

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

Doktori tézisek

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

Bevezetés

Az edzésterhelést (TL) két komponensre bontható: külső edzésterhelésre (ETL), amely a sportoló által végrehajtott fizikai munka, valamint a belső edzésterhelésre (ITL), amely az adott ETL-re adott egyéni élettani és pszichológiai válaszokat tükrözi (Impellizzeri és mtsai, 2004; Foster és mtsai, 2001). Az ETL két további kategóriára bontható fel: lokomotoros edzésterhelésre (LTL) és mechanikai edzésterhelésre (MTL). Az LTL a helyváltoztató mozgásait írja le, míg az MTL a helyzetváltoztató mozgásokat jellemzi (Martín-García és mtsai, 2020).

A modern labdarúgásban a globális helymeghatározó rendszer (GPS)-alapú technológiák elterjedésével az ETL objektív mérése széles körben elérhetővé vált, míg az ITL monitorozása elsősorban pulzusalapú módszereken, és szubjektív keresztül történik (pl. észlelt terhelés - RPE, észlelt terhelés az időfüggvényében - s-RPE) (Scott és mtsai, 2013; Weaving és mtsai, 2014). A két terhelési dimenzió közötti kapcsolat vizsgálata kiemelt jelentőségű, mivel az azonos külső terhelés eltérő belső válaszokat

válthat ki, különösen utánpótláskorú sportolók esetében (Bartlett és mtsai, 2017).

Az utánpótlás-labdárúgásban a terhelésmonitorozás további kihívásokat rejt, mivel a sportolók biológiai érésének különbségei, a perceptuális rendszerek fejlődése, valamint a kontextuális tényezők sajátosságai jelentős variabilitást eredményeznek az ETL és ITL közötti kapcsolatokban (Teixeira és mtsai, 2022). A szakirodalom alapján a két terhelési típus közötti összefüggések jellemzően közepes–erős erősségűek, azonban ezek mértéke életkoronként, terhelési környezetként (edzés vs. mérkőzés), és a vizsgált TL-változóktól függően eltérhet (Marynowicz és mtsai, 2020).

Mindezek alapján indokoltá válik az ETL és ITL változók integrált vizsgálata utánpótláskorú labdarúgók körében, különös tekintettel az életkori sajátosságokra és a különböző terhelési környezetekre (Connolly és mtsai, 2024).

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, 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, és tetszőleges egységgel kifejezve (AU), player load - összesített gyorsulási mutató XYZ-tengelyeken, és tetszőleges egységként kifejezve)) – milyen kapcsolatban állnak az edzések és mérkőzések tekintetében az észlelt terhelési mutatókkal (RPE, s-RPE). 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.

Módszerek

Első vizsgálat

Az első vizsgálatban egy hazai elit utánpótlás-labdarúgó akadémia játékosai vettek részt (U15, U17, U19 korosztályok; N = 50 fő). Az adatgyűjtés 11 héten keresztül történt, edzéseket és mérkőzéseket is vizsgálva, amelyek során összesen 1386 alkalommal történt adatfelvétel, amelyek 145 labdás edzést és csapatonként 11 db mérkőzést tartalmaztak.

Az ETL nyomon követése 10 Hz mintavételi frekvenciájú GPS-jeladóval történt (Catapult S7 Vector, Catapult Sports Ltd., Melbourne, Ausztrália). A GPS jeladók tartalmaznak még további integrált szenzorokat - inerciális mérőegységek (IMUs), mint a háromdimenziós

gyorsulásmérő, giroszkóp és magnetométer, melyek a sportolók MTL-jét mérik. A terjedelmi mutatók, mint a teljes megtett távolság (TDC, m), a közepes intenzitású futás ($14,4\text{--}19,79 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, MSR, m), a magas intenzitású futás ($19,8\text{--}25,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, HSR, m), a sprintfutás ($v > 25,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, SPR, m), a gyorsulás ($a > 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, ACC, m), a lassulás ($a < -1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, DEC, m), az inerciális mozgáselemzés (IMA, AU) a player load (PL, AU), és mindezen paraméterek intenzitási változókként is kifejezve lettek vizsgálva.

Az ITL meghatározása magában foglalta a szubjektív pszichológiai válaszokat tükröző mutatókat, mint az észlelt terhelést (RPE), valamint annak időtartammal súlyozott változata (s-RPE) segítségével történt, amelyek széles körben validált eszközök a belső terhelés becslésére (Foster és mtsai, 2001). Az RPE-adatok gyűjtése standardizált protokoll szerint történt: a sportolók az edzések és mérkőzések befejezését követően, egy előre meghatározott időablakban (általában 15–30 percen belül) adták meg az észlelt terhelésüket egy validált skála (Borg CR10 skála; Borg, 1998).

A statisztikai analízis tekintetében az első vizsgálat során az edzés- és mérkőzésadatokat külön és összevontan is elemeztük, korcsoportonkénti bontásban. Az adatok normalitását Shapiro–Wilk-próbával vizsgáltuk. Az ETL és ITL közötti összefüggések feltárására Pearson-féle korrelációt alkalmaztunk, az összefüggések erősségét Hopkins és mtai (2009) alapján értelmezve. Az életkori különbségek vizsgálatára többcsoportos strukturális egyenletmodellezést (SEM) alkalmaztunk, a modellek illeszkedését standard mutatókkal értékelve. Ezen túlmenően többszörös lineáris regressziós modellekkel vizsgáltuk, hogy a GPS-alapú ETL-változók milyen mértékben magyarázzák az RPE és s-RPE alakulását. A szignifikanciaszintet 5%-ban határoztuk meg ($p < 0,05$).

Második vizsgálat

A második vizsgálatban U16-os elit utánpótláskorú labdarúgók vettek részt ($N = 19$). Az adatgyűjtés edzés- és mérkőzéskörnyezetben történt, összesen 50 edzés- és 11 mérkőzésmegfigyelés feldolgozásával, amelyekből 534 adatsor származott.

Az ETL és ITL mutatók meghatározása GPS-alapú és RPE és s-RPE mellett pulzusalapú mutatókat is vizsgáltunk, amelyek a kardiovaszkuláris rendszer terhelésre adott válaszainak kvantitatív jellemzését tették lehetővé:

- Tréningimpulzus (TRIMP, Hopkins, 1991) -
átlagpulzus \times aktivitás időtartama (AU).
- Edwards-féle TRIMP (eTRIMP., Edwards, 1994) - 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, 4-es pulzuszónában (80–89% HR_{max}) eltöltött időtartamot 4-es súlyozó faktorral szoroztuk, 5-ös pulzuszónában (90–100% HR_{max}) eltöltött időtartamot 5-ös súlyozó faktorral szoroztuk, majd ezeket a pontszámokat összeadva, és AU-ban kifejezve.
- Pulzusterhelési mutató (HR exertion, Catapult Sports saját változója), 1-es pulzuszónában ($\leq 45\%$ HR_{max}) eltöltött időtartamot 1-es súlyozó tényezővel, 2-es pulzuszónában (45–55% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,122-es súlyozó tényezővel, 3-as pulzuszónában (55–

65% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,322-es súlyozó tényezővel, 4-es pulzuszónában (65–75% HR_{max}) eltöltött időtartamot 1,554-es súlyozó tényezővel, 5-ös pulzuszónában (75–85% HR_{max}) eltöltött időtartamot 2,037-es súlyozó tényezővel, 6-os pulzuszónában (85–95% HR_{max}) eltöltött időtartamot 3,252-es súlyozó tényezővel, 7-es pulzuszónában (95–105% HR_{max}) eltöltött időtartamot 5,439-es súlyozó tényezővel, 8-as pulzuszónában (>105% HR_{max}) eltöltött időtartamot 9-es súlyozó tényezővel, majd ezeket a pontszámokat összeadva, és AU-ban kifejezve.

Az edzés- és mérkőzésadatokat elkülönítve kezeltük. A normalitásvizsgálat eredményei alapján nemparaméteres Spearman-féle rangkorrelációt alkalmaztunk az ETL és ITL, valamint az objektív és szubjektív ITL változók közötti kapcsolatok feltárására, az értelmezést itt is Hopkins és munkatársai (2009) szerint végezve. A belső terhelést meghatározó tényezők azonosítására többváltozós lineáris regressziós modelleket illesztettünk, ahol a TRIMP és a HR exertion szerepelt függő változóként, míg prediktorként GPS-alapú változókat

alkalmaztunk. A modellek értékelése a determinációs együttható (R^2) és a standardizált regressziós együtthatók (β) alapján történt. A statisztikai szignifikancia szintjét szintén $p < 0,05$ -ben határoztuk meg.

Eredmények

Első vizsgálat

Az U15-ös edzéseken az s-RPE legerősebb összefüggést a TDC-vel ($r=0,52$), a PL-lel ($r=0,49$), a DEC-el ($r=0,43$) és a HSR-rel ($r=0,42$) mutatta, míg az RPE esetében ugyanezek a kapcsolatok jellemzően gyengébbek voltak (HSR: $r=0,38$; MSR: $r=0,29$; TDC: $r=0,25$). U15-ös mérkőzéseken ezzel szemben lényegesen gyengébb összefüggések jelentkeztek, ugyanis az s-RPE elsősorban a TDC-vel ($r=0,53$) és a PL-lel ($r=0,44$) mutatott szignifikáns kapcsolatot. U17-ben az edzések során több esetben nagyon erős összefüggések jelentek meg: az s-RPE a TDC-vel ($r=0,77$), a DEC-cel ($r=0,76$), a PL-lel ($r=0,73$), az ACC-cal ($r=0,70$), a HSR-rel ($r=0,64$) és a SPR-rel ($r=0,62$) kapcsolatot mutatott; ezzel párhuzamosan az RPE legerősebb kapcsolatai a PL-lel ($r=0,71$), az IMA-val ($r=0,63$), a TDC-vel ($r=0,62$), a

DEC·perc⁻¹ mutatóval ($r=0,60$), valamint az MSR-rel ($r=0,60$) jelentkeztek. U17-es mérkőzéseken az összefüggések gyengébbé váltak; az s-RPE esetében ($r=0,29-0,41$). U19-ben az edzéseken az s-RPE közepes-erős összefüggéseket mutatott a TDC-vel ($r=0,61$), a DEC-cel ($r=0,61$), a PL-lel ($r=0,61$), az ACC-cal ($r=0,59$) és az MSR-rel ($r=0,55$), míg az RPE esetében a legerősebb kapcsolatok a HSR-rel ($r=0,46$), a SPR·perc⁻¹ változóval ($r=0,45$), a DEC-cel ($r=0,43$) és az MSR·perc⁻¹ értékkel ($r=0,42$) voltak. U19-es mérkőzéseken az s-RPE a TDC-vel ($r=0,59$), az IMA-val ($r=0,54$) és a PL-lel ($r=0,45$), míg az RPE az IMA-val ($r=0,43$), a PL-lel ($r=0,42$), a TDC-vel ($r=0,31$), a HSR-rel ($r=0,29$) és az MSR-rel ($r=0,29$) mutatott szignifikáns kapcsolatot.

A többszörös lineáris regressziós elemzések eredményei alapján az RPE esetében a modell magyarázóereje korcsoportonként jelentős eltérést mutatott (U15: $R^2=0,119$; U17: $R^2=0,589$; U19: $R^2=0,443$), míg az s-RPE esetében minden korcsoportban magasabb értékeket kaptunk (U15: $R^2=0,361$; U17: $R^2=0,689$; U19: $R^2=0,617$). A standardizált regressziós együtthatók (β) alapján az s-RPE modellekben a legerősebb prediktornak a TDC

számított (U15: $\beta=0,572$; U17: $\beta=0,511$; U19: $\beta=0,654$) és a PL (U15: $\beta=0,572$; U17: $\beta=0,511$; U19: $\beta=0,654$), emellett az $\text{SPR}\cdot\text{perc}^{-1}$ ($\beta=0,513$) mutatott számottevő eredményt U19-ben, míg az ACC, DEC, $\text{MSR}\cdot\text{perc}^{-1}$ és az $\text{SPR}\cdot\text{perc}^{-1}$ változók szerepe korcsoportonként változott. Az RPE modellben (TDC, $\text{MSR}\cdot\text{perc}^{-1}$, $\text{SPR}\cdot\text{perc}^{-1}$, $\text{DEC}\cdot\text{perc}^{-1}$, mint kovariánsok) kizárólag az U19-ben találtunk erős prediktort az $\text{SPR}\cdot\text{perc}^{-1}$ tekintetében ($\beta=0,508$).

A multigroup strukturális egyenletmodellezés (SEM) eredményei alapján a terhelési változók közötti reziduális kovarianciák mintázata hasonló volt az egyes korcsoportokban. A kötött (constrained) modellben alkalmazott egyenlőségi kényszerek következtében a paraméterbecslések azonos értékeket vettek fel (TDC–s-RPE; PL–s-RPE; DEC–s-RPE), és minden esetben szignifikánsak voltak ($p<0,001$). A kötött (constrained) és nem kötött (unconstrained) modellek összehasonlítása szignifikáns különbséget mutatott ($\Delta\chi^2=69,8$; $\Delta\text{df}=6$; $p<0,001$); mindazonáltal, a modellilleszkedési mutatók egyik modell esetében sem jeleztek megfelelő illeszkedést (pl. CFI=0,170; RMSEA=0,763 a constrained modellnél).

Második vizsgálat

A mérkőzések során a HR exertion nagyon erős korrelációt mutatott a lassulásokkal DEC, az IMA és a PL változókkal ($r=0,70-0,85$; $p<0,001$). A TRIMP esetében a legerősebb kapcsolat a TDC-vel volt megfigyelhető ($r=0,73$; $p<0,001$), míg az MSR-, IMA- és PL-változókkal erős, de alacsonyabb mértékű összefüggések jelentkeztek ($r=0,50-0,64$). A szubjektív terhelési mutatók közül mind az RPE ($r=0,82$), mind az s-RPE ($r=0,80$) nagyon erős kapcsolatot mutatott a TDC-vel.

Az edzések során a belső terhelési mutatók között a legerősebb kapcsolat a TRIMP és a HR exertion között jelentkezett ($r=0,96$; $p<0,001$). Emellett az s-RPE is nagyon erős kapcsolatot mutatott a TRIMP értékével ($r=0,88$; $p<0,001$). A mérkőzésadatok elemzése során a TRIMP és a HR exertion közötti kapcsolat továbbra is erős volt ($r=0,81$), míg az s-RPE és a TRIMP között nagyon erős korreláció volt megfigyelhető ($r=0,74$; $p<0,001$).

Az U16-os korosztályban a regressziós elemzés szignifikáns eredményt mutatott az s-RPE modellnél ($F(1,465)=596,71$; $p<0,001$), nagy magyarázóerővel ($R^2=0,820$). A standardizált regressziós együttható alapján

a TDC kiemelkedően erős prediktornak bizonyult ($\beta=0,98$; $p<0,001$). Ezzel szemben a HSR, az SPR és az ACC csak minimálisan járultak hozzá a modellhez. Az RPE modellnél szintén szignifikáns kapcsolatot találtunk ($F(1,465)=1156,49$; $p<0,001$), amelyben a TDC a HR exertion varianciájának 71%-át magyarázta meg ($R^2=0,71$).

Következtetések

A kutatás célja az volt, hogy feltárja a külső (ETL) és belső (ITL) edzésterhelési mutatók közötti kapcsolatokat utánpótláskorú labdarúgók körében, különös tekintettel az edzés- és mérkőzőskörnyezet közötti különbségekre, valamint a különböző mérési módszerek (GPS-, pulzus- és szubjektív mutatók) összehasonlíthatóságára.

A hipotézisek értékelése alapján megállapítható, hogy az első és második vizsgálatban megfogalmazott feltételezések túlnyomó része beigazolódott vagy részben beigazolódott.

Első vizsgálat

H1: Az LTL-változók erősebb kapcsolatot mutatnak az RPE-vel és s-RPE-vel, mint az MTL-mutatók.

- A hipotézisünk beigazolódott. Az RPE és különösen az s-RPE szorosabb kapcsolatot mutatott a lokomotoros, elsősorban terjedelmi változókkal, mint a mechanikai mutatókkal, ami azt jelzi, hogy az észlelt terhelést elsősorban a terhelés volumene határozza meg.

H2: A TDC, HSR és PL mutatók mutatják a legerősebb kapcsolatot az RPE-vel és s-RPE-vel.

- A hipotézis edzésen beigazolódott, mérközésen részben igazolható. A TDC és a PL következetesen a legerősebb kapcsolatot mutatták, míg a HSR szerepe korosztály- és környezetfüggő volt.

H3: A HSR és SPR kapcsolata az RPE/s-RPE-vel az idősebb korcsoportokban erősebb.

- A hipotézis edzésen beigazolódott, mérközésen részben igazolható. Az intenzitási változók kapcsolata az életkor előrehaladtával erősödött, ami a biológiai érés és a terhelésészlelés fejlődésével magyarázható.

Második vizsgálat

H4: A pulzusalapú mutatók erős kapcsolatot mutatnak a TDC-vel és PL-lel edzésen, mérkőzésen gyengébbet.

- A hipotézis beigazolódott. Edzésen nagyon erős, mérkőzésen mérsékeltebb, de szignifikáns kapcsolatok voltak megfigyelhetők.

H5: A pulzusalapú mutatók mérkőzésen erősebb kapcsolatot mutatnak az ETL-lel, mint az RPE/s-RPE.

- A hipotézis részben igazolódott. Az s-RPE nem mutatott gyengébb kapcsolatot, ami jelzi, hogy a szubjektív mutatók komplex módon tükrözik a terhelést.

H6: A pulzusalapú mutatók (TRIMP, eTRIMP, HR exertion) és az RPE/s-RPE között nagyon erős kapcsolat áll fenn.

- A hipotézis beigazolódott. Az s-RPE nagyon erős kapcsolatot mutatott a pulzusalapú mutatókkal, míg az RPE esetében ez gyengébb volt.

A vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy utánpótláskorú labdarúgók esetében a belső terhelés alakulását elsősorban a külső terhelés terjedelmi

komponensei határozzák meg, míg az intenzitási és mechanikai változók szerepe másodlagos. A TDC kiemelkedő prediktív szerepét a regressziós modellek is alátámasztották, amelyek szerint a TRIMP varianciájának 82%-át, míg a HR exertion varianciájának 71%-át magyarázza. Ez gyakorlati szempontból azt jelenti, hogy az edzésmonitorozás során a volumenalapú mutatók kiemelt figyelmet érdemelnek, különösen utánpótláskorban.

A pulzusalapú belső terhelési mutatók között közel tökéletes kapcsolat volt kimutatható, ami arra utal, hogy ezek a módszerek konzisztensen írják le a kardiovaszkuláris terhelést. Ezzel összhangban az s-RPE is nagyon erős kapcsolatot mutatott mind a pulzusalapú, mind a külső terhelési változókkal, ami megerősíti, hogy az s-RPE egyszerűen alkalmazható és megbízható alternatívát jelenthet a gyakorlatban, különösen olyan környezetben, ahol a pulzusmérés nem megoldható.

Az edzés- és mérkőzéskörnyezet összehasonlítása rámutatott arra, hogy míg edzések során a külső és belső terhelési mutatók közötti kapcsolat szorosabb és jobban modellezhető, addig mérkőzéskörnyezetben ezek az

összefüggések gyengülnek, ami a terhelés komplexebb, kevésbé kontrollált jellegére utal. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a mérkőzéssterhelés értelmezésekor több mutató együttes figyelembevételére van szükség, és nem elegendő egyetlen indikátorra támaszkodni.

További fontos eredmény, hogy az intenzitási változók és az észlelt terhelés közötti kapcsolat az életkor előrehaladtával erősödik, ami a biológiai érés és a terhelésészlelés fejlődésével magyarázható. Ennek megfelelően az utánpótlás-edzésmonitorozás során indokolt az életkori sajátosságok figyelembevétele, különösen a nagy intenzitású terhelési mutatók értelmezésekor.

Publikációk

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.