
	U19				

A kötött és nem kötött (unconstrained) modellek összehasonlítása ugyanakkor szignifikáns eltérést jelzett ($\Delta\chi^2 = 69,8$; $\Delta df = 6$; $p < 0,001$). A kovariancia-paraméterek statisztikailag eltérnek a korcsoportok között, ugyanakkor az egyes paraméterek előjele és relatív nagyságrendje hasonló mintázatot mutatott. A constrained modell illeszkedési mutatói a következők voltak: CFI=0,170; TLI=0,004; RMSEA=0,763 (90% CI: 0,742–0,785); SRMR=0,525, míg az unconstrained modell esetében: CFI=0,152; TLI=0,697; RMSEA=0,996 (90% CI: 0,969–1,024); SRMR=0,502. Mind a constrained, mind az unconstrained modell globális illeszkedési mutatói nem jeleztek megfelelő illeszkedést.

5.2 Második vizsgálat

A második vizsgálatnál elsősorban az alapstatisztikai eljárásokról értekeztünk az U16-os korosztály edzés- és mérkőzéseredményei tekintetében. A Shapiro–Wilk-próba eredménye alapján a normalitás feltétele nem teljesült ($p < 0,05$), ezért az ETL- és ITL-mutatók közötti kapcsolatok feltárásához Spearman-féle rangkorrelációs együtthatót alkalmaztunk. Ezt követően a különböző ITL-mutatók közötti korrelációkat vizsgáltuk meg.

Végül az edzések során mért HR-alapú változókat többszörös lineáris regressziós modellbe illesztettük annak vizsgálatára, hogy mely ETL-mutatók prediktálják azokat. A modellbe bevont prediktorváltozók a következők voltak: TDC, HSR, SPR és ACC. Az alacsony mértékű kollinearitást a 0,38 és 0,78 közötti toleranciaérték, valamint az 1,28 és 2,73 közötti VIF-értékek igazolták.

5.2.1 Az U16-os korosztály eredményei

A 20. táblázat az ETL-változók, valamint a HR-, az RPE- és az s-RPE-értékeinek leíró statisztikáit mutatja be.

Az U16-os korosztálynál minden változó esetében magasabbak voltak az átlagértékek, mint edzésen. A TDC átlagosan 4893 méter, míg mérkőzésen 9582 méter volt. A sprinttáv négyszerese a mérkőzésen és a HSR-ben is jelentős eltérést mutatott (115,43 m vs. 474,28 m), ahogy az ACC-nál is (188,47 méter edzésen vs. 313,51 méter mérkőzésen) (20. táblázat).

Az ITL-mutatók közül az s-RPE átlagos értéke edzésen 423 AU, mérkőzésen 836 AU, míg a HR exertion több, mint másfélszeres különbséget mutatott (6341 AU edzésen vs. 10131 AU mérkőzésen).

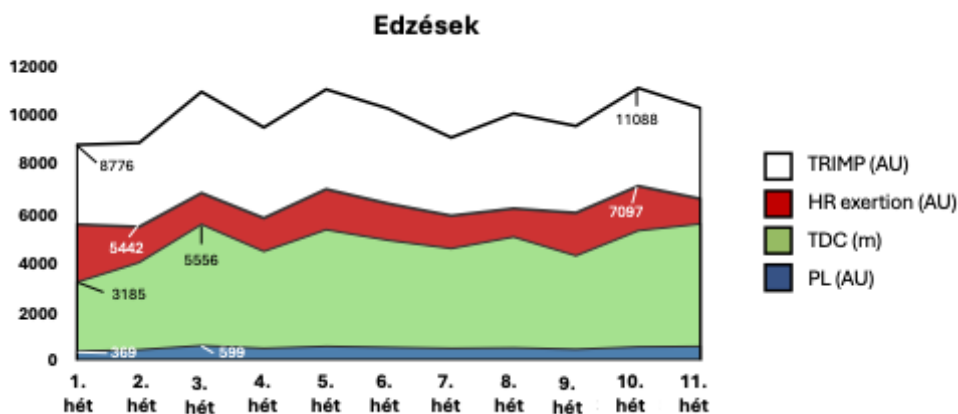
20. táblázat: A gyűjtött GPS-, IMU-adatok és a szubjektív kérdőíves válaszok leíró statisztikai elemzése az U16-os edzések és mérkőzések tekintetében

Változók	Edzések	Mérkőzések
TDU (ó:p:mp)	1:10:49±0:17:28	1:32:03±0:06:24
TDC (m)	4893,19±1904,15	9582,18±1214,26
MSR (m)	428,37±309,17	1382,95±448,63
HSR (m)	115,43±109,31	474,28±160,07
SPR (m)	17,45±35,72	85,06±53,85
ACC (m)	188,47±79,67	313,51±68,81
DEC (m)	70,65±33,81	127,96±34,18
IMA (AU)	398,448±134,90	489,46±159,93
PL (AU)	519,35±193,94	992,71±182,19
TDC/perc (m)	67,27±13,73	104,85±9,99
MSR/perc (m)	5,67±3,19	15,08±4,65
HSR/perc (m)	1,52±1,23	5,18±1,67
SPR/perc (m)	0,24±0,54	0,93±0,59
ACC/perc (m)	2,65±0,94	3,43±0,69

DEC/perc (m)	0,98±0,39	1,41±0,38
IMA/perc (AU)	5,65±1,49	5,33±1,59
PL/perc (AU)	7,19±1,49	10,88±1,83
RPE (AU)	4,64±1,71	9,12±0,78
s-RPE (AU)	423,71±217,06	836,81±121,28
TRIMP (AU)	10138,57±2837,25	15402,90±1616,32
eTRIMP (AU)	160,18±33,36	222,48±67,51
HR exertion (AU)	6341,53±1968,51	10131,31±2528,90
HR exertion/perc (AU)	88,74±14,10	110,78±25,04

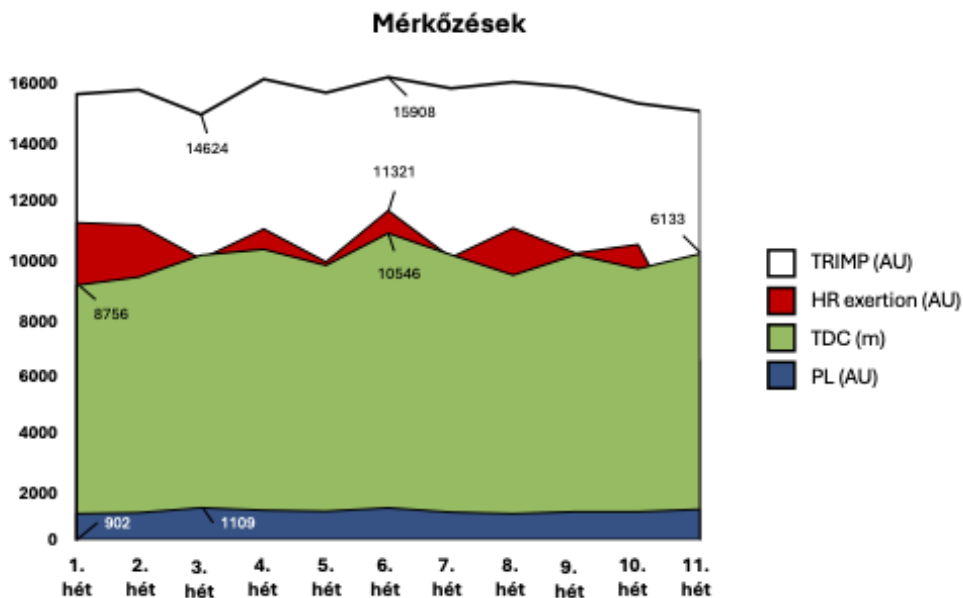
A 10. és 11. ábrák a heti szintű átlagértékek elemzését mutatják be a TRIMP, a HR exertion, a TDC és PL-változók vonatkozásában edzéseken és mérkőzéseken.

Az ITL-adatok értékelése alapján a TRIMP és a HR exertion között erős kapcsolat áll fenn, különösen abban az esetben, amikor az értékeket heti átlagok formájában vizsgáltuk. Hasonló mintázat volt megfigyelhető a TDC és PL esetében, azonban a második és tizenegyedik héten kisebb eltérések jelentkeztek, amelyek valószínűsíthetően az edzésfeladatok megoszlására vagy a TL-eloszlási sajátosságokra vezethetők vissza (10. ábra).



10. ábra: Heti szintű elemzés az ITL- és ETL-paraméterek átlagértékeire terjed ki, és az értékelés a vizsgált változók minimum- és maximumértékeit is tartalmazza az U16-os edzések vonatkozásában

A mérkőzéseken mért TL-változók kevésbé egységes változást mutattak az egyes mikrociklusokban, amely különösen a második, harmadik, nyolcadik, kilencedik és tizenegyedik heteken volt szembeötlő (11. ábra). Ezekben az időszakokban a vizsgált változók közötti kapcsolatok rendszerint gyengébbnek bizonyultak, mint edzőkörnyezetben.



11. ábra: Heti szintű elemzés az ITL- és ETL-paraméterek átlagértékeire terjed ki, és az értékelés a vizsgált változók minimum- és maximumértékeit is tartalmazza az U16-os mérkőzések vonatkozásában

A 12. és 13. ábrák az U16 edzések és mérkőzések során mért ETL- és ITL-mutatók terjedelmi, valamint intenzitási oldala közötti korrelációkat szemléltetik. Az egyes színek a korrelációk erősségét jelzik Hopkins és munkatársai (2009) alapján.

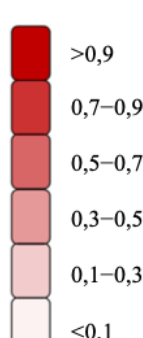
Az edzések esetében a 95%-os konfidenciaintervallum 0,35 és 0,95 között volt, és ezen tartományon belül a korrelációk szignifikánsnak bizonyultak. A HR exertion erős kapcsolatot mutatott a TDC-, MSR-, DEC-, IMA- és PL-változókkal ($p < 0,001$), ami azt jelzi, hogy az ITL e komponensei szorosan követik az ETL-t. A HR exertion/percváltozó csupán kismértékű vagy mérsékelt kapcsolatot mutatott a GPS-alapú változókkal, ami azt jelzi, hogy az edzésintenzitás ingadozásait az ETL-paraméterek kevésbé befolyásolják.

A TRIMP kiemelkedően nagy, közel tökéletes korrelációt mutatott a TDC-vel ($r=0,91$; $p<0,001$), továbbá nagyon erős kapcsolatot az MSR-, DEC-, IMA- és PL-mutatókkal ($r=0,72$ – $0,88$ tartományban; $p<0,001$). Ez megerősíti, hogy a TRIMP rendkívül érzékeny az ETL változásaira. Az eTRIMP-értékei szintén nagyon erős kapcsolatot mutattak a TDC-vel és a PL-lel ($p<0,001$). Érdekes módon az RPE is nagyon erős korrelációt mutatott a TDC-vel ($r=0,86$) és a PL-lel ($r=0,85$), míg az s-RPE közel tökéletesen korrelál a TDC-vel ($r=0,92$) és a PL-lel ($r=0,91$) (12. ábra).

Edzések

Változók	HR exer	HR exer/perc	TRIMP	eTRIMP	RPE	s-RPE
TDC	0,88**	0,39**	0,91**	0,82**	0,86**	0,92**
MSR	0,74**	0,36**	0,76**	0,68**	0,77**	0,79**
HSR	0,59**	0,26**	0,61**	0,57**	0,64**	0,65**
SPR	0,37**	0,24**	0,38**	0,38**	0,36**	0,37**
ACC	0,64**	0,35**	0,67**	0,61**	0,62**	0,66**
DEC	0,70**	0,39**	0,72**	0,66**	0,67**	0,71**
IMA	0,72**	0,45**	0,71**	0,62**	0,65**	0,69**
PL	0,85**	0,36**	0,88**	0,79**	0,85**	0,91**
TDC/perc	0,62**	0,47**	0,61**	0,57**	0,72**	0,66**
MSR/perc	0,55**	0,36**	0,55**	0,50**	0,64**	0,60**
HSR/perc	0,43**	0,24**	0,44**	0,42**	0,52**	0,49**
SPR/perc	0,33**	0,24**	0,34**	0,35**	0,33**	0,33**
ACC/perc	0,17**	0,31**	0,15**	0,16**	0,21**	0,15**
DEC/perc	0,37**	0,40**	0,34**	0,34**	0,38**	0,34**
IMA/perc	0,15**	0,41**	0,07	0,06	0,16**	0,08
PL/perc	0,45**	0,38**	0,43**	0,40**	0,62**	0,53**

Korreláció



>0,9
0,7–0,9
0,5–0,7
0,3–0,5
0,1–0,3
<0,1

** $p < 0,01$

12. ábra: Az edzés közben rögzített GPS-, IMU- és HR-adatok, valamint az RPE- és s-RPE-változók közötti kapcsolatot az egyes változópárok korrelációs együtthatói írják le

A mérkőzések tekintetében a 95%-os konfidenciaintervallum 0,35 és 0,95 között volt, és ezen tartományon belül a korrelációk itt is szignifikánsnak bizonyultak. A HR exertion a DEC-, IMA-, PL-változókkal nagyon erős korrelációt mutatott ($r=0,70$ – $0,85$ közötti tartományban; $p<0,001$). A HR exertion/perc értéke gyenge és mérsékelt közötti kapcsolatot mutatott az ETL-változókkal, a TRIMP kizárólag a TDC-vel mutatott nagyon erős korrelációt ($r=0,73$; $p<0,001$), míg erős kapcsolatot az MSR-, IMA- és PL-mutatókkal ($r=0,50$ – $0,64$ közötti tartományban). Az eTRIMP – a HR

exertion/perc változóval egyetemben – gyenge-közepes közötti korrelációkat mutatott. A szubjektív változókkal kapcsolatban mind az RPE-nek ($r=0,82$), mind az s-RPE-nek ($r=0,80$) nagyon erős korrelációs kapcsolata van a TDC-vel (13. ábra).

Mérkőzések

Változók	HR exer	HR exer/perc	TRIMP	eTRIMP	RPE	s-RPE
TDC	0,53**	0,32**	0,73**	0,39**	0,82**	0,80**
MSR	0,45**	0,34**	0,50**	0,32**	0,71**	0,59**
HSR	0,29*	0,21	0,36**	0,16	0,56**	0,44**
SPR	0,08	-0,11	-0,06	-0,13	-0,12	-0,05
ACC	0,64	0,08	0,30**	0,30*	0,47**	0,41
DEC	0,70**	0,36**	0,33**	0,24*	0,33**	0,17*
IMA	0,72**	0,39**	0,64**	0,37**	0,64**	0,59**
PL	0,85**	0,30*	0,53**	0,32**	0,63**	0,55**
TDC/perc	0,62*	0,30*	0,33**	0,30*	0,61**	0,39**
MSR/perc	0,55**	0,31**	0,37**	0,26*	0,62**	0,45**
HSR/perc	0,43	0,21*	0,21	0,13	0,46**	0,28**
SPR/perc	0,33	-0,12	-0,14	-0,15	-0,18	-0,14
ACC/perc	0,17	0,08	0,09	0,02	0,31**	0,18*
DEC/perc	0,37	0,34**	0,13	0,17	0,18	-0,03
IMA/perc	0,15**	0,42**	0,43**	0,36**	0,50**	0,35**
PL/perc	0,45	0,29*	0,17	0,24	0,35**	0,16

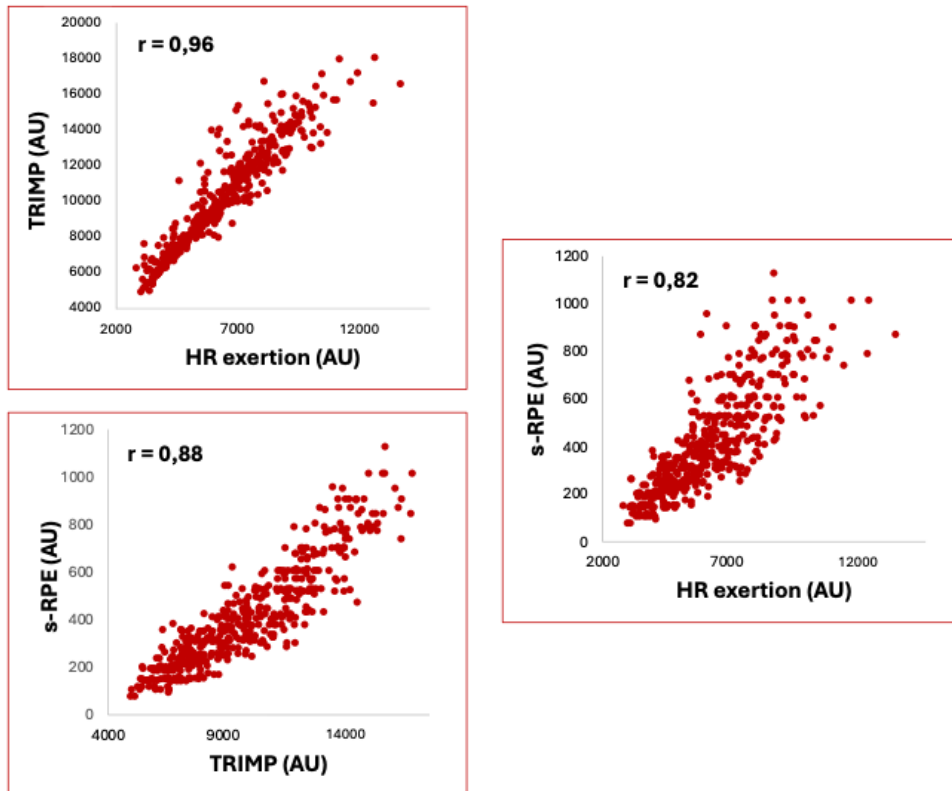
Korreláció

** $p < 0,01$
* $p < 0,05$

13. ábra: A mérkőzés közben rögzített GPS-, HR-, valamint RPE- és s-RPE-változók közötti kapcsolatot az egyes változópárok korrelációs együtthatói írják le

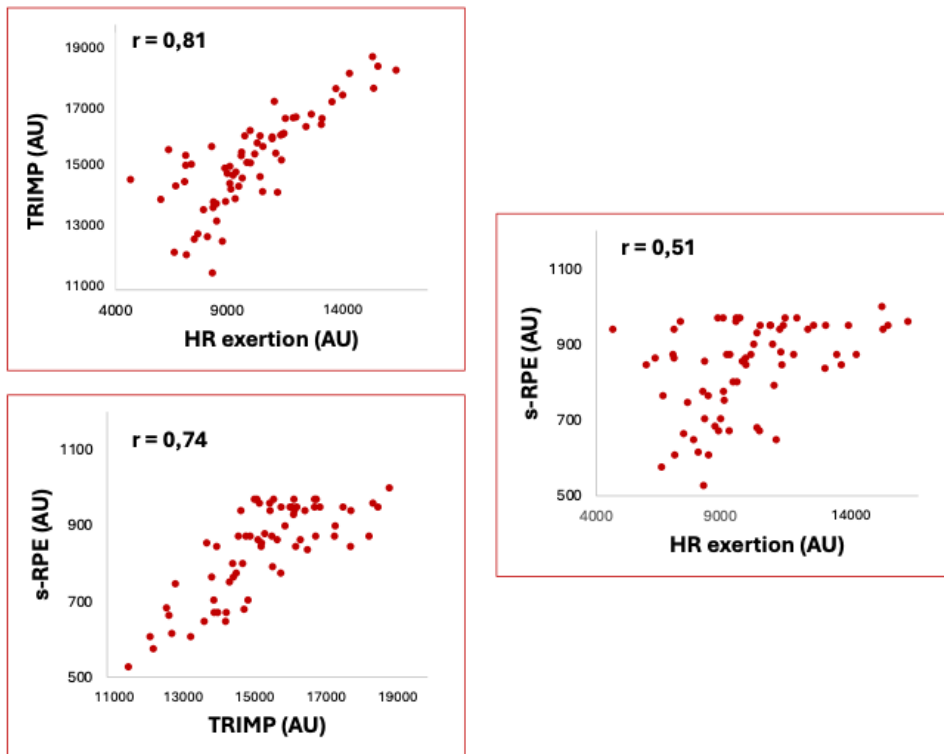
A különböző ITL-mutatók közötti kapcsolat szemléltetését a 14. és 15. ábrák reprezentálják.

Az edzések eredményeit figyelembe véve, nagyon erős kapcsolattól egészen a közel tökéletes korrelációkig terjedtek az összefüggések, ahol is a legerősebb kapcsolat a TRIMP és HR exertion között volt ($r=0,96$; $p<0,001$). Emellett az s-RPE nagyon erős korrelációt mutatott a TRIMP értékével ($r=0,88$; $p<0,001$) (14. ábra).



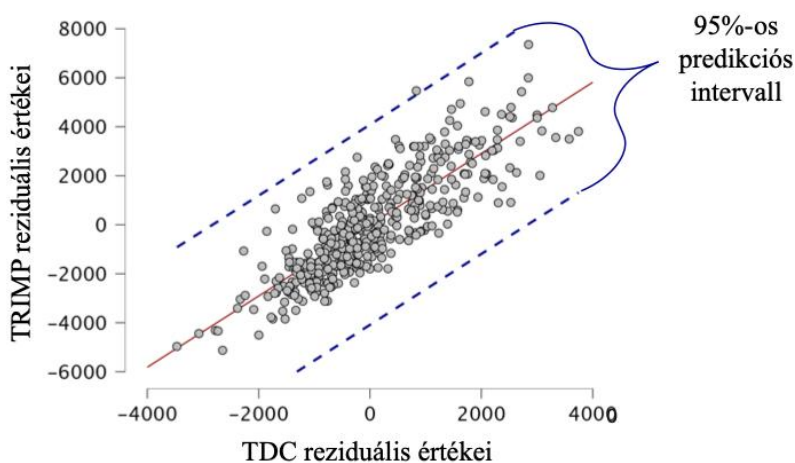
14. ábra: A TRIMP, a HR exertion és az s-RPE ITL-mutatók közötti kapcsolat U16-os korosztályú labdarúgók edzései tekintetében

A mérkőzésadatok elemzése során azt találtuk, hogy az edzőkörnyezethez képest gyengébb, de továbbra is szignifikáns kapcsolatok jellemzik az egyes vizsgált változókat. Ennek ellenére az összefüggések erőssége meghatározó tartományban mozgott, különösen a TRIMP és HR exertion közötti kapcsolat esetében ($r=0,81$). Továbbiakban az s-RPE és TRIMP is nagyon erős korrelációt mutatott ($r=0,74$; $p<0,001$) (15. ábra).



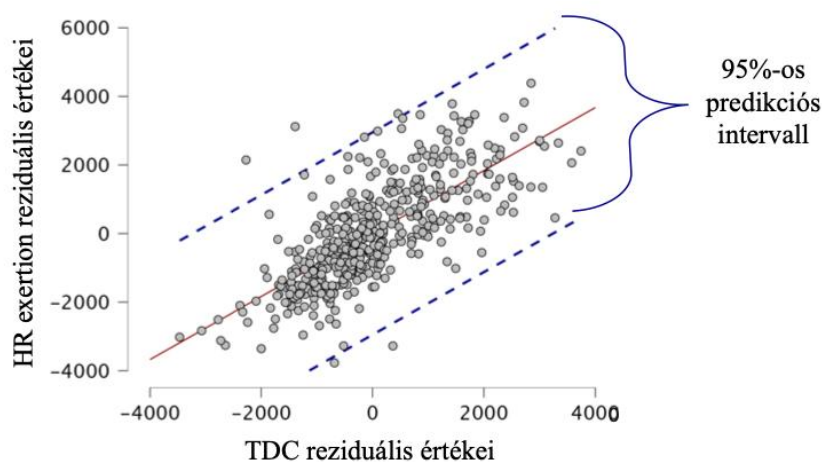
15. ábra: A TRIMP, a HR exertion és az s-RPE ITL-mutatók közötti kapcsolat U16-os korosztályú labdarúgók mérközései tekintetében

Az U16-os korosztálynál alkalmazott regressziós elemzés szignifikáns összefüggést tárt fel ($F(1, 465)=596,71$; $p<0,001$), amelynél a modellünk magyarázóereje erősnek bizonyult ($R^2=0,820$). A TRIMP átlagértéke minden megtett méterrel szignifikánsan növekedett ($\beta=0,98$; $p<0,001$) (16. ábra), míg a HSR-, SPR- és ACC-változók csak minimális, gyakorlatilag elhanyagolható pozitív hatással járultak hozzá a modellhez.



16. ábra: A TRIMP (függő változó) és TDC (prediktor) részleges regressziós grafikonja

A másik regressziós modellelemzés szintén szignifikáns kapcsolatot mutatott ($F(1, 465)=1156,49$; $p<0,001$), amely szerint a TDC a HR exertion varianciájának 71%-át magyarázta meg, ami nagyon erős összefüggésre utal (17. ábra). A standardizált bétaegyütthatók rámutattak arra, hogy a HSR-, SPR- és ACC-változók voltak a leggyengébb prediktorok, hatásuk elenyésző a pulzusalapú terhelés magyarázatában. A modell pontosságát jelző RMSE-értékek alapján a predikciók elfogadható megbízhatóságot mutattak. A TRIMP előrejelzésekor a hiba hozzávetőleg a teljes TRIMP-érték 12%-ának, míg a HR exertion esetében körülbelül 17%-ának felelt meg.



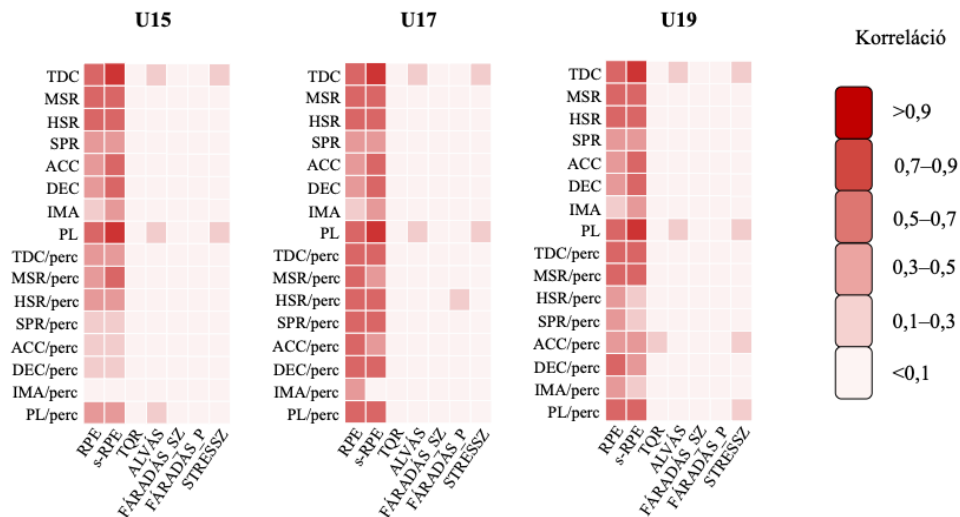
17. ábra: A HR exertion (függő változó) és a TDC (prediktor) részleges regressziós grafikonja

6. MEGBESZÉLÉS

6.1 A vizsgálatok célja és a TL-monitorozás értelmezési kerete

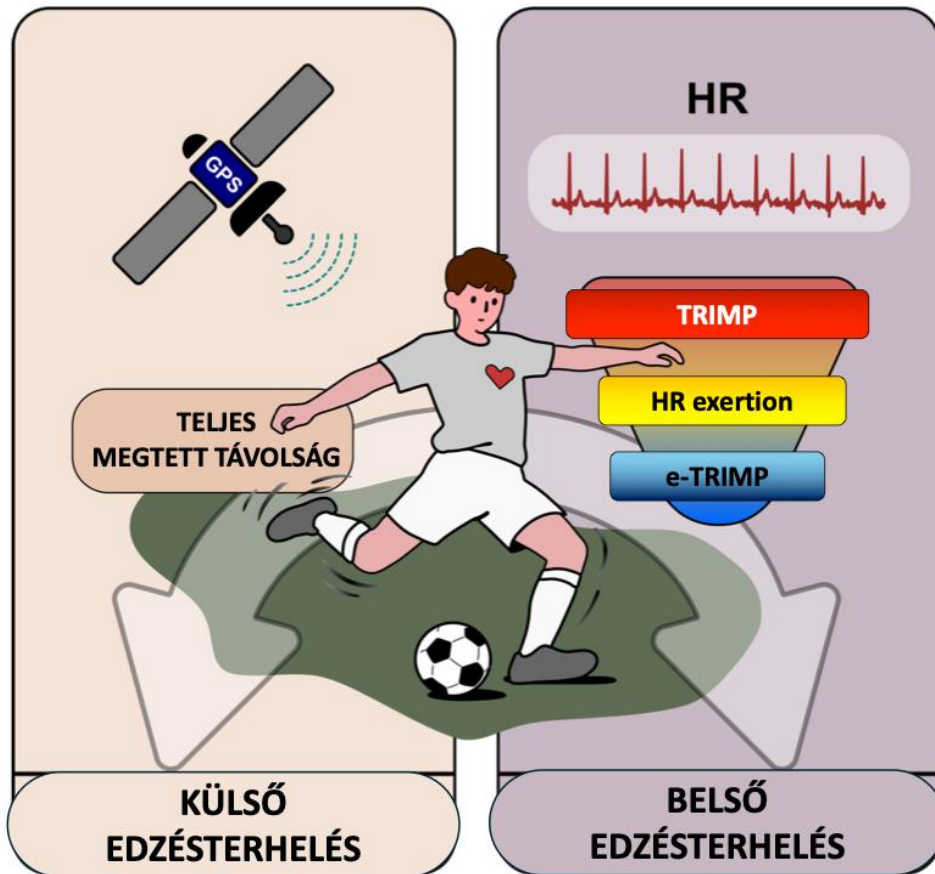
Jelen kutatások kiindulópontját az a sporttudományi és gyakorlati igény képezte, hogy az utánpótláskorú labdarúgók TL-jének monitorozása ne kizárólag egyes izolált mutatókra épüljön, jelesül a TDC-re, hanem az ETL- és ITL-komponensek kapcsolatának integrált értelmezésén alapuljon. A modern edzésméleti megközelítések szerint az edzésadaptációk és a sérüléskockázat alakulását nemcsak az elvégzett fizikai munka nagysága, hanem az arra adott egyéni fiziológiai és perceptuális válaszreakciók határozzák meg, ami különösen releváns utánpótláskorban, ahol az érési folyamatok jelentős egyéni variabilitást mutatnak (Borresen & Lambert, 2009; Impellizzeri és mtsai, 2019).

A kutatás elsődleges célja ezért az volt, hogy feltárja az ITL-értékek (RPE és az s-RPE) és az ETL-alapú terjedelmi és intenzitási változók (GPS- és IMU-alapú LTL- és MTL-változók) közötti kapcsolatot U15, U17 és U19 korosztályú labdarúgók körében (18. ábra). A vizsgálat fókuszában annak megértése állt, hogy ezek az összefüggések miként alakulnak különböző korcsoportokban, valamint edzés- és mérkőzéskörnyezetben, tekintettel arra, hogy a szakirodalom szerint az ETL–ITL-kapcsolat nem tekinthető egységesnek, hanem erősen kontextus- és korosztályfüggő.



18. ábra: Az ITL- és GPS-alapú változók közötti kapcsolat az U15, U17 és U19 korosztályokban az edzések és mérkőzések kombinációja szerint vizsgálva

A második vizsgálat ugyanezt az integrált szemléletet vitte tovább U16-os játékosokat vizsgálva, kiegészítve a pulzusalapú ITL-mutatókkal (TRIMP, eTRIMP, HR exertion), nagy hangsúlyt helyezve az edzés- és mérkőzés-környezet összehasonlítására. A második vizsgálat célja annak feltárása volt, hogy az U16 korosztályú labdarúgók esetében a pulzusalapú mutatók használata alkalmas-e a belső terhelés jellemzésére, illetve, hogy ezek a változók értelmezhető és releváns információt szolgáltatnak-e az ETL–ITL-kapcsolatrendszerben (19. ábra).



19. ábra: A külső és belső edzésterhelés kapcsolatának vizsgálata

A vizsgálatok eredményei során látott variabilitás a korrelációs erősségek között – különösen az edzésnapok egységes kezelése és az MD \pm struktúra figyelmen kívül hagyása miatt – módszertani tanulságként is szolgál, ugyanis rávilágít arra, hogy az ITL alakulását nem egyetlen ETL-mutató határozza meg, hanem további terhelési változók, időbeli akkumulációja és kontextusa (Malone és mtsai, 2017; Bourdon és mtsai, 2017). Ebből következik, hogy a terhelés értelmezéséhez célszerű a korrelációs összefüggések mellett prediktív (regressziós) megközelítést is alkalmazni, amely képes az észlelt és élettani belső terhelés fő magyarázóit azonosítani.

6.2 Az ETL–ITL-kapcsolatok stabilitása edzés- és mérkőzés-környezetben

A disszertáció egyik konzisztens eredménye, hogy az ETL–ITL-kapcsolatok jellemzően stabilabbak és erősebbek edzőkörnyezetben, mint mérkőzések során. Edzésen – a terhelés individualizált lehetőségei következtében –

kontrolláltabb, a feladatok célja és intenzitás/terjedelem aránya tervezett, így a sportolók kardiovaszkuláris és perceptuális válaszreakciói jobban illeszkednek a külső terhelési változókhoz (Impellizzeri és mtsai, 2004; Scott és mtsai, 2013; Weaving és mtsai, 2014).

Ezzel szemben a mérkőzés nyílt rendszerű, intermittáló és kontextusban gazdag terhelési környezet, ahol az ETL-t és ITL-t egyszerre alakítja és befolyásolja a taktikai szerep, a játéksituáció, az ellenfél minősége, valamint a pszichés és érzelmi stressz. Ez magyarázhatja azon eredményeket, mely szerint több terhelési mutató esetében a korrelációk erőssége mérsékeltebbek és változékonyabbak mérkőzéseken (Bangsbo és mtsai, 2006; Buchheit & Laursen, 2013).

Különösen a fiatalabb korosztályoknál (U15–U17) utalnak az erősebb ETL–ITL-kapcsolat variabilitására, ami összefügghet a biológiai érés heterogenitásával és az észlelt terhelés értékelésének fejlődési sajátosságaival is (Towlson és mtsai, 2017; Clemente és mtsai, 2020). Ez összhangban áll azokkal a vizsgálatokkal, amelyek szerint a biológiai érés heterogenitása, valamint az észlelt terhelésértékelés fejlődése jelentősen befolyásolja az ITL-mutatók stabilitását fiatalabb utánpótláskorú sportolók esetében (Palucci Vieira és mtsai, 2019). Az idősebb korosztályokban megfigyelhető stabilabb kapcsolatok arra utalnak, hogy az életkor előrehaladtával az élettani és észlelt válaszreakciók egyre következetesebben tükrözik az ETL-változókkal való összefüggést, és természetesen a valós belső terhelés meghatározását.

A második vizsgálat pulzusalapú eredményei ugyanezt a mintázatot erősítették meg, vagyis az ITL- és ETL-mutatók közötti kapcsolatok erősebbek edzésen, míg mérkőzésen gyengébb, ugyanakkor továbbra is szignifikáns kapcsolatok jelentek meg. Ez arra utal, hogy a mérkőzéssterhelés komplexitása nem drasztikusan rontja az ETL–ITL-összefüggést, hanem inkább csökkenti annak linearitását, és kontextusfüggő ingadozásokat okoz. Ez összhangban áll azzal az edzéselméleti megközelítéssel, amelyek szerint a pulzusalapú mutatók elsősorban a strukturált, időben elnyújtott terhelésekre reagálnak érzékenyen, ugyanakkor mérkőzés-környezetben a kardiovaszkuláris válaszreakciókat számos mechanikai és kontextuális

tényező módosíthatja, ami az ETL–ITL-kapcsolat komplexebb, kevésbé lineáris megjelenéséhez vezethet (Halson, 2014; Borresen & Lambert, 2009; Impellizzeri és mtsai, 2019).

6.3 A TDC-változó dominanciája az ITL-változók összefüggéseiben

Az eredményeink egyik legkonzisztensebb megállapítása, hogy mind az RPE-, s-RPE-, mind a TRIMP-, eTRIMP- és HR exertion indikátorok a terjedelmi jellegű ETL-változókkal mutatták a legerősebb összefüggéseket. Az első vizsgálatban a TDC minden korosztályban és mindkét terhelési környezetben az RPE, és különösen az s-RPE legstabilabb külső megfelelőjének bizonyult. Ez összhangban áll azzal a széles körben elfogadott megközelítéssel, miszerint az észlelt terhelés elsősorban a terhelés időbeli akkumulációját és az ahhoz kapcsolódó kardiovaszkuláris és metabolikus stresszt tükrözi (Foster és mtsai, 2001; Impellizzeri és mtsai, 2004; Marynowicz és mtsai, 2020).

A PL több esetben szintén erős kapcsolatot mutatott az észlelt terhelési mutatókkal, különösen edzőkörnyezetben. Ez értelmezhető úgy, hogy a PL – gyorsulásalapú integrált MTL-mutatóként – hosszabb időtartam esetén részben volumenjellegű információt hordoz, és a mechanikai stressz kumulatív hatása perceptuálisan is releváns ingerforrássá válhat (Casamichana és mtsai, 2013; Maughan és mtsai, 2021, 2022). Ugyanakkor a PL értelmezése módszertanilag alaposabb körültekintést igényel, mivel eszköz- és algoritmusfüggő jellege befolyásolhatja az összehasonlíthatóságát (Varley és mtsai, 2017; Malone és mtsai, 2017; Roell és mtsai, 2019). Szintén fontos figyelembe venni, hogy a szakirodalomban a PL és a teljes megtett távolság közötti erős kapcsolat jól dokumentált jelenség (Casamichana és mtsai, 2013). Ennek következtében a PL és az ITL-mutatók közötti szoros összefüggések részben volumenjellegű komponens indirekt hatását is tükrözhetik, ami az interpretáció során körültekintést igényel.

A többváltozós regressziós modellekben konzisztensen megfigyelhető volt, hogy az MSR/perc több korosztályban negatív előjelű regressziós együtthatóval társult az s-RPE-vel. Mivel a TDC domináns volumen

prediktorként szerepelt, az MSR/perc hatása a TDC kontrollálása mellett értelmezhető. Ez azt jelenti, hogy azonos öszvolumen mellett a nagyobb percenkénti közepes intenzitású futás változó arány nem feltétlen jár együtt nagyobb kumulatív terheléssel. A negatív bétaértékek tehát nem az MSR/perc terheléscsökkentő hatását jelzi, hanem a volumen- és intenzitási változók együttes modellbeli szerepéből fakadó relatív hatást tükrözi.

A második vizsgálat regressziós eredményei tovább erősítették a terjedelmi változók dominanciáját, ugyanis mind a TRIMP, mind a HR exertion esetében a TDC bizonyult a legerősebb előre jelzőnek, míg a HSR-, SPR- és ACC-változók hozzájárulása marginális maradt. Ez jól illeszkedik a pulzusválasz élettani sajátosságaihoz, mivel a pulzus dinamikája elsősorban az aerob dominanciájú, időben elnyújtott igénybevétel integrált hatását tükrözi, és kevésbé érzékeny a rövid idejű, nagy intenzitású, robbanékony mozgásokra (Borresen & Lambert, 2009; Buchheit, 2014; Halson, 2014). A két vizsgálat eredményei így arra utalnak, hogy a terjedelmi jellegű ETL-mutatók meghatározó szerepet töltenek be a fiatal labdarúgók terhelésmonitorozásában, mivel mind a perceptuális, mind a kardiovaszkuláris terhelés szintjén alapvető információt szolgáltatnak.

Utánpótláskorú labdarúgók esetében a volumenjellegű terhelés kiemelt szerepe további jelentőséggel bír, mivel a kardiovaszkuláris rendszer fejlődése és a biológiai érés folyamata ezeknél a korosztályoknál még nem zárult le teljes mértékben. Ennek következtében a pulzusalapú és perceptuális válaszreakciók fokozottabban tükrözik az elvégzett munka mennyiségét, mint annak intenzitásbéli TL-változói (Henderson és mtsai, 2015; Towlson és mtsai, 2017).

Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az eredmények nem a nagy intenzitású és mechanikai terhelési komponensek jelentőségét kérdőjelezzik meg, hanem arra mutatnak rá, hogy e változók hatása az ITL-mutatókban kevésbé direkt módon jelenik meg. Eredményeink alátámasztják Lisbôa és munkatársai (2019) következtetéseit, miszerint a nagyobb intenzitású edzés jelentősen befolyásolja a pulzusválaszt, ezért például az eTRIMP alkalmazása javasolt ezen érzékenység kezelésére (Scott és mtsai, 2013; Askow és mtsai, 2021).

Végezetül, a többcsoportos SEM-elemzés szignifikáns különbséget mutatott a korcsoportok között a reziduális kovarianciák tekintetében, ami arra utal, hogy az ETL–ITL kapcsolatok nagyságrendje életkoronként eltérhet. Ugyanakkor az összefüggések iránya és általános mintázata minden korosztályban hasonló maradt. Továbbiakban a modellek globális illeszkedési mutatói nem jeleztek megfelelő modellilleszkedést, ezért az elemzés elsősorban kovariancia-struktúra összehasonlító megközelítésként értelmezzük, vagyis a változók közötti kapcsolatok relatív erősségét

6.4 Nagyobb intenzitású és mechanikai mutatók szerepének kontextusfüggősége és korlátai

A disszertáció eredményei következetesen rámutattak arra, hogy az intenzív LTL változók (pl. HSR, SPR), és az MTL változók (pl. ACC, DEC) kapcsolata az ITL-mutatókkal kevésbé egységes. Edzőkörnyezetben több esetben megfigyelhető volt, hogy az idősebb korosztályokban (U17–U19) a HSR és SPR erősebb összefüggést mutatott az s-RPE esetében. Ez magyarázható a biológiai érés előrehaladásával, a neuromuszkuláris kapacitás növekedésével, valamint a maximális futási sebesség és a mozgásgazdaságosság javulásával, amelyek együttesen növelik a magasabb intenzitású futások gyakoriságát és terjedelmét (Towlson és mtsai, 2017; Palucci Vieira és mtsai, 2019; Mendez-Villanueva és mtsai, 2013).

Mérkőzőkörnyezetben ezzel szemben a HSR és SPR az ITL-változókkal való kapcsolatában több esetben gyengébb és kevésbé mutatott stabilitást, különösen a fiatalabb korosztályokban. Ez összhangban áll azzal a megközelítéssel, hogy a mérkőzésen a nagy intenzitású akciók előfordulását és eloszlását nem kizárólag a fizikai kapacitás, hanem a taktikai szerepkörök, a labdabirtoklás, a játékszszakaszok és a pszichés tényezők is meghatározzák (Scott és mtsai, 2013; de Dios-Álvarez és mtsai, 2023). Módszertanilag tovább árnyalja a képet, hogy a két ETL-változó értelmezése érzékeny a sebességküszöbök meghatározására, ami utánpótláskorú labdarúgóknál – az egyéni maximális sebesség és érési státusz heterogenitása miatt – különösen kritikus (Varley és mtsai, 2012; Malone és mtsai, 2017).

Az ACC és DEC változók korrelációskapcsolatainak értelmezését az is nehezíti, hogy ezek biomechanikailag nagy hatást gyakorolnak a test kinematikai jellemzőire, ugyanakkor nem feltétlenül jelennek meg arányosan a perceptuális skálákon, illetve a HR-alapú ITL-mutatókban sem. Ez a különbség indokolja azt, hogy az intenzív és mechanikai terhelések értékelésekor célzott, több indikátort integráló interpretáció szükséges, nem pedig egyetlen ITL-mutató alapján történő következtetés (Bourdon és mtsai, 2017; Impellizzeri és mtsai, 2019).

6.5 A szubjektív és objektív ITL konvergenciája és eltérései

További eredményeink alapján a pulzusalapú ITL-mutatók (TRIMP, eTRIMP, HR exertion) és az észlelt terhelési mutatók (RPE, s-RPE) edzésen és mérkőzésen egyaránt szoros összefüggést mutattak, ugyanakkor nem tekinthetők egymás egyszerű helyettesítőinek. Ez arra utal, hogy a különböző mutatók a belső terhelés eltérő, egymást kiegészítő aspektusait ragadják meg. Ez a megfigyelésünk jól illeszkedik a modern terhelésmonitorozási szemlélethez, amely az ITL-t többdimenziós konstrukcióként értelmezi (Halson, 2014; Bourdon és mtsai, 2017).

Az edzőkörnyezetben tapasztalt nagyon erős, több esetben közel tökéletes korrelációk – különösen a TRIMP és a HR exertion, valamint az s-RPE és a pulzusalapú mutatók között – arra utalnak, hogy ezek az indikátorok hasonló módon integrálják a kumulatív fiziológiai stresszt. Ez megerősíti Foster és munkatársai (2001) koncepcióját, miszerint az s-RPE idővel súlyozott jellege miatt funkcionálisan analóg módon viselkedik a pulzusalapú ITL-mutatókkal. Hasonló következtetésekre jutottak Impellizzeri és munkatársai (2004), valamint Borresen és Lambert (2009) is, akik szerint az s-RPE egyszerű, mégis robusztus alternatívát jelent a HR-alapú terhelésmonitorozással egyetemben.

A mérkőzések során megfigyelt valamelyest gyengébb, ugyanakkor továbbra is erős kapcsolatok azt sugallják, hogy a szubjektív és objektív ITL-mutatók konvergenciája ebben a környezetben is fennmarad, de nagyobb mértékben érvényesülnek az egyéni perceptuális és pszichés tényezők. A mérkőzések

érzelmi és kognitív terhelése, a fizikai döntéshozatal gyakorisága, valamint a versenyhelyzet jelentősége olyan nemfizikai stresszorokat jelenthetnek, amelyek elsősorban az észlelt terhelésben jelennek meg, és módosíthatják a HR-alapú válaszreakcióhoz viszonyított arányukat (Bangsbo és mtsai, 2006; Halson, 2014).

Fontos különbség mutatkozott az RPE és az s-RPE viselkedésében is. Az RPE – mint észlelt terhelési intenzitásmutató – következetesen gyengébb kapcsolatot mutatott mind az ETL-, mind a pulzusalapú ITL-mutatókkal, mint az s-RPE. Ez alátámasztja azt az elméleti megkülönböztetést, miszerint az RPE inkább az adott terhelés pillanatnyi intenzitását, míg az s-RPE a teljes edzés- vagy mérkőzésterhelés területi oldalát jelenti (Foster és mtsai, 2001; Haddad és mtsai, 2017). Utánpótláskorú labdarúgóknál ez a különbség különösen hangsúlyos lehet, mivel az intenzitás percepciója nagyobb egyéni variabilitást mutathat a kognitív és érzelmi érettség eltérő szintjei miatt (Towlson és mtsai, 2023).

Ezek az eredmények összességében alátámasztják azt a gyakorlati ajánlást, miszerint az ITL monitorozása során nem célszerű kizárólag egyetlen mutatóra hagyatkozni, hanem a pulzusalapú és szubjektív indikátorok kombinált alkalmazása biztosítja a legteljesebb képet a sportolók belső terhelésének nyomon követéséhez (Saw és mtsai, 2016; Bourdon és mtsai, 2017; Impellizzeri és mtsai, 2019).

6.6 Limitációk

6.6.1 Első vizsgálat

Az első kutatásunk egyik limitációja, hogy a vizsgálatban részt vevő játékosokat egyetlen futballakadémiáról válogattuk be, és csak U15, U17, valamint U19 korosztályú játékosokat foglalt magában, ami a minta nagyságát és heterogenitását korlátozta.

Kutatásunk egyik további korlátozó tényezője az volt, hogy a szubjektív kérdőívek kitöltési aránya nem volt minden esetben tökéletes, ami befolyásolhatta a játékosok TL-jének átfogó értelmezését. Ezért úgy találtuk,

hogy a napi szintű WQ-adatok gyűjtése nem minden esetben szükséges, mivel ezek nem mindig szolgáltatnak érvényes és megbízható információt a játékos tényleges készenléti állapotáról. Ennek egyik oka lehet, hogy a játékosok nem mindig a valós észlelésüknek megfelelő értékeket adták meg a vizsgálatban, hanem csupán a kötelességükből adódóan töltötték ki a kérdőíveket (lásd az U17 és U19 korosztály eredményeit).

A másik hátráltató tényező a vizsgálatunk szempontjából, hogy bár az edzéseket külön is vizsgáltuk (azaz a mérkőzésektől elkülönítve), nem differenciáltuk őket a mérkőzéshez viszonyított napkodolások eloszlása alapján.

További korlátozó tényezőt jelent, hogy a biológiai érés objektív mutatói, mint például a csúcsnövekedési sebességhez viszonyított érettségi státusz nem kerültek rögzítésre az első vizsgálat során, így az életkori különbségek értelmezése kizárólag kronológiai életkor alapján történt. Tekintettel arra, hogy az utánpótláskorban az érettségi státusz jelentős hatással lehet a fizikai teljesítményre és az TL-re adott élettani és pszichológiai válaszokra, a biológiai érés kontrolljának hiánya korlátozhatja az eredmények mélyrehatóbb értelmezését.

Végül, módszertani korlátot jelent, hogy a futási és gyorsulási sebességzónák abszolút küszöbértékek alapján kerültek meghatározásra a gyártó általi alapértelmezett beállítás szerint. Bár az abszolút sebességzónák alkalmazása a szakirodalomban széles körben elfogadott, utánpótláskorban a biológiai érés heterogenitása jelentős különbségeket eredményezhet a maximális sebességben és a fizikális kapacitásban (Mendez-Villanueva és mtsai, 2013; Buchheit, 2014). Ennek következtében azonos abszolút sebességzónában mért ETL értékek játékosonként eltérő élettani és mechanikai stressz jelenthetnek.

6.6.2 Második vizsgálat

A második kutatás egyik limitáló tényezője a mintaelemszám korlátozottsága volt, ugyanis a vizsgálatban kizárólag egy futballakadémia U16-os csapata

vett részt. Ez azonban tudatos módszertani döntés volt, amelynek a célja a minta homogenitásának biztosítása. Bár a játékosokat nem feltétlen érhetette teljesen azonos külső és belső terhelés, mindazonáltal azonos edzéseken vettek részt, így némileg csökkenthető volt a független külső tényezők (pl. a környezeti hatások, a játéktípus, a szabályrendszer vagy az edzői hozzáállás) befolyásoló hatása az egyéni válaszadásokra a szubjektív kérdőívek tekintetében.

Másodszor, a kontextuális tényezők (pl. környezeti feltételek, relatív sebességzónák, ellenfél minősége a mérkőzésen, túlterhelés) hiányos kontrollja szintén korlátozást jelenthetett. A szezon elején a külső hőmérséklet átlagosan magasabb volt, míg a szezon közepére fokozatosan csökkent, ami jelentős környezeti változást eredményezett, és ez hatással lehetett a játékosok RPE-értékelésére (hidegben nagyobb az észlelt fáradás). Ezenkívül az U16-os korosztályon belül biológiai életkori különbségek is fennálltak ($\pm 0,5$): egyes játékosok későbbi pubertásfázisban voltak, ami befolyásolhatta az abszolút sprintzónában ($>25,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) megtett táv mennyiségét.

Harmadszor, egy mérkőzésnapokra (pl. MD-3) lebontott elemzés további érdekes eredményekkel szolgálhatott volna az edzések kapcsán, azonban a korlátozott adatbázis miatt erre nem került sor. Tekintettel arra, hogy az egyes edzésnapok terhelési jellemzőkkel bírnak, elképzelhető, hogy az ITL és ETL közötti kapcsolat is a mérkőzésnaphoz képesti lebontásban különbségeket mutatott volna.

A vizsgálat során alkalmazott HR exertion változó egy belső terhelést leíró mutató, amelyet a Catapult Sports rendszer számít a pulzusszám különböző zónáiban eltöltött idő súlyozott összegzéseként. Bár a változó számítási elve a gyártó dokumentációjában részletesen ismertetett (Catapult Sports, 2018), a HR exertion tudományos publikációban történő alkalmazása jelenleg hiányos, és a rendelkezésre álló szakirodalomban nem található olyan tanulmány, amely ezt a mutatót önálló változóként elemezné. Ennek következtében a jelen disszertáció az elsők között alkalmazta a HR exertion változót tudományos kontextusban, ami egyrészt újszerűséget jelent,

másrészt korlátozza az eredmények közvetlen összevethetőségét más kutatásokkal, e disszertációban foglalt előremutató eredményeitől függetlenül.

Végül fontos hangsúlyozni, hogy a GPS-adatok időbeli megvágása (trimming) érdemben befolyásolhatja az intenzitásjellegű paraméterek értékeit, mivel az eredmények érzékenyek arra, hogy az egyes aktivitási periódusokat mely időintervallumok között vontuk be az elemzésbe. Jelen vizsgálatban az edzéseket teljes egészében elemeztük, ami azt jelenti, hogy a pihenő-intervallumokat is tartalmazták az adatfelvételek. Ezek során gyakran előfordulnak taktikai megbeszélések, kapuk cipelése, mezcsere vagy folyadékfogyasztás. Mérkőzések esetében az ilyen megszakítások (pl. szabadrúgás, csere, ivószünet, sérülés miatti játékmegszakítás) ritkábban fordulnak elő, de hatásuk az ITL megítélésében így sem elhanyagolható.

6.6.3 Statisztikai korlátok

Mindkét vizsgálat esetében fontos módszertani korlátot jelent, hogy az alkalmazott korrelációs és regressziós elemzések összevont (pooled) adatbázison alapultak, amelyben egy játékostól több mérési időpont is szerepelt. Bár ez növeli az adatpontok számát és az elemzések statisztikai érzékenységét, a megfigyelések nem tekinthetők teljes mértékben függetlennek. Ennek következtében a standard hibák alulbecslése és a p-értékek potenciálisan túloptimista meghatározása sem zárható ki. Ugyanakkor a fő megállapítások nem egyetlen statisztikai próbán vagy izolált szignifikáns eredményen alapulnak, hanem több korosztályban (U15–U19) és terhelési környezetben (edzés, mérkőzés) konzisztensen megjelenő, mintázatokon, ami erősíti az eredmények interpretációjának megbízhatóságát.

Jövőbeni kutatásokban indokolt lehet hierarchikus vagy vegyes modell alapú statisztikai eljárások alkalmazása az egyéneken belüli és az egyének közötti variancia pontosabb elkülönítése érdekében.

Az SPR/perc változó esetében azonosítottunk outliert az U19-es korosztálynál, és azt az értéket a 99.percentilisének winsorizáltuk. Az eljárás a regressziós együtthatókat és a modellek magyarázóerejét érdemben nem befolyásolta, ami a modell paraméterbecsléseinek stabilitását jelzi.

6.7 Gyakorlati javaslatok

A disszertáció eredményei több szinten is gyakorlati következtetések levonását teszik lehetővé az utánpótláskorú labdarúgók edzés- és mérkőzésterhelésének tervezése és monitorozása szempontjából. Az egyik legfontosabb megállapítás, hogy az ETL–ITL-kapcsolatok nem tekinthetők univerzálisnak, hanem jelentősen függenek az életkortól, a terhelési környezettől és az alkalmazott mutatóktól. Ez alátámasztja azt a megközelítést, amely szerint a terhelésmenedzsment individualizált értelmezést igényel (Gabbett, 2016; Impellizzeri és mtsai, 2019), különösen serdülőkorban.

Az első vizsgálat eredményei alapján az s-RPE és a volumenjellegű ETL-mutatók (elsősorban a TDC) kombinált alkalmazása hatékonynak bizonyult edzőkörnyezetben, illetőleg költségghatékony és megbízható módját kínálja a terhelés nyomon követésének minden vizsgált korosztályban. Ez különösen releváns olyan környezetekben, ahol a GPS-alapú rendszerek elérhetősége korlátozott, vagy ahol a technológiai infrastruktúra nem teszi lehetővé az összetett ETL-analízist (Wallace és mtsai, 2009; Marynowicz és mtsai, 2020).

A második vizsgálat eredményei ugyanakkor arra mutatnak rá, hogy a pulzusalapú ITL-mutatók – különösen a TRIMP és HR exertion – kiemelten alkalmasak az edzés során felhalmozódó kardiovaszkuláris terhelés objektív jellemzésére. A TDC domináns prediktív szerepe azt sugallja, hogy a pulzusalapú monitorozás elsősorban az aerob dominanciájú terhelési ingerek értelmezésében nyújt megbízható információt, míg az intenzív és mechanikai terhelési komponensek értékeléséhez további ETL-indikátorok bevonása szükséges (Borresen & Lambert, 2009; Buchheit, 2014; Akyildiz és mtsai, 2022).

A mérkőzésterhelés monitorozása során a disszertációban foglalt eredményeink különösen hangsúlyozzák az integrált megközelítés szükségességét. Míg a pulzusalapú mutatók objektív visszajelzést adnak a fiziológiai igénybevételéről, addig az s-RPE képes integrálni a pszichés, érzelmi és kontextuális tényezők hatásait is, amelyek mérkőzőkörnyezetben fokozott szerepet játszanak (Bangsbo és mtsai, 2006; Halson, 2014; de Dios-Álvarez és mtsai, 2023). Ez különösen fontos utánpótláskorban, ahol az érési folyamatok és a terhelésészlelés fejlődése nagy egyéni eltéréseket mutat.

6.7.1 Az első vizsgálat

Annak érdekében, hogy a szubjektív alapon gyűjtött mérések pontosabbak és kezelhetőbbek legyenek, azt javasoljuk, hogy WQ-adatok gyűjtése MD+2/MD-5 napokon (általában hétfőn) történjen, hogy a szakemberek képet kapjanak a játékosok edzésre való felkészültségéről, valamint MD-2 napokon (általában csütörtökön) legyenek, annak érdekében, hogy megállapíthassák, a játékosok készen állnak-e további nagy TL-re, vagy inkább változást igényel a terhelésprogram (pl. tapering vagy regenerációs eszközök használata).

Továbbá célszerű lenne figyelembe venni az edzések tartalmi jellegét és intenzitását is, mivel ezek jelentősen befolyásolhatják a kumulatív terhelés alakulását. Emellett a szubjektív és objektív terhelésmutatók együttes elemzése pontosabb képet adhatna a játékosok TL-jéről.

Továbbiakban érdemesnek találjuk megfontolni a kérdőívek digitalizálását és automatizált adatfeldolgozását applikáción keresztül, hogy a keletkező adatok gyorsabban és pontosabban elemezhetőek legyenek, semmint Google Űrlapról kelljen mindent manuálisan átírni Excel-táblázatba. Ezen túlmenően a szubjektív adatok érvényességét növelhetné, ha a játékosok edukációs tréningeken vennének részt, és egy megbízott szakember ismertetné velük a kérdőívek jelentőségét és a helyes kitöltés módozatát.

Towlson és munkatársai (2023) megállapították, hogy az utánpótláskorú labdarúgók képesek megbízhatóan értékelni észlelt terhelésüket az RPE-skála

segítségével, ugyanakkor az edzői gyakorlatban az edzésintenzitás módosítása nem minden esetben történik meg a sportolók visszajelzései alapján. Ez rávilágít az RPE-alapú monitorozás hatékony alkalmazásához szükséges edzői iránymutatás és szakmai edukáció jelentőségére. Ennek következtében a fiatal labdarúgók gyakran magas elvárásokat támasztanak saját teljesítményükkel szemben, ami fokozott terhelési kitétséggel járhat. Ezért kiemelten fontos, hogy a sportolók és a szakemberek egyaránt tisztában legyenek a fáradás és a túledzés potenciális következményeivel, valamint azzal, hogy a megfelelő terhelésmenedzsment bizonyos esetekben a TL tudatos csökkentését (tapering) is szükségessé teheti, még serdülőkorban is.

6.7.2 A második vizsgálat

A kutatás eredményei jelentős mértékben hozzájárulhatnak az ETL és az ITL kapcsolatának mélyebb megértéséhez az U16-os labdarúgásban.

Az edzések során a HR-alapú változók erősebb összefüggést mutattak a GPS-alapú metrikákkal, mint mérkőzéseken, amely arra utal, hogy a HR-értékek pontosabb képet adhatnak a játékosok élettani válaszáiról, így továbbra is a legmeghatározóbb ITL-mérési lehetőség annak nyomon követése. A gyakorlat szempontjából javasoljuk, hogy az ITL értékelésekor több, robusztus változó együttesen legyen figyelembe véve, ahelyett, hogy kizárólag az egyszerűbb paraméterekre, mint a pillanatnyi pulzus vagy az átlagpulzus értékeire támaszkodnának a szakemberek. Az edzés közben mért, összegzett mutatók (pl. a TRIMP, eTRIMP és HR exertion) pontosabban határozzák meg az ITL-t, és ezáltal lehetővé teszik a hatékonyabb terhelésmenedzsmentet az edzésprogramban. Gyakorlati példaként, ha egy játékos MD-2-re eléri vagy meghaladja az ajánlott kumulatív ITL-határértéket, úgy differenciált edzésprogram alkalmazása (pl. tapering módszer) ajánlott, hogy a regenerációt fokozzuk és optimalizáljuk a készenléti állapotot a következő terhelésre. Ezzel szemben, ha egy játékos nem kapott elég ITL-t MD-2-ig, abban az esetben kiegészítő futásokkal lehet a lemaradást kompenzálni. Pár konkrét példa irodalmi hivatkozással: 8x40 méter, 80%-os intenzitás, 40 mp pihenő intervall; 9x30 méter, 90%-os intenzitás, 30 mp pihenő intervall; 10x20 méter, ~100%-os intenzitás, 20 mp

pihenő intervall (Verheijen, 1998). Ezzel biztosítva a megfelelő fizikális felkészülést és az alulterhelésből fakadó, nemkontakt sérülések kockázati rizikójának csökkentését.

A mérkőzéseknél azonban magasabb korrelációt figyeltünk meg az RPE- és az s-RPE-értékekkel szemben a HR-alapú változókkal, ami az előbbi ITL-változók gyakorlati hasznosságát jelzik. Tekintettel arra, hogy Magyarországon – ugyanakkor nemzetközi szinten is – észlelt probléma, hogy az utánpótlás-labdárúgó akadémiákon korlátozott vagy teljesen hiányos a pulzusmonitorozási eszközök elérhetősége, így szükséges egy könnyen hozzáférhető, költséghatékony és gyakorlati szakemberek által is értelmezhető mérési módszer, amelyet az RPE és az s-RPE hatékonyan biztosíthat. Bár a szubjektív mérések nem helyettesíthetik a standardizált HR-mutatókat, ugyanakkor alkalmazhatók alternatív, helyettesítő megoldásként.

A gyakorlatban történő RPE-alapú adatgyűjtés során javasoljuk, hogy a méréseket azon szakember végezze a szakmai stábból, aki tisztában van a szakirodalomban meghatározott módszertani ajánlásokkal és azokat kellő igényességgel, pontossággal tudja követni. A játékosok késletett önbevallásos RPE-adatai (nem 20–30 perccel terhelést követően) csökkenthetik a mérési megbízhatóságot, mivel a játékosok a pihenés során adott válaszaik során alábecsülik a ténylegesen megélt fizikális megterhelésüket.

A jövőbeli kutatások szempontjából kiemelten fontosnak véljük, hogy a vizsgálatok a legrelevánsabb ETL-változókra fókuszáljanak (GPS-alapú), mivel a nagyobb adatvolumen nem feltétlenül jár együtt mélyebb megértéssel vagy jobb gyakorlati kimenetekkel. Emellett javasoljuk a longitudinális vizsgálatokat, amelyek az edzésidőszakok, szezonok közötti változásokat is nyomon követik, valamint az MTL- és a LTL-paraméterek integrálását, amelyek tovább gazdagíthatják az ITL–ETL kapcsolat komplex megértését.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen disszertáció célja az utánpótláskorú labdarúgók ETL- és ITL-mutatói közötti kapcsolatok feltárása volt, különös tekintettel az életkori sajátosságokra, valamint az edzés- és mérkőzéskörnyezet eltérő terhelési struktúráira. A vizsgálatok eredményei egyértelműen alátámasztják azt, hogy a terhelésmonitorozás csak integrált, többdimenziós megközelítésben értelmezhető megbízhatóan utánpótláskorú labdarúgók esetében.

7.1 Első vizsgálat

7.1.1 H1 következtetése

H1: *A lokomotoros edzésterhelési változók (LTL) terjedelmi és intenzitási paraméterei erősebb összefüggést mutatnak az RPE-vel és az s-RPE-vel, mint a mechanikai edzésterhelési változók (MTL), edzésen és mérkőzésen egyaránt.*

Az első hipotézis **beigazolódott**. Az RPE és különösen az s-RPE szorosabb kapcsolatot mutatott az LTL terjedelmi változóival, mint az MTL-mutatókkal, különösen edzéskörnyezetben. Ez arra utal, hogy az észlelt terhelés kialakulásában elsődleges szerepet játszik a teljes edzésvolumenhez kapcsolódó kardiovaszkuláris és metabolikus stressz, míg a mikromozgásokból eredő MTL kevésbé jelenik meg tudatosan a sportolók szubjektív terhelésészlelésében. Mérkőzéskörnyezetben az összefüggések gyengültek, különösen fiatalabb korosztályokban, ami a kontextuális és pszichés tényezők fokozott hatására utal.

7.1.2 H2 következtetése

H2: *A teljes megtett távolság, a magas intenzitású futás és a player load változók mutatják – az összes többi mért változóhoz képest – a legerősebb korrelációt az RPE-vel és s-RPE-vel, minden korosztályon belül, edzésen és mérkőzésen egyaránt.*

A második hipotézis edzőkörnyezetben **beigazolódott**, mérkőzésen **részben igazolható**. A TDC és a PL következetesen erős kapcsolatot mutattak az RPE- és különösen az s-RPE-értékekkel, míg a HSR szerepe korosztály- és környezetfüggőnek bizonyult. Ez megerősíti, hogy az észlelt terhelés elsősorban a kumulatív terhelési komponensekhez kapcsolódik, míg a HSR perceptuális jelentősége korosztály- és kontextus függően jelentős variabilitást mutat.

7.1.3 H3 következtetése

***H3:** A magas intenzitású futás és a sprintváltozók korrelációja az RPE-vel és az s-RPE-vel az idősebb korcsoportokban erősebb, mint a fiatalabb korcsoportokban, edzésen és mérkőzésen egyaránt.*

A harmadik hipotézis edzőkörnyezetben **beigazolódott**, mérkőzésen **részben igazolható**. A HSR- és SPR-változók kapcsolata az RPE/s-RPE-mutatókkal az életkor előrehaladtával erősödött, ami a biológiai érés, a neuromuszkuláris kapacitás és a terhelésészlelés fejlődésével magyarázható. Fiatalabb korosztályokban a nagy intenzitású futások perceptuális jelentősége kevésbé stabil, ami indokolja e változók körültekintő értelmezését az utánpótlás-edzésmonitorozás során.

7.2 Második vizsgálat

7.2.1 H4 következtetése

***H4:** A pulzusalapú mutatók (TRIMP, eTRIMP, HR exertion) erős, szignifikáns korrelációt mutatnak a teljes megtett távolsággal és a player load-dal edzéseken, míg mérkőzések során ugyanezek az összefüggések szignifikánsak, de jellemzően közepes erősségűek.*

A negyedik hipotézis edzőkörnyezetben **beigazolódott**. A pulzusalapú ITL-mutatók edzőkörnyezetben rendkívül szoros kapcsolatot mutattak a volumenjellegű ETL-változókkal, míg mérkőzések során ez a kapcsolat mérsékeltebbé vált. Ez azt jelzi, hogy a pulzusalapú mutatók különösen alkalmasak a strukturált edzés során felhalmozódó kardiovaszkuláris terhelés

jellemzésére, míg mérkőzéskörnyezetben a terhelés komplexebb értelmezést igényel.

7.2.2 H5 következtetése

H5: *Mérkőzéskörnyezetben a TRIMP, eTRIMP és HR exertion erősebb korrelációt mutatnak a teljes megtett távolsággal, a magas intenzitású futással és a player load-dal, mint az RPE és az s-RPE ugyanazon ETL-változókkal.*

Az ötödik hipotézis részben **beigazolódott**. Bár a pulzusalapú mutatók mérkőzéskörnyezetben is releváns információt szolgáltatottak az objektív fizikai igénybevételről, az RPE és különösen az s-RPE nem mutatott egyértelműen gyengébb kapcsolatot az ETL-változókkal, ami arra utal, hogy a mérkőzések során észlelt terhelés továbbra is integrált módon tükrözi a fizikai és nemfizikai stresszorokat.

7.2.3 H6 következtetése

H6: A TRIMP, eTRIMP és HR exertion és az s-RPE között nagyon erős, szignifikáns korreláció áll fenn, míg az RPE-vel erős korreláció.

A hatodik hipotézis **beigazolódott**. A pulzusalapú ITL-mutatók és az s-RPE között mind edzés-, mind mérkőzéskörnyezetben nagyon erős kapcsolat volt kimutatható, míg az RPE esetében az összefüggések következetesen gyengébbek voltak. Ez megerősíti az s-RPE szerepét, mint az ITL komplex, idővel súlyozott indikátorát utánpótláskorú labdarúgók esetében.

A fenti következtetések a dolgozatban részletezett módszertani keretek között értelmezendők, és elsősorban a több korosztályban és terhelési környezetben konzisztensen megjelenő mintázatokra épülnek.

8. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A vizsgálatok eredményei alapján több szempontból is új és újszerű eredményekkel járultak hozzá az utánpótlás-labdarúgás TL-jének monitorozásával foglalkozó szakirodalomhoz, valamint a gyakorlati szakemberek számára is iránymutatást nyújthat a megfogalmazott limitációk és indikációk mentén. A kutatás újdonsága egyrészt a vizsgált változók komplexitásában, másrészt azok integrált értelmezésében ragadható meg.

1. Elsőként, igazoltuk, hogy az utánpótláskorú labdarúgók (U15–U19) esetében az észlelt terhelési mutatók elsősorban az LTL területi változóival mutat szoros kapcsolatot, míg az MTL mutatók gyengébb összefüggést jeleznek.
2. Kimutattuk, hogy a HSR és SPR változók az észlelt terheléssel való kapcsolata az életkor előrehaladtával erősödik, ami arra utal, hogy az ETL–ITL kapcsolat életkor- és érettségfüggő mintázatot mutat.
3. Igazoltuk, hogy az s-RPE szorosabb és stabilabb kapcsolatot mutat az objektív terhelési mutatókkal, mint az RPE önmagában, így komplexebb ITL indikátorként értelmezhető utánpótláskorú labdarúgásban.
4. Megállapítottuk, hogy edzőkörnyezetben a pulzusalapú ITL-mutatók (TRIMP, eTRIMP, HR exertion) rendkívül erős kapcsolatot mutatnak a volumenjellegű ETL-változókkal U16-os labdarúgó korosztálynál, míg mérkőzésen ez az összefüggés mérsékeltebb.
5. Kimutattuk, hogy a TDC a pulzusalapú változókkal legmeghatározóbb előre jelzője, míg az intenzitású mutatók prediktív szerepe korlátozottabb U16-ban.
6. Igazoltuk, hogy az ETL- és ITL-változók integrált, többdimenziós elemzése pontosabb képet nyújt az utánpótláskorú labdarúgók terhelés-válasz kapcsolatáról, mint az egyes mutatók izolált alkalmazása.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmány átfogó betekintést nyújt az ETL és az ITL közötti összefüggésekről elit U15, U16, U17 és U19-es korosztályú labdarúgásban, a GPS-alapú változók, a HR-alapú mutatók, valamint a szubjektív mérőeszközök – így az RPE, s-RPE és az észlelt jóllét – együttes vizsgálatán keresztül.

Eredményeink szerint az ETL- és az ITL-mutatók erőstől közel tökéletesig terjedő korrelációt mutattak, ahol a TDC és a PL bizonyult a TRIMP és a HR exertion legszorosabban kapcsolódó GPS-paramétereinek az U16-os korosztályban. A TDC a két HR-alapú mutató legkonzisztensebb prediktoraként jelent meg, ami alátámasztja gyakorlati jelentőségét a fizikális terhelés meghatározó mutatójaként. Mivel a TDC széles körben alkalmazott és könnyen értelmezhető mutató, eredményeink különösen hasznosak az edzők számára a terhelés objektív és hatékony értékelésében.

A vizsgálataink kimutatták azt is, hogy az RPE és az s-RPE mérsékelttől nagyon erősig terjedő korrelációt mutatott a GPS-alapú terjedelmi mutatókkal az U16, U17 és U19-es korosztályokban. Ez azt indikálja, hogy az RPE-alapú értékelések megbízhatóan tükrözik a tényleges edzésintenzitást és -terjedelmet. Következésképpen az RPE és s-RPE értékes komponensei a terhelésmonitorozásnak.

Ezzel szemben az észlelt jóllétet vizsgáló WQ csak gyenge kapcsolatot mutatott az ETL-változókkal U15, U17, U19 korosztályokban. Ez arra utal, hogy bár a WQ érzékeny eszköz a játékosok felkészültségi állapotának, regenerációjának és szubjektív közérzetének nyomon követésére, kevésbé alkalmas az ITL közvetlen becslésére.

Összességében eredményeink megerősítik a GPS-technológia, a HR-alapú monitorozás és az RPE-alapú értékelések gyakorlati alkalmazhatóságát az elit utánpótlás-labdarúgásban U15, U16, U17 és U19-es korosztályoknál.

10. SUMMARY

In summary, this study provides comprehensive insight into the relationship between ETL and ITL in elite U15–U19 soccer by examining GPS-derived variables alongside HR-based metrics and subjective measures such as RPE, s-RPE, and perceived well-being.

Our findings demonstrated large to nearly perfect correlations between ETL and ITL indicators, with TDC and PL emerging as the GPS-derived parameters most closely related to TRIMP and HR exertion in U16. Notably, TDC was the most consistent predictor of both HR-based indicators, reinforcing its practical relevance as a fundamental marker of physical load. Given that TDC is widely applied and easily interpretable, these results carry important implications for coaches aiming to evaluate training demands efficiently and accurately.

This study further revealed that measures of RPE and s-RPE showed moderate to very strong correlations with GPS-based variables, particularly those reflecting training volume in U16–U19. This suggests that RPE-based assessments reliably capture actual training intensity and volume. Consequently, RPE and s-RPE serve as valuable components of TL monitoring systems.

By contrast, the WQ exhibited only weak associations with ETL metrics in U15, U17 and U19. This indicates that while WQ is a sensitive tool for monitoring players' readiness, recovery state, and subjective well-being, it is less suitable for estimating ITL directly.

Collectively, these results confirm the practical value of integrating GPS technology, HR-based monitoring, and RPE-based assessments in elite youth soccer. The combined use offers a reliable and cost-effective framework for optimizing performance, preventing overtraining, mitigating non-contact injury risk, and supporting long-term physical development in U15–U19 elite soccer.

11. IRODALOMJEGYZÉK

Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(7), 517–538.

Akenhead, R., Harley, J. A., & Twedde, S. P. (2016). Examining the external training load of an English Premier League football team with special reference to acceleration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(9), 2424–2432.

Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 587–593.

Akyildiz, Z., Ocak, Y., Clemente, F. M., Birgonul, Y., Günay, M., & Nobari, H. (2022). Monitoring the post-match neuromuscular fatigue of young Turkish football players. *Scientific Reports*, 12(1), 13835.

Alexiou, H., & Coutts, A. J. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3), 320–330.

Alonso, L., Silva, L., Paulucio, D., Pompeu, F., Bezerra, L., Lima, V., Vale, R., Oliveira, M., Dantas, P., Silva, J., et al. (2017). Field tests vs. post game GPS data in young soccer player team. *Journal of Exercise Physiology Online*, 20, 102–110.

Aroganam, G., Manivannan, N., & Harrison, D. (2019). Review on wearable technology sensors used in consumer sport applications. *Sensors*, 19(9), 1983.

Askow, A. T., Lobato, A. L., Arndts, D. J., Jennings, W., Kreutzer, A., Erickson, J. L., Esposito, P. E., Oliver, J. M., Foster, C., & Jagim, A. R. (2021). Session Rating of Perceived Exertion (sRPE) Load and Training Impulse Are Strongly Correlated to GPS-Derived Measures of External Load

in NCAA Division I Women's Soccer Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(4), 90.

Balyi, I., Way, R., & Higgs, C. (2013). *Long-term athlete development*. Human Kinetics, Champaign, USA. Windsor, Canada.

Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665–674.

Banister, E. W., Calvert, T. W., Savage, M. V., & Bach, T. (1975). A systems model of training for athletic performance. *Australian Journal of Sports Medicine*, 7(3), 57–61.

Barbero Álvarez, J. C., Gómez López, M., Barbero Álvarez, V., Granda Vera, J., & Castagna, C. (2008). Heart rate and activity profile for young female soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 3(2), 1–11.

Bartlett, J. D., O'Connor, F., Pitchford, N., Torres-Ronda, L., & Robertson, S. J. (2017). Relationships Between Internal and External Training Load in Team-Sport Athletes: Evidence for an Individualized Approach. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 230–234.

Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2019). *Periodization (6th ed.): Theory and methodology of training*. Human Kinetics. IL: Champaign, USA.

Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795.

Borg G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377–381.

Borg, G. A. (1998). *Perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics, Champaign IL, USA.

- Borg, G., Hassmén, P., & Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 679–685.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., ... & Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2–161.
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F. X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452–459.
- Boyd, L. J., Ball, K., & Aughey, R. J. (2011). The reliability of MinimaxX accelerometers for measuring physical activity in Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 311–321.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27, 159–168.
- Brancaccio, P., Maffulli, N., & Limongelli, F. M. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*, 81(1), 209–230.
- Buchheit M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338.
- Buchheit, M., & Simpson, B. M. (2017). Player-Tracking Technology: Half-Full or Half-Empty Glass?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), S235–S241.
- Campos-Vazquez, M. A., Mendez-Villanueva, A., Gonzalez-Jurado, J. A., León-Prados, J. A., Santalla, A., & Suarez-Arrones, L. (2015). Relationships

between rating-of-perceived-exertion-and heart-rate-derived internal training load in professional soccer players: a comparison of on-field integrated training sessions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(5), 587–592.

Casamichana, D., Castellano, J., Calleja-Gonzalez, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). Relationship between indicators of training load in soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(2), 369–374.

Catapult Sports. (n.d.). *What is IMA?*
<https://support.catapultsports.com/hc/en-us/articles/360000510856-What-is-IMA>

Chambers, R., Gabbett, T. J., Cole, M. H., & Beard, A. (2015). The use of wearable microsensors to quantify sport-specific movements. *Sports Medicine*, 45(7), 1065–1081.

Clemente, F. M., Silva, R., Castillo, D., Los Arcos, A., Mendes, B., & Afonso, J. (2020). Weekly Load Variations of Distance-Based Variables in Professional Soccer Players: A Full-Season Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3300.

Connolly, D. R., Stolp, S., Gualtieri, A., Bravo, D. F., Sassi, R., Rampinini, E., & Coutts, A. J. (2024). How do young soccer players train? A 5-year analysis of weekly training load and its variability between age groups in an elite youth academy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(8), e423–e429.

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 43(10), 1025–1042.

Davies, M. J., Young, W., Farrow, D., & Bahnert, A. (2013). Comparison of agility demands of small-sided games in elite Australian football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(2), 139–147.

de Dios-Álvarez, V., Suárez-Iglesias, D., Bouzas-Rico, S., Alkain, P., González-Conde, A., & Ayán-Pérez, C. (2023). Relationships between RPE-derived internal training load parameters and GPS-based external training load variables in elite young soccer players. *Research in Sports Medicine, 31*, 58–73.

Delaney, J. A., Thornton, H. R., Pryor, J. F., Stewart, A. M., Dascombe, B. J., & Duthie, G. M. (2017). Peak Running Intensity of International Rugby: Implications for Training Prescription. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 12*(8), 1039–1045.

Dellal, A., da Silva, C. D., Hill-Haas, S., Wong, delP., Natali, A. J., De Lima, J. R., Bara Filho, M. G., Marins, J. J., Garcia, E. S., & Chamari, K. (2012). Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *Journal of Strength & Conditioning Research, 26*(10), 2890–2906.

Edwards, S. (1994). *The heart rate monitor book* (pp. 113–123). Polar Electro Inc.

Eniseler, N. (2005). Heart rate and blood lactate concentrations as predictors of physiological load on elite soccer players during various soccer training activities. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 19*(4), 799-804.

Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine, 39*(6), 469–490.

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength & Conditioning Research, 15*(1), 109–115.

Gabbett T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?. *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 273–280.

Gaudino, P., Iaia, F. M., Alberti, G., Strudwick, A. J., Atkinson, G., & Gregson, W. (2013). Monitoring training in elite soccer players: systematic bias between running speed and metabolic power data. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(11), 963–968.

Gaudino, P., Iaia, F. M., Strudwick, A. J., Hawkins, R. D., Alberti, G., Atkinson, G., & Gregson, W. (2015). Factors influencing perception of effort (session rating of perceived exertion) during elite soccer training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(7), 860–864.

Géczi, G., Sáfár, S., & Havanecz, K. (2022). A kosárlabda-, kézilabda-és labdarúgás-sportteljesítményt meghatározó változók vizsgálata: Fókuszban gps-és lps-rendszerek. *Acta Universitatis: Sectio Sport-Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae*, *52*, 73–81.

Greig, M., & Siegler, J. C. (2009). Soccer-specific fatigue and eccentric hamstrings muscle strength. *Journal of Athletic Training*, *44*(2), 180–184.

Gros Lambert, A., & Mahon, A. D. (2006). Perceived exertion: influence of age and cognitive development. *Sports Medicine*, *36*(11), 911–928.

Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers in Neuroscience*, *11*, 612.

Hader, K., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Kilduff, L. P., Girard, O., & Silva, J. R. (2019). Monitoring the Athlete Match Response: Can External Load Variables Predict Post-match Acute and Residual Fatigue in Soccer? A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine - open*, *5*(1), 48.

Halson S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *44 Suppl 2*(Suppl 2), S139–S147.

Harley, J. A., Lovell, R. J., Barnes, C. A., Portas, M. D., & Weston, M. (2011). The interchangeability of global positioning system and

semiautomated video-based performance data during elite soccer match play. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2334–2336.

Havanecz, K., Géczi, G., & Sáfár, S. (2020). Áttekintés az eddigi kosárlabda-, kézilabda- és labdarúgás-sportteljesítményt meghatározó változóknak a vizsgálatáról GPS- és LPS-rendszerekkel. *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae: Sectio Sport*, 49(2), 49–57.

Havanecz, K., Sáfár, S., Bartha, C., Kopper, B., Horváth, T., Tóth, P. J., Szabó, G. P., Szalánczi, Z., & Géczi, G. (2025b). Relationship Between Internal and External Load in Under-16 Soccer Players: Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and GPS-Derived Variables. *Sports (Basel, Switzerland)*, 13(11), 376.

Havanecz, K., Tóth, P. J., Kopper, B., Bartha, C., Sáfár, S., Fridvalszki, M., & Géczi, G. (2025a). Relationship Between GPS-Derived Variables and Subjective Questionnaires Among Elite Youth Soccer Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 13(8), 246.

Henderson, B., Cook, J., Kidgell, D. J., & Gatin, P. B. (2015). Game and Training Load Differences in Elite Junior Australian Football. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(3), 494–500.

Hooper, S. L., & Mackinnon, L. T. (1995). Monitoring overtraining in athletes: Recommendations. *Sports Medicine*, 20, 321–327.

Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(1), 3.

Hopkins, W. G. (1991). Quantification of training in competitive sports: methods and applications. *Sports Medicine*, 12(3), 161–183.

Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55.

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *14*(2), 270–273.

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*(6), 1042–1047.

Jaspers, A., Brink, M. S., Probst, S. G., Frencken, W. G., & Helsen, W. F. (2017). Relationships between training load indicators and training outcomes in professional soccer. *Sports Medicine*, *47*(3), 533–544.

Johnston, R. J., Watsford, M. L., Kelly, S. J., Pine, M. J., & Spurrs, R. W. (2014). Validity and interunit reliability of 10 Hz and 15 Hz GPS units for assessing athlete movement demands. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*, 1649–1655.

Kádár, L., Géczy, G., Bognár, J., & Csáki, I. (2023). Movement analysis of match play in U16-U21 youth Hungarian soccer players-the influence of age, position, and contextual variables. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *23*(3), 213–231.

Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery: A conceptual model. *Sports Medicine*, *26*, 1–16.

Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjøkvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., & Curtner-Smith, M. (2011). A practical approach to monitoring recovery: Development of a perceived recovery status scale. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *25*(3), 620–628.

Laux, P., Krumm, B., Diers, M., & Flor, H. (2015). Recovery–stress balance and injury risk in professional football players: A prospective study. *Journal of Sports Sciences*, *33*(20), 2140–2148.

Lisbôa, F. D., Raimundo, J. A., Salvador, A. F., Pereira, K. L., Turnes, T., Diefenthaler, F., ... & Caputo, F. (2019). Acute cardiopulmonary, metabolic,

and neuromuscular responses to severe-intensity intermittent exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(2), 408–416.

Little, T., & Williams, A. G. (2006). Suitability of soccer training drills for endurance training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), 316–319.

Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61–72.

Maddison, R., & Ni Mhurchu, C. (2009). Global positioning system: a new opportunity in physical activity measurement. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 6(1), 73.

Mallo, J., Mena, E., Nevado, F., & Paredes, V. (2015). Physical demands of top-class soccer friendly matches in relation to playing position using global positioning system technology. *Journal of Human Kinetics*, 47, 179–188.

Malone, S., Owen, A., Newton, M., Mendes, B., Collins, K. D., & Gabbett, T. J. (2017). The acute: chronic workload ratio in relation to injury risk in professional soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(6), 561–565.

Malone, J., Barrett, S., Barnes, C., Twist, C., & Drust, B. (2019). To infinity and beyond: The use of GPS devices within the football codes. *Science and Medicine in Football*, 4(1), 82–84.

Marqués-Jiménez, D., Calleja-González, J., Arratibel-Imaz, I., & Terrados, N. (2022). Match Loads May Predict Neuromuscular Fatigue and Intermittent-Running Endurance Capacity Decrement after a Soccer Match. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15390.

Martín-García, A., Gómez Díaz, A., Bradley, P. S., Morera, F., & Casamichana, D. (2018). Quantification of a professional football team's

external load using a microcycle structure. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32, 3511–3518.

Martín-García, A., Castellano, J., Méndez Villanueva, A., Gómez-Díaz, A., Cos, F., & Casamichana, D. (2020). Physical Demands of Ball Possession Games in Relation to the Most Demanding Passages of a Competitive Match. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 1–9.

Marynowicz, J., Kikut, K., Lango, M., Horna, D., & Andrzejewski, M. (2020). Relationship Between the Session-RPE and External Measures of Training Load in Youth Soccer Training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(10), 2800–2804.

Maughan, P. C., MacFarlane, N. G., & Swinton, P. A. (2021). Relationship between subjective and external training load variables in youth soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(8), 1127–1133.

Maughan, P. C., MacFarlane, N. G., & Swinton, P. A. (2022). The influence of season phase on multivariate load relationships in professional youth soccer. *Journal of Sports Sciences*, 40(3), 345–350.

Maupin, D., Schram, B., Canetti, E., & Orr, R. (2020). The Relationship Between Acute: Chronic Workload Ratios and Injury Risk in Sports: A Systematic Review. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 11, 51–75.

McCall, A., Dupont, G., & Ekstrand, J. (2016). Injury prevention strategies, coach compliance and player adherence of 33 of the UEFA Elite Club Injury Study teams: A survey of teams' head medical officers. *British Journal of Sports Medicine*, 50(12), 725–730.

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186–205.

- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, *34*(02), 101–110.
- Meylan, C., Trewin, J., & McKean, K. (2017). Quantifying explosive actions in international women's soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(3), 310–315.
- Nobari, H., Fani, M., Clemente, F. M., Carlos-Vivas, J., Pérez-Gómez, J., & Ardigò, L. P. (2021). Intra- and inter-week variations of well-being across a season: A cohort study in elite youth male soccer players. *Frontiers in Psychology*, *12*, 671072.
- Noble, B. J., & Robertson, R. J. (1996). *Perceived exertion*. Human Kinetics. IL: Champaign, *510*, 78.
- Noble, B. J., Borg, G. A., Jacobs, I. R. A., Ceci, R., & Kaiser, P. (1983). A category-ratio perceived exertion scale: relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *15*(6), 523–528.
- Oliva-Lozano, J. M., Conte, D., Fortes, V., & Muyor, J. M. (2023). Exploring the use of player load in elite soccer players. *Sports Health*, *15*(1), 61–66.
- Oliveira, R. F. S. (2020). *In-season training load quantification of a top elite European soccer male team* (Doctoral dissertation, Universidade da Beira Interior (Portugal)).
- Oliveira, R., Brito, J. P., Fernandes, R., Espada, M. C., Santos, F. J., Nalha, M., ... Morgans, R. (2025). Comparison of external load during differing microcycle structures across two competitive seasons in elite female Portuguese soccer players. *Frontiers in Sports and Active Living*, *7*, 1608382.
- Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019). Match running performance in young soccer players: A systematic review. *Sports Medicine*, *49*(2), 289–318.

- Prudholme, D. C., Coburn, J. W., Lynn, S. K., & Lockie, R. G. (2023). Relationships between sprint, acceleration, and deceleration metrics with training load in Division I collegiate women's soccer players. *Journal of Human Kinetics, 85*, 53–68.
- Radzimiński, Ł. (2021). Weekly training load distribution and relationships between external and internal load indicators in professional soccer players. *Journal of Physical Education and Sport, 21*(4), 1669–1675.
- Rago, V., Brito, J., Figueiredo, P., Krstrup, P., & Rebelo, A. (2019). Relationship between external load and perceptual responses to training in professional football: effects of quantification method. *Sports, 7*(3), 68.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine, 28*(12), 1018–1024.
- Ravé, G., Granacher, U., Boulosa, D., Hackney, A. C., & Zouhal, H. (2020). How to use global positioning systems (GPS) data to monitor training load in the “real world” of elite soccer. *Frontiers in Physiology, 11*, 944.
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., Drust, B., & Krstrup, P. (2012). A new tool to measure training load in soccer training and match play. *International Journal of Sports Medicine, 33*(04), 297–304.
- Reilly T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences, 15*(3), 257–263.
- Rodríguez-Marroyo, J. A., & Antoñan, C. (2015). Validity of the session rating of perceived exertion for monitoring exercise demands in youth soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 10*(3), 404–407.
- Roell, M., Mahler, H., Lienhard, J., Gehring, D., Gollhofer, A., & Roecker, K. (2019). Validation of wearable sensors during team sport-specific movements in indoor environments. *Sensors, 19*(16), 3458.

- Roescher, C. R., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C., & Visscher, C. (2010). Soccer endurance development in professionals. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(3), 174–179.
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(5), 281–291.
- Scott, B. R., Lockie, R. G., Knight, T. J., Clark, A. C., & de Jonge, X. A. J. (2013). A comparison of methods to quantify the in-season training load of professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *8*(2), 195–202.
- Scott, M. T., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: A brief review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *30*, 1470–1490.
- Selye, H. (1950). Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*, *1*(4667), 1383.
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R., & Andersen, T. E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: Cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, *337*, a2469.
- Stevens, T. G., de Ruiter, C. J., Twisk, J. W., Savelsbergh, G. J., & Beek, P. J. (2017). Quantification of in-season training load relative to match load in professional Dutch Eredivisie football players. *Science and Medicine in Football*, *1*, 117–125.
- Tan, B., Hu, A., & Zheng, Y. (2025). Exploring The Physiological and Physical Basis of RPE Responses in Soccer: A Comparative Analysis of Internal and External Load Determinants Across Different Training Drills. *Journal of Sports Science & Medicine*, *24*(4), 881.

Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Leal, M., Ribeiro, J., Silva, A. J., ... & Monteiro, A. M. (2022). The association between external training load, perceived exertion and total quality recovery in sub-elite youth football. *The Open Sports Sciences Journal*, 15(1), 1–9.

Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 958-964.

Towson, C., Cobley, S., Midgley, A. W., Garrett, A., Parkin, G., & Lovell, R. (2017). Relative age, maturation and physical biases on position allocation in elite-youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 38(03), 201–209.

Towson, C., Watson, D. J., Cumming, S., Salter, J., & Toner, J. (2023). Soccer academy practitioners' perceptions and application of bio-banding. *Plos One*, 18(1), e0274079.

Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training load monitoring in team sports: a novel framework separating physiological and biomechanical load-adaptation pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135–2142.

Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121–127.

Varley, M. C., Jaspers, A., Helsen, W. F., & Malone, J. J. (2017). Methodological Considerations When Quantifying High-Intensity Efforts in Team Sport Using Global Positioning System Technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(8), 1059–1068.

Verheijen, R. (1998). The Complete Handbook of Conditioning for Soccer. *US: Reedsman. S*, 17–144.

Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2009). The ecological validity and application of the session-RPE method for quantifying training loads in swimming. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 33–38.

Weaving, D., Marshall, P., Earle, K., Nevill, A., & Abt, G. (2014). Combining internal- and external-training-load measures in professional rugby league. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 905–912.

Wehbe, G. M., Hartwig, T. B., & Duncan, C. S. (2014). Movement analysis of Australian national league soccer players using global positioning system technology. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(3), 834–842.

Weston, M., Siegler, J., Bahnert, A., McBrien, J., & Lovell, R. (2015). The application of differential ratings of perceived exertion to Australian Football League matches. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(6), 704–708.

12. SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Folyóiratban megjelent szócikkek a disszertációhoz kapcsolódóan:

Havanecz, K., Sáfár, S., Bartha, C., Kopper, B., Horváth, T., Tóth, P. J., ... & Géczi, G. (2025). Relationship Between Internal and External Load in Under-16 Soccer Players: Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and GPS-Derived Variables. *Sports, 13*(11), 376.

Havanecz, K., Tóth, P. J., Kopper, B., Bartha, C., Sáfár, S., Fridvalszki, M., & Géczi, G. (2025). Relationship Between GPS-Derived Variables and Subjective Questionnaires Among Elite Youth Soccer Players. *Sports, 13*(8), 246.

Géczi, G., Sáfár, S., & Havanecz, K. (2022). A kosárlabda-, kézilabda-és labdarúgás-sportteljesítményt meghatározó változók vizsgálata: Fókuszban gps-és lps-rendszerek. *Acta Universitatis: Sectio Sport-Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae, 52*, 73–81.

Havanecz, K., Géczi, G., & Sáfár, S. (2020). Áttekintés az eddigi kosárlabda-, kézilabda- és labdarúgás-sportteljesítményt meghatározó változóknak a vizsgálatáról gps- és lps-rendszerekkel. *Acta Universitatis: Sectio Sport-Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae, 49*(2), 49–57.

Folyóiratban megjelent szócikkek nem a disszertációhoz kapcsolódóan:

Sümegei, T., Sonkodi, B., Havanecz, K., Berkes, I., & Kopper, B. (2025). Biomechanical Model of Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury Concerning Shin Angle and Field Surface Traction Parameters—With a Piezo2 Interpretation. *Sports, 13*(12), 414.

Tóth P.J, Trzaskoma-Bicsérdy G, Trzaskoma Ł, Négyesi J, Dobos K, Havanecz K, Sáfár S, & Ökrös C. (2025). Comparison of External and Internal Training Loads in Elite Junior Male Tennis Players During Offensive vs. Defensive Strategy Conditions: A Pilot Study. *Sports, 13*(4), 101.

Tóth P.J, Csáki I, Négyesi J, Dobos K, Havanecz K, Sáfár S, & Ökrös C (2025) External training load and rating of perceived exertion comparison between different playing styles and winning vs. losing matches in elite tennis. *Frontiers Sports and Active Living*, 7, 1613661.

Fridvalszki, M., Matlák, J., Kovács, B., Petridis, L., Horváth, D., Havanecz, K., Dudás, D., Langmár, G., & Rác, L. (2022). Reliability Study of a Functional Test for the Offensive Agility Performance in Water Polo. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10040.

13. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálásan köszönöm témavezetőmnek, Dr. Géczi Gábor Professor Úrnak, aki nélkül – valószínűsíthetőleg – nem kezdtem volna el a doktori tanulmányaimat. A *Professor Úr* meghallgatott, megértette mit szeretnék, és azt gondolom, hogy őszintén hitt, és úgy gondolom, hisz abban, amit meg akartam és a jövőben szeretnék megvalósítani a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem érdekében. Remélem, hogy a jövőben még dolgozunk együtt!

Szeretném köszönetemet kifejezni Dr. Sáfár Sándor felé is. A *Tanár Úr* által nyertem betekintést az erőnléti edzői szakmába, a diplomadolgozatom témavezetői segítségét látta el, és számtalan munkában nyújtott nekem lehetőséget. Hálás vagyok mindazért, amiért a szakmai fejlődésemhez szükséges feltételeket segítette. Büszke vagyok, hogy a TF kötelékében együtt dolgozunk, és egy tanszék kötelékében tanítunk edzéselméletet!

Köszönöm szépen Dr. Kopper Bence tanácsait, támogatását és közreműködését a kutatásaim során. Meggyőződésem, hogy a *Tanár Úr* segítsége nélkül nem tudtam volna ilyen mértékben előre haladni a tudományos pályámon. Bízom benne, hogy a jövőben is lehetőségünk nyílik közös kutatásokra és együttműködésekre.

Visszatekintve az elmúlt évekre úgy érzem, hogy jelentős fejlődésen mentem keresztül a tudományos gondolkodásom terén. Mindezekért szeretném őszinte köszönetemet kifejezni a Sporttudományok Doktori Iskola igazgatójának, Prof. Dr. Radák Zsoltnak. Bár szakmai kérdésekben időnként eltérő véleményt képviselünk, úgy hiszem, hogy a kölcsönös tisztelet és megbecsülés mindig meghatározó marad.

Hálámat szeretném továbbiakban kifejezni Rab Tímeának, akinek kedves és végtelenül türelmes támogatása nélkül valószínűleg nem tudtam volna időben befejezni a doktori képzésemet.

14. MELLÉKLETEK

14.1 Kutatásetikai engedélyek

14.1.1 Első vizsgálat



MAGYAR TESTNEVELÉSI
ÉS SPORTTUDOMÁNYI
EGYETEM
BUDAPEST

Kutatásetikai Bizottság

Elnök: Dr. Perényi Szilvia, egyetemi docens
1123 Budapest, Alkotás u. 42-48.
keb@tf.hu

KUTATÁSETIKAI ENGEDÉLY (Research Ethics Certificate)

Téma: „Relationship between GPS-derived variables and subjective
(topic of research) questionnaires among elite youth soccer players"

Témavezető: Prof. Dr. Géczai Gábor, PhD
(research adviser)

Kérelem benyújtója: Havanecz Krisztián
(submitted by)

Kutatásetikai vélemény (Research ethical decision):

A kérelem benyújtói vagy tapasztalt szakemberek, vagy azok felügyelete alatt állnak, a vizsgálati személyek részére készült tájékoztató teljes körű, a vizsgálat kockázatot nem hordoz magában, így a kutatás etikai engedélyezését támogatom.

(The applicants are either experienced professionals or under their supervision, the information provided to the subjects is complete, the study does not pose any risk, and I support the ethical approval of the research.)

Engedélyszám: MTSE-KEB/No07/2025
(number)

Záradék: A vizsgálatok során a hatósági járványügyi intézkedések
(disclaimer) mindenkor betartása a kutató felelőssége
(It is the responsibility of the researcher to comply with the official epidemiological measures during the investigations at all times)

Budapest, 2025. március 25.

A Kutatásetikai Bizottság nevében és képviselőjeként:


Dr. Perényi Szilvia
a KEB elnöke/president



ISO 9001 minőségirányítási
rendszer szerint tanúsítva

14.1.2 Második vizsgálat



MAGYAR TESTNEVELÉSI
ÉS SPORTTUDOMÁNYI
EGYETEM
BUDAPEST

Kutatásetikai Bizottság
Elnök: Dr. Perényi Szilvia, egyetemi docens
1123 Budapest, Alkotás u. 42-48.
keb@tf.hu

KUTATÁSETIKAI ENGEDÉLY (Research Ethics Certificate)

Téma: „Should we monitor heart rate from U16 in soccer?”
(topic of research)

Témavezető: Havanecz Krisztián
(research adviser)

Kérelem benyújtója: Prof. Dr. Géczy Gábor, PhD
(submitted by)

Kutatásetikai vélemény (Research ethical decision):

A kérelem benyújtói vagy tapasztalt szakemberek, vagy azok felügyelete alatt állnak, a vizsgálati személyek részére készült tájékoztató teljes körű, a vizsgálat kockázatot nem hordoz magában, így a kutatás etikai engedélyezését támogatom.

(The applicants are either experienced professionals or under their supervision, the information provided to the subjects is complete, the study does not pose any risk, and I support the ethical approval of the research.)

Engedélyszám: MTSE-KEB/No12/2025
(number)

Záradék: A vizsgálatok során a hatósági járványügyi intézkedések mindenkor betartása a kutató felelőssége
(disclaimer)
(It is the responsibility of the researcher to comply with the official epidemiological measures during the investigations at all times)

Budapest, 2025. június 26.

A Kutatásetikai Bizottság nevében és képviselőjeként:


Dr. Perényi Szilvia
a KEB elnöke/president



ISO 9001 minőségirányítási
rendszer szerint tanúsítva

14.2 Tájékoztató és beleegyező nyilatkozatok

14.2.1 Első vizsgálat

Szülői / törvényes képviselői beleegyező nyilatkozat

Kutatás helyszíne: Debreceni Labdarúgó Akadémia, 4014 Debrecen, Mezőgazdász utca 46.

Kutatás címe: Az U16-os labdarúgók belső és külső terhelésének kapcsolata: pulzus, átélt erőfeszítés nagysága és GPS-alapú változók, "Relationship Between Internal and External Load in Under-16 Soccer Players: Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and GPS-derived Variables".

Kutatás vezetője: Havanez Krisztián, DLA erőnléti csoportvezető, sportteljesítmény-elemző

Kutatás vezetőjének elérhetősége: havanez.krisztian@tf.hu

Kutatásban résztvevő játékos teljes neve:

A. A kutatás célja és háttere:

Havanez Krisztián, 1123 Budapest, Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem munkavállalója és doktorandusza kutatás végez a 2023/2024-es szezon során az U16-os labdarúgó csapat edzésterhelésének vizsgálatára GPS- és pulzusmérő szenzorok, valamint az átélt erőfeszítése nagysága (RPE) vonatkozó kérdőív alkalmazásával edzéseken és mérkőzéseken. Gyermekét azért választottuk be, mert egészséges, nincs korábbi sérülése, és kizárólag a Debreceni Labdarúgó Akadémia U16-os csapatában szerepel.

B. A kutatás menete:

Amennyiben beleegyezik gyermeke részvételébe, a következő eljárások történnek:

- gyermeke minden labdás edzésen és mérkőzésen Catapult S7 Vector GPS-eszközt és Polar H9 pulzusmérő szenzort fog viselni,

- gyermeke minden aktivitás után egy egyszerű kérdésre kell válaszolnia az észlelt megterheléssel kapcsolatban: "Egy 1–10-es Likert-skálán mennyire érezted megterhelőnek az adott aktivitást?".

C. A kutatás kockázatai:

A vizsgálatban való részvétel semmilyen plusz kockázattal nem jár az edzéseken és mérkőzéseken való szokásos részvételen felül.

D. Adatvédelem és bizalmas kezelés:

A rögzített adatok – beleértve a GPS- és pulzusadatokat, valamint a személyes információkat – bizalmasan lesznek kezelve.

- A résztvevők személyazonossága semmilyen publikációban vagy jelentésben nem jelenik meg.

- Minden személyes adat kódolva lesz, és külön lesz tárolva a nevektől vagy más beazonosító adatoktól.
- Az adatokat zárt, biztonságos helyen őrizzük meg.
- Csak a kutatásban résztvevő kutató férhet hozzá az adatokhoz, és kizárólag azok, akik számára az elengedhetetlen.
- A kutatás lezárulta után minden személyes adat törlésre kerül, így azokat a továbbiakban semmilyen módon nem lehet visszakeresni vagy felhasználni.

E. A részvétel előnyei:

A vizsgálatban való részvétel gyermeke számára közvetlen előnnyel nem jár. A kutatás célja azonban, hogy megvizsgálja az összefüggést a külső (GPS) és belső (pulzus, RPE) edzésterhelési mutatók között, és ezzel hozzájáruljon a sporttudomány fejlődéséhez.

A fent nevezett résztvevő szülője / törvényes képviselője kijelentem, hogy elolvastam és megértettem a kutatásról kapott tájékoztatót, és hozzájárulok gyermekem részvételéhez a vizsgálatban.

Szülő / törvényes képviselő neve:

Dátum: _____

Szülő / törvényes képviselő aláírása: _____

14.2.2 Második vizsgálat

Szülői / törvényes képviselői beleegyező nyilatkozat

Kutatás helyszíne: Debreceni Labdarúgó Akadémia, 4014 Debrecen, Mezőgazdász utca 46.

Kutatás címe: GPS-alapú változók és szubjektív kérdőíves terhelések közötti kapcsolat elit utánpótláskorú labdarúgók körében, "Relationship Between GPS-Derived Variables and Subjective Questionnaires Among Elite Youth Soccer Players".

Kutatás vezetője: Havanecz Krisztián, DLA erőnléti csoportvezető, sportteljesítmény-elemző

Kutatás vezetőjének elérhetősége: havanecz.krisztian@tf.hu

Kutatásban résztvevő játékos teljes neve:

A. A kutatás célja és háttere:

Havanecz Krisztián, 1123 Budapest, Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem munkavállalója és doktorandusza kutatást végez a 2023/2024-es szezon során az U15, U17 és az U19-es labdarúgó csapat edzésterhelésének vizsgálatára GPS-alapú szenzorral, valamint wellness és az átélt erőfeszítése nagyságára (RPE) vonatkozó kérdőívek alkalmazásával edzéseken és mérkőzéseken. Gyermekét azért választottuk be, mert egészséges, nincs korábbi sérülése, és kizárólag a Debreceni Labdarúgó Akadémia U15 vagy U17 vagy U19-es csapatában szerepel.

B. A kutatás menete:

Amennyiben beleegyezik gyermeke részvételébe, a következő eljárások történnek:

- gyermeke minden labdás edzésen és mérkőzésen Catapult S7 Vector GPS-eszközt fog viselni,
- gyermeke minden edzés- és mérkőzésnapon wellness kérdőívet kell kitöltenie egy Google Űrlapon keresztül az alábbi kérdésekre válaszolva: "Milyennek érzed a teljes minőségi regenerációdát?", "Mennyire aludtál jól?", "Mennyire vagy fáradt (fizikális)?", "Mennyire vagy fáradt? (szellemi)", "Mennyire vagy stresszes?". Ezeket 1–5-ös Likert skálán kell jelölni.
- gyermeke minden aktivitás után egy egyszerű kérdésre kell válaszolnia az észlelt megterheléssel kapcsolatban: "Egy 1–10-es Likert-skálán mennyire érezted megterhelőnek az adott aktivitást?".

C. A kutatás kockázata:

A vizsgálatban való részvétel semmilyen plusz kockázattal nem jár az edzéseken és mérkőzéseken való szokásos részvételen felül.

D. Adatvédelem és bizalmas kezelés:

A rögzített adatok – beleértve a GPS és a szubjektív kérdőív adatokat, valamint a személyes információkat – bizalmasan lesznek kezelve.

- A résztvevők személyazonossága semmilyen publikációban vagy jelentésben nem jelenik meg.
- Minden személyes adat kódolva lesz, és külön lesz tárolva a nevektől vagy más beazonosító adatoktól.
- Az adatokat zárt, biztonságos helyen őrizzük meg.
- Csak a kutatásban résztvevő kutató férhet hozzá az adatokhoz, és kizárólag azok, akik számára az elengedhetetlen.
- A kutatás lezárulta után minden személyes adat törlésre kerül, így azokat a továbbiakban semmilyen módon nem lehet visszakeresni vagy felhasználni.

E. A részvétel előnyei:

A vizsgálatban való részvétel gyermeke számára közvetlen előnnyel nem jár. A kutatás célja azonban, hogy megvizsgálja az összefüggést a külső (GPS) és belső (wellness kérdőív, RPE) edzésterhelési mutatók között, és ezzel hozzájáruljon a sporttudomány fejlődéséhez.

A fent nevezett résztvevő szülője / törvényes képviselője kijelentem, hogy elolvastam és megértettem a kutatásról kapott tájékoztatót, és hozzájárulok gyermekem részvételéhez a vizsgálatban.

Szülő / törvényes képviselő neve:

Dátum: _____

Szülő / törvényes képviselő aláírása: _____

14.3 Szubjektív kérdőívek

14.3.1 Wellness kérdőív (WQ)

E-mail *

Az Ön e-mail-címe

Milyennek érzed a teljes minőség regenerációdát?

1 2 3 4 5

Egyáltalán nem. Nagyon kipihent vagyok.

Mennyire aludtál jól?

1 2 3 4 5

Egyáltalán nem. Nagyon jól.

Mennyire vagy fáradt? (fizikális)

1 2 3 4 5

Egyáltalán nem. Nagyon fáradt vagyok.

Mennyire vagy fáradt? (szellemi)

1 2 3 4 5

Egyáltalán nem. Nagyon fáradt vagyok.

Mennyire vagy stresszes?

1 2 3 4 5

Egyáltalán nem. Nagyon stresszes vagyok.

Küldés [Űrlap tartalmának törlése](#)

14.3.2 Észlelt erőfeszítés (RPE) (Borg, 1998 alapján)

ÉSZLELT ERŐFESZÍTÉS

(Rate of Perceived Exertion, RPE)

10	MAXIMÁLIS AKTIVITÁS	Az aktivitást nem lenne képes tovább folytatni, tudóban teljesen kimerült, nem képes beszélgetni.
9	NAGYON NEHÉZ AKTIVITÁS	Nehezebbre esne fenntartani a foglalkozás intenzitását, tudóban nagyon elfáradt, alig képes pár szóban beszélgetni.
7-8	NEHÉZ AKTIVITÁS	Az aktivitás további folytatása kényelmetlen lenne, tudóban elfáradt, egy-egy mondatban képes beszélgetni.
4-6	MODERÁLT AKTIVITÁS	Az aktivitás további folytatása kihívásszerű lenne, de még komfortos helyzetben, tudóban elfáradt, rövid mondatokban képes beszélgetni.
2-3	KÖNNYŰ AKTIVITÁS	Az aktivitást minden gond nélkül tovább tudná folytatni, tudóban nem fáradt el, képes kávépohárral beszélgetni.
1	NAGYON KÖNNYŰ AKTIVITÁS	Egyáltalán nem volt megerőltető a foglalkozás.