

## Emberi futás kinematikai és kinetikai paramétereinek kísérleti elemzése gyorsítás és lassítás esetén

### Investigation of the kinematic and kinetic parameters of the human running in case of acceleration and deceleration based on measurements

ZAJCSUK Liliána<sup>1</sup>, ZELEI Ambrus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék  
H-1111 Bp., Műegyetem rkp. 5., MM ép. Tel.:+ 36 1 463-1332, <http://www.mm.bme.hu>, [zajcsuk@mm.bme.hu](mailto:zajcsuk@mm.bme.hu)

<sup>2</sup>MTA-BME Emberi egyensúlyozás kutatócsoport, [zelei@mm.bme.hu](mailto:zelei@mm.bme.hu)

#### Kivonat

A biomechanika egyik jelenleg is aktívan kutatott területe az emberi futás dinamikája. Ahhoz, hogy az idegi szabályozás által használt célfüggvények megértéséhez közelebb kerüljünk, kutatásunk célja az emberi futás és az azt leíró, fontosabb paraméterek kísérleti elemzése, illetve ezek változásainak felderítése gyorsítás, illetve lassítás esetén, amelyre a szakirodalomban kevés eredmény található. A futást kvalitatívan leíró, szakirodalomban is használatos mérőszámokat az optikai mozgáskövetés és a talpnyomásmérés módszereivel gyűjtöttük össze, saját mérési protokoll alapján. Egyrészt az egyének közti különbségeket derítettük fel, majd összehasonlítottuk az állandó sebességű futásokat a gyorsuló és lassuló futással. A legmarkánsabb különbség, hogy gyorsulás során az alanyok minden esetben a lábfejük első részét érintették le, míg lassításkor a sarok ért le először.

**Kulcsszavak:** emberi futás biomechanikája, gyorsítás, lassítás, optikai mozgáskövetés, talpnyomásmérés

#### Abstract

The human running's mechanics is one of the most significant topics for research nowadays. In particular, the biomechanics of the locomotion speed's change is an undiscovered area. To get closer to understand the cost functions used by the neurological control, our goal is to observe the important measures of the human running, and detect their changes in case of acceleration and deceleration. We detected measures described in the literature, which give quantitative description about the human running using motion capturing and foot pressure measurement. We observed differences between individuals, and compared steady-speed running with acceleration and deceleration. The most important difference is, that during acceleration, the test subjects were running with forefoot strike, and they switched to rearfoot strike in case of deceleration.

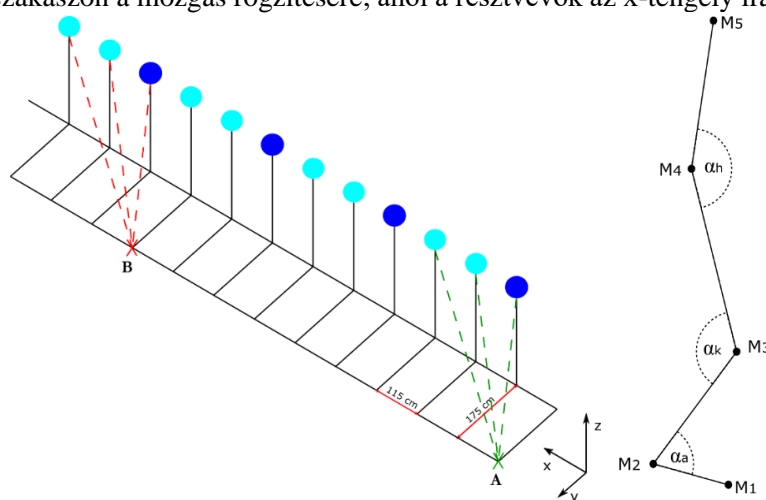
## 1. BEVEZETÉS

A biomechanika területén az egyik legtöbbet kutatott téma az emberi futás mechanikája, illetve az ezt módosító paraméterek feltérképezése. Az emberi futást vizsgáló, egyik legátfogóbb mű Novacheck [1] nevéhez fűződik, amely általánosságban írja le a jelenséget. A későbbi tanulmányok a futás mechanikájának módosulását, vagyis az agyi szabályozás által alkalmazott célfüggvény változását vizsgálják. A mozgásképet módosító tényezők közt szerepel a futáshoz választott felület minősége [2], az alanyok által viselt cipő tulajdonságai [3], vagy éppen a futó szándéka [4]. Azonos körülmények között is megfigyelhetők különbségek életkor és nem [5], valamint edzéstípus [6] függvényében. Az egyik leggyakoribb különbség abból ered, hogy a futók a lábuk melyik részével érintkeznek először a talajjal. Így ennek függvényében beszélhetünk forefoot strike-ról (FFS), amikor a talppárnák, illetve rearfoot strike-ról (RFS), amikor a sarok ér le először.

Az irodalomkutatás során fellelt tanulmányok jelentős hányada állandó sebességű, egyenes úton történő futást vizsgál. A mi célunk a gyorsítás és lassítás okozta változások felderítése, de ezekre kevés példát találtunk. A gyorsítás hatását Caekenberghe [7] vizsgálta, de az ő tanulmánya is csak a talajfázist (a láb érintkezik a talajjal) vette figyelembe. Mindezek ismeretében saját mérési protokoll kidolgozása és megvalósítása mellett döntöttünk. Állandó sebességű futás végrehajtásával validáltuk a mérési módszert, majd az így nyert adatokat összehasonlítottuk a gyorsuló és lassuló futással is.

## 2. MÉRÉSI MÓDSZEREK, ADATFELDOLGOZÁS

A mérések során OptiTrack kamerarendszer (OTKR), illetve Moticon Science talpnyomásmérő betétek (Moti) álltak rendelkezésünkre. A tizenkét kamera elrendezését az 1. ábra bal panelje mutatja. A világoskék szín a normál, a sötétkék a nagy látószögű kamerákat jelöli. A mérést megelőzően kalibráltuk a kamerarendszert és definiáltuk az adatrögzítéshez használt koordináta-rendszert. Az adatrögzítés sikeres, amennyiben egy markert legalább három kamera lát, így az A-val jelölt az első, a B-vel jelölt az utolsó olyan pont, amely ezt a kritériumot teljesíti. Így lehetőségünk nyílt egy körülbelül tíz méter hosszú szakaszon a mozgás rögzítésére, ahol a résztvevők az x-tengely irányába futottak.



1. ábra Kamerák elrendezése (bal panel).  
Markerek elhelyezése és az ízületi szögek definíciója (jobb panel)

A mérésben nyolc alany vett részt, adataikat az 1. táblázat tartalmazza. A mérés menetéről pontos tájékoztatást kaptak, és mindannyian beleegyeztek a részvételbe. A mérés időpontjakor mindannyian egészségesek voltak, mozgásszervi vagy neurológiai betegségek és rendellenességek nélkül. Az alanyok a saját, megszokott cipőjükben és ruházatukban, ismert futópályán vettek részt a mérésben.

*A résztvevők adatai*

1 táblázat

Résztvevők száma (Nő/Férfi)	Kor [év]	Magasság [m]	Testtömeg [kg]
8 (5/3)	17,9±3,9	1,679±0,67	57,4±11,7

A mérés folyamán minden alany összesen öt feladatot teljesített, szilárd, egyenletes talajon futva: futás a) lassú, b) közepes és c) gyors tempóban, illetve átmenet d) lassúból gyors majd e) gyorsból lassú futásba. A futás tempóját minden esetben a résztvevők maguk választhatták meg. A feladatokat tartalmazó sorozatot minden alany kétszer teljesítette.

A mérés folyamán az alanyok jobb lábának mozgását vizsgáltuk a szagittális síkban, így ennek megfelelően öt fényvisszaverő markert helyeztünk el, ezek pozíciója: cipőorr, boka, térd, csípő és váll. Az OTKR ezeknek a mozgását rögzítette. A talpnyomásmérő betétből minden alany estén kiválasztottuk a cipőméretüknek megfelelőt, és a feladatok megkezdése előtt ezeket egyesével kalibráltuk.

A mérési adatok elemzése az OTKR saját szoftverével kezdődött, amely lehetőséget adott a hiányos adatsorok kiegészítésére, illetve a feldarabolt adatsorok egyesítésére. Az adatok szűrését MATLAB környezetben valósítottuk meg, mozgóátlagos szűrést alkalmazva. Az összehasonlításhoz minden alany minden feladatából egy lépésciklust olvastunk ki, ezeknek a kezdő- és végpontját a lábujj

x-irányú sebességének, illetve lábra ható erő változásának segítségével határoztuk meg (talajfázis esetén a sebesség nulla, az erő pedig nem nulla). A kiválasztott adatok interpolálására is szükség volt, mivel az OTKR és a Moti különböző frekvencián mintavételezett, viszont így összevethettük őket. A lépésciklus időtartamát vettük 100%-nak.

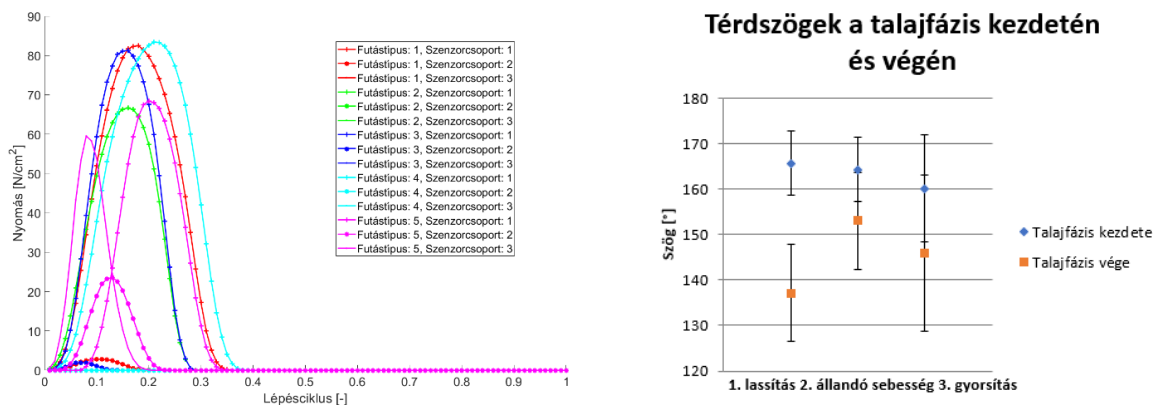
Az optikai mozgáskövetés során kinyert adatokból meghatároztuk a különböző ízületeknél a lábszegmensek által bezárt szögeket, ezt a 1. ábra jobb panelje mutatja. A talpnyomásmérés esetén a műszer rögzítette a talpnyomásközéppont pozícióját, valamint tizenhat cella mért nyomásadatokat. Az elemzés folyamán ezeket összegeztük és normáltuk az alany testsúlyával, valamint csoportosítottuk aszerint, hogy a betét melyik részén helyezkednek el. Így meghatározhattuk a láb első, középső és hátsó részére ható nyomást (rendre első, második és harmadik szenzorcsoport).

Az adatfeldolgozás során lehetőségünk nyílt egy alany minden futásának összehasonlítására, valamint egy futástípus vizsgálatára az összes alany esetén.

### 3. EREDMÉNYEK

Az adatok vizsgálatát a szakirodalomban megfigyelt jelenségekkel történő összehasonlítással kezdtük állandó sebességű futás esetén. Az alanyok átlagosan a testtömegük másfélszeresével terhelték maximálisan a jobb lábukat. A nyomásmérő szenzorok csoportokba osztásával megfigyelhettünk, hogy a futók a FFS-ot vagy RFS-ot alkalmazták-e. A 2. számú alany esetében a lassítást leszámítva minden esetben a láb első része ért le először (közepes tempójú és gyorsítás esetén kizárólag ez a rész), valamint a talpnyomásközéppontja a futás irányának megfelelően előre mozdult el. A leghátsó szenzorcsoport mindössze a lassítás esetén mért nyomást. A nyomásadatokat a 2. ábra jobb panelje mutatja be. A többiek sarokkal érintkeztek először, és a talpnyomásközéppontjuk először hátrafelé tolódott el.

Az optikai mozgáskövetésből származó adatok, a szegmensszögek eltérő definíciói miatt számértékben nem egyeztek meg a szakirodalomban leírtakkal, ugyanakkor jellegre helyesnek bizonyultak. A gyorsítás és lassítás okozta hatásra a 2. ábra jobb panelje mutat példát a térdszög esetén.



2. ábra Nyomásértékek a 2. alany esetén (bal panel). Térdszögek (jobb panel).

### 4. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

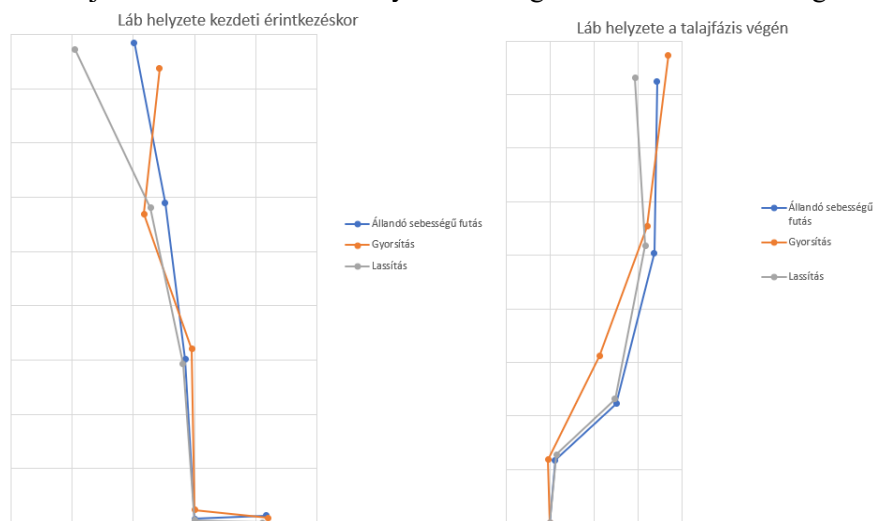
A mérési adatok alapján megállapíthatunk egyéni, illetve a futás sebességétől függő különbségeket állandó sebesség esetén, illetve vizsgálhattuk a gyorsítás és lassítás okozta eltéréseket.

A futás sebességét az alanyok minden esetben az alanyok maguk választhatták meg. A 2. feladatot, vagyis a közepes sebességű futást tekinthettük mindenki esetén a kényelmes tempónak, ennél fogva az itt megfigyelhető mozgásformát vettük alapvetőnek. A 3., gyors tempójú futás esetén a legtöbb alany a lába első részével érintkezett először, így feltehetően futásról sprintre váltottak. Ez a mozgásforma módosítja a kinetikát és kinematikát, de jelenleg nem célunk ennek az alapos elemzése.

A legfeltűnőbb egyéni különbség a lépéstípusban figyelhető meg. Az 5. alany egyértelműen FFS futó, a többiek RFS futók. A talajfázis időtartama átlagosan az első alany esetén a legrövidebb. Ez az észrevétel összefüggésben állhat azzal, hogy az alany amatőr szinten futballozik, ahol a rövid reakcióidő, és a minél hatékonyabb gyorsulás, ezáltal a mozgékonyág kulcsfontosságú.

Gyorsítás és lassítás esetén a testtartás is megváltozott a talajfázis kezdetén is végén. Gyorsításkor az állandó sebességű futáshoz képest előredőlés, lassításkor hátradőlés figyelhető meg a törzs esetén

mindkét időpontban. Ezzel együtt a lépéstípus is módosul: gyorsításkor minden futó FFS-ot, lassításkor RFS-ot alkalmazott, a közepes sebességű futás típusától függetlenül. Ezt a jelenséget a 3. ábra mutatja be. Gyorsításkor a talajfázis hossza minden alany esetén megnőtt az állandó sebességű futáshoz képest.



3. ábra Láb szögei a talajfázis kezdetekor és végekor

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A gyorsítás és lassítás okozta eltérések felderítésére kidolgozott mérési protokollunk alapján a gyorsítás és lassítás okozta legfőbb különbség az alanyok lépéstípusának változásában figyelhető meg: az alanyok gyorsítás esetén kivétel nélkül a lábuk első részét, lassítás esetén pedig a hátsó részt érintették le. Így a korábban feltárt, FFS és RFS által okozott különbségek megjelennek gyorsítás és lassítás esetén is az állandó sebességhez képest. A testtartás is megváltozott a gyorsítás és lassítás függvényében.

Összefoglalásként elmondható, hogy sikeresen alkalmaztuk az általunk kiválasztott biomechanikai mérőszámokat a futások típusának megkülönböztetésére, valamint biztatóak az eredmények a további kutatásaink szempontjából, ahol az ember agyában megfogalmazódó célfüggvények feltárására fogunk törekedni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az előadó részvételét az OGÉT 2020 konferencián az NTP-HHTDK-19-0068 azonosítójú, „A hazai Tudományos Diákköri műhelyek és rendezvények támogatása” pályázat és az NKFIH FK18 128636 azonosítójú projekt támogatta.

## FORRÁSOK

- [1] T. Novacheck. The biomechanics of running. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, 7(1):77–95, 1998. doi:/10.1016/S0966-6362(97)00038-6.
- [2] E. C. Hardin, A. J. van den Bogert, and J. Hamill. Kinematic adaptations during running: Effects of footwear, surface, and duration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, pages 838–844, 2004. doi:/doi.org/10.1249/01.MSS.0000126605.65966.40.
- [3] D. P. Perl, A. I. Daoud, and D. E. Lieberman. Effects of footwear and strike type on running economy. *Gait and Posture*, pages 1335–1343, 2012. doi:/10.1249/MSS.0b013e318247989e.
- [4] R. Nagahara és mtsai. Influence of the Intention to Lean the Body Forward on Kinematics and Kinetics of Sprinting for Active Adults. *MDPI Sports*, 7(6), 2019. doi:10.3390/sports7060133
- [5] A. Phinyomark, B. A. Hettinga, S. T. Osis, and R. Ferber. Gender and age-related differences in bilateral lower extremity mechanics during treadmill running. *PLoS ONE*, 9(8):e105246, 2014. doi:/10.1371/journal.pone.0105246.
- [6] R. A. Mann and J. Hagy. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *The American Journal of Sports Medicine*, 8(5):345–350, 1980.
- [7] I. V. Caekenbergh, V. Segers and D. D. Clercq. Joint kinematics and kinetics of overground accelerated running versus running on an accelerated treadmill. *J R Soc Interface*, 10(20130222), 2013. /10.1098/rsif.2013.0222.