

A bokaízület és a plantarflexorok motoros teljesítményre gyakorolt hatása

Doktori tézisek

Kovács Bálint

Testnevelési Egyetem
Sporttudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Tihanyi József rector emeritus, DSc

Hivatalos bírálók: Dr. Szabó Tamás egyetemi magántanár, CSc
Dr. Karsai István egyetemi adjunktus, PhD

Szigorlati bizottság elnöke: Dr. Pavlik Gábor professor emeritus, DSc
Szigorlati bizottság tagjai: Dr. Kiss Rita Mária egyetemi tanár, DSc
Dr. Osváth Péter egyetemi docens, PhD

Budapest
2021

Bevezetés:

Mint a legtöbb emberi mozgás, úgy a szökdelés futómozgás hatékonyságát és teljesítményét is számos tényező befolyásolja. Szökdelés és közepes intenzitású (sebességű) tartós futás esetén a bokaízületnek kiemelt jelentősége van, hiszen a propulziós erő legnagyobb részét a bokaízületet mozgató izmok hozzák létre. Ezért a bokaízület szerkezeti jellemzői hatást gyakorolhatnak a motoros teljesítményre.

Az Achilles ín erőkarjának hossza befolyásolja az ízületi forgatónyomaték során kifejtett erő nagyságát, ugyanis azonos körülmények között a hosszabb erőkar alacsonyabb erő kifejtést eredményezhet, ami hatással lehet az izom energiafelhasználásnak mértékére és ezáltal a motoros teljesítményre/futás gazdaságosságra.

Szökdelés során kontrolláltabb körülmények között vizsgálhatjuk az erőkar hosszának motoros teljesítményre gyakorolt hatását. Az eddigi irodalmi eredmények nem egyértelműek a láb szökdelés alatti izomműködése és az Achilles ín erőkarjának interakciójáról.

A futás gazdaságosságával foglalkozó vizsgálatokban egyesek azt a következtetést vonták le, hogy a rövid erőkar az előnyös, míg más vizsgálatok a hosszabb erőkar előnyét emelték ki. Bonyolítja a képet, hogy egy vizsgálatban nem találtak kapcsolatot a két változó között.

Célok, hipotézisek:

Célok: A vizsgálataink célja az volt, hogy megvizsgáljuk az Achilles ín erőkar hosszának szökdelő és futóteljesítményre gyakorolt hatását.

I. Hipotézis

I/a. Feltételeztük, hogy az Achilles ín erőkarjának hossza és a felugrási magasság között nincs erős, közvetlen kapcsolat, de közvetetten, a felugrási magasságot befolyásoló egyéb tényezőkön keresztül hatással van az emelkedés mértékére.

II. Hipotézisek

II/a Feltételeztük, hogy a soleus morfológiai paraméterei erősebb kapcsolatot mutatnak a futó teljesítménnyel, mint gastrocnemiusok ugyanazon paraméterei.

II/b Feltételeztük, hogy azok a futók, akik nagyobb anatómiai és élettani soleus keresztmetszettel, rövidebb soleus izomköteg hosszal rendelkeznek, rövidebb idő alatt teljesítik a maratoni távot.

II/c Feltételeztük, hogy az Achilles ín vastagsága pozitív korrelációt mutat a futó teljesítménnyel.

II/d Feltételeztük, hogy a nagyobb izom-ín keresztmetszet arány jobb futó teljesítménnyel áll kapcsolatban.

III. Hipotézisek

III/a Feltételeztük, hogy azok a futók, akik hosszabb Achilles ín erőkarral és vastagabb Achilles ínnal rendelkeznek, gazdaságosabban futnak.

III/b Feltételeztük, hogy a gazdaságosabban futóknál alacsonyabb EMG aktivitás és kisebb mértékű izomköteghossz változás várható, ami az alacsonyabb energiafogyasztásra utal.

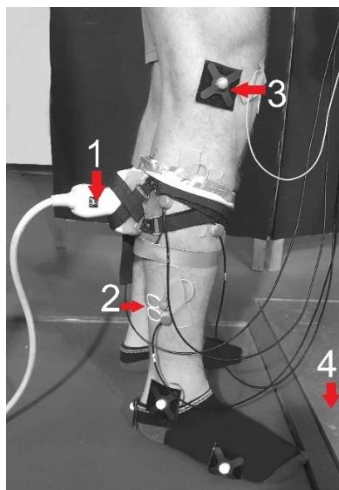
III/c Feltételeztük, hogy a hosszabb Achilles ín erőkarral rendelkező futók kisebb mértékben hajlítják és nyújtják a bokaízületüket a futás támaszfázisában.

Módszertan:

I. Vizsgálatainkban 28 fizikailag aktív személy vontunk be részvételre (9 nő és 19 férfi kor $21,8 \pm 4,0$ év, TM $1,80 \pm 0,8$ cm, TT $80,2 \pm 6,1$ kg). II. és a III. vizsgálatba 10 magyar elit maraton futó vett részt ($29 \pm 3,8$ év, $177,1 \pm 8,9$ cm, $65,4 \pm 5,8$ kg), akiknek egyéni legjobb versenyeredménye 2 óra 26 perc. A vizsgálati személyek alsó végtagi sérülésektől és fájdalomtól mentesek voltak az elmúlt két évben. Minden vizsgálatban résztvevő személyt írásban és szóban tájékoztattunk a vizsgálat menetéről és a lehetséges kockázatokról. Ezt követően aláírásukkal nyilvánították ki önkéntes részvételüket a vizsgálatban. A vizsgálati protokoll megfelel a Helsinki Deklaráció humán vizsgálatokra vonatkozó kritériumainak, amelyet az egyetem etikai bizottsága is jóváhagyott.

I. vizsgálat:

A vizsgálati személyek 10-12 bokából történő pároslábú szökdelést hajtottak végre egy erőplaton. Szökdelés közben mértük az erő jellegű adatokat. Reflektív markerek segítségével számoltunk szög jellegű kinematikai adatokat. Emellett a plantarflexor izmok elektromos aktivitását és a laterális gastrocnemius izomköteghossz változását is rögzítettük a jobb lábon.



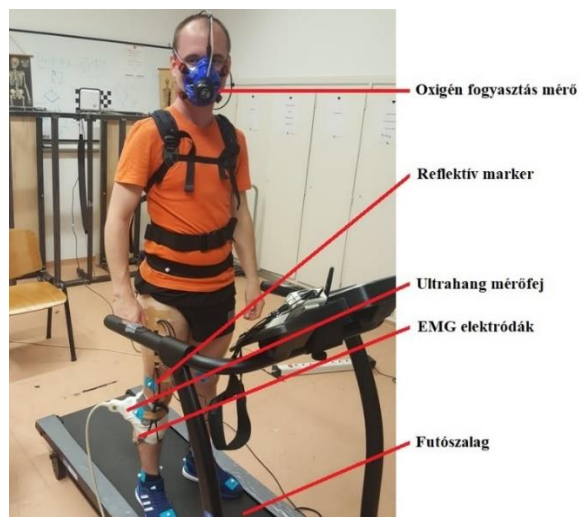
1. ábra. Vizsgálati eszközök elhelyezkedése egy vizsgálati személyen. 1. Ultrahang 2. EMG elektródák 3. Reflektív markerek 4. Erőplató

II. vizsgálat

A vizsgált futók jobb lábáról axiális mágneses rezonancia (MRI) felvételeket készítettünk. Az így kapott keresztmetszeti képekről meghatároztuk a soleus, mediális és laterális gastrocnemius valamint az Achilles ín területét az adott szeleten. Ezután számoltuk az izomtérfogatot és izomtömeget. Az élettani keresztmetszet meghatározásához ultrahang felvételeket készítettünk a vizsgált izmokról szagittális síkban az izomkötegek hosszának meghatározásához.

III. vizsgálat

A futók 15 perces futószalagos protokollt hajtottak végre t, ami három eltérő sebességű blokkból állt. Az első öt perces bemelegítő futás után 3 majd 3,5 m/s volt a futószalagon beállított sebesség. Futás alatt mértük az oxigénfogyasztás, amiből meghatároztuk a futás gazdaságosságát. Továbbá meghatároztuk a plantarflexor izmok elektromos aktivitását, az alsó végtagi ízületek szögváltozását illetve laterális gastrocnemius izomköteghossz változását. Az Achilles ín erőkarjának hosszát MRI felvételek alapján határoztuk meg.

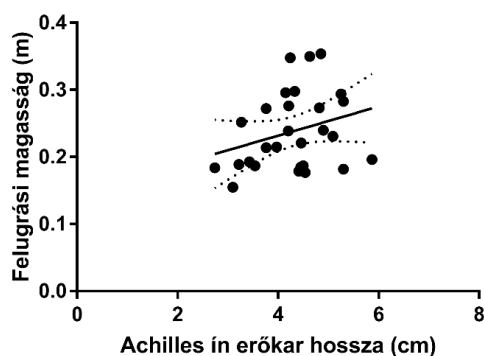


2. ábra. Vizsgálati beállítás, egy vizsgálati személy a mérő eszközök felszerelése után

Eredmények:

I. vizsgálat

Nem találtunk korrelációt a felugrási magasság és az Achilles ín erőkarjának hossza között MA ($r=0,28$; $p=0,14$). Azonban az erőkar hossza, a bokaízületi behajlása és a csúcs talajreakcióerő, a többváltozós regressziós modellt alkalmazva, 53%-ban magyarázza a felugrás varianciáját.



3. ábra. Korreláció a felugrási magasság és Achilles ín erőkar között. Nincs szignifikáns kapcsolat a két változó között ($r=-0,28$, $p<0,14$). Szaggatott vonallal jelöltük a 95%-os konfidencia intervallumot

II. vizsgálat

Szignifikáns korrelációt mutatott a soleus térfogata ($r=0,55$; $p=0,048$), anatómiai ($r=0,57$; $p=0,04$) és élettani keresztmetszete ($r=0,77$; $p<0,01$), az izom-ín keresztmetszeti aránya ($r=0,68$; $p=0,03$) az izomköteg hossza és az Achilles ín

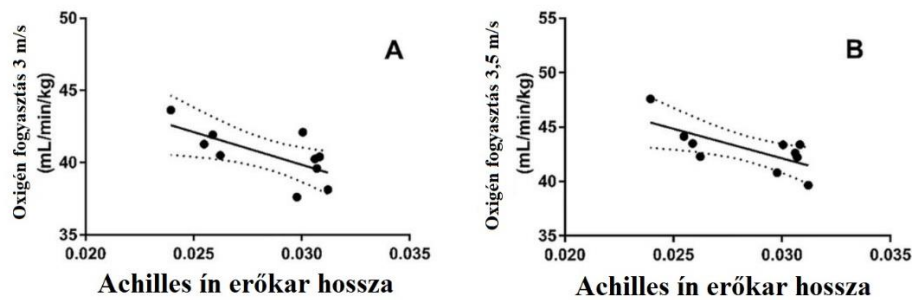
keresztmetszete ($r = 0,65$; $p < 0,01$) a maratoni futó teljesítménnyel. A gastrocnemiusok egyik vizsgált paramétere sem korrelált a maratoni futó teljesítménnyel.

1. táblázat. A maratoni teljesítmény és a plantarflexor izom-ín komplexum morfológiai paramétere közötti kapcsolatok mértéke és a hozzá tartozó 95%-os konfidencia intervallum. A vastaggal szedett számok jelölik a szignifikáns kapcsolatot

Változó	Achilles ín			Soleus			Lateral Gastrocnemius			Medial gastrocnemius		
	r	p	95 % CI±	r	p	95 % CI±	r	p	95 % CI±	r	p	95 % CI±
Hossz	-0,01	0,48	0,63 0,62	0,34	0,16	0,36 0,79	0,12	0,36	0,54 0,69	0,21	0,27	0,47 0,74
Térfogat	0,3 2	0,18	0,38 0,79	0,55	0,04 8	0,11 0,87	0,06	0,43	0,59 0,66	0,41	0,11	0,28 0,82
Maximális anatómiai keresztmetszet	0,6 5	0,01	0,04 0,91	0,57	0,04	0,08 0,88	0,05	0,44	0,59 0,66	0,37	0,14	0,33 0,81
élettani keresztmetszet	-	-	-	0,77	0,01	0,28 0,94	0,36	0,29	0,33 0,81	0,32	0,35	0,37 0,79
izomköteg hossz	-	-	-	0,63	0,02	0,90 - 0,01	- 0,26	0,22	- 0,76 0,43	- 0,02	0,47	- 0,64 0,61

III. vizsgálat

Negatív korrelációt találtunk a testmagasságra normalizált Achilles ín erőkar hossza és a futás gazdaságosság között mindkét vizsgált sebesség esetén ($r = -0,68$; $p = 0,014$ and $r = -0,70$; $p = 0,01$). Továbbá az erőkar hossza szignifikáns korrelációt mutatott a bokaízületi behajlás mértékével mindkét sebesség esetén ($r = -0,59$; $p = 0,03$ and $r = -0,60$; $p = 0,03$) és a mediális gastrocnemius elektromos aktivitásával 3 m/s sebességén ($r = -0,62$; $p = 0,02$).



4. ábra. Az Achilles ín erőkar hossza és a vizsgált változók közötti korreláció elemzéshez tartozó ponthalmaz ábra. Az A-val jelölt ábrán a normalizált erőkar 3 m⁻¹ sebességű futás alatti oxigénfogyasztással mutatott kapcsolatát ($r = -0,68$, $p = 0,01$) ábrázoltuk. Az B-vel jelölt ábrán a 3,5 m⁻¹ sebességű futás alatti oxigénfogyasztással mutatott kapcsolatot ($r = -0,70$, $p = 0,01$) ábrázoltuk.

Következtetések:

Bizonyítékot szolgáltatunk arra, hogy (I) *a szökdelés teljesítményét az Achilles ín erőkarjának hosszúsága önmagában közvetlenül nem befolyásolja*. Azonban (II) *közvetett módon hatást gyakorol egyes a felugrást meghatározó paraméterekre és így az izom-ín kontrakcióra, amit alátámaszt a többváltozós regressziós modellünk*.

Tovább erősíti eredményünk a szakirodalmi álláspontot miszerint (III) *a soleus izomnak meghatározóbb szerepe van futás és szökdelést közben, mint a gastrocnemius izmoknak*. Továbbá novum eredmény, hogy (IV) *a soleus-Achilles izom-ín keresztmetszeti arány korrelál a maratoni teljesítménnyel*.

Eredményeink alapján a hosszabb erőkar előnyösebbnek bizonyul futás gazdaságosság szempontjából. (V) *Az erőkar hossza hatással lehet az ízületi szögelfordulás és az izomfeszülés mértékre, ezáltal az energiafelhasználás mértékére is*. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy (VI) *kaukázusi futók esetén előnyös a nagyobb soleus izom élettani keresztmetszet, rövidebb soleus izomköteghossz, valamint a vastag Achilles ín*.

Eredményeink alapján az alábbi megállapításokat tehetjük a megfogalmazott hipotézisekre vonatkozóan:

I/a Feltételeztük, hogy az Achilles ín erőkarjának hossza és a felugrási magasság között nincs erős, közvetlen kapcsolat, de közvetetten, a felugrási magasságot befolyásoló egyéb tényezőkön keresztül hatással van az emelkedés mértékére.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, hiszen nem találtunk korrelációt az Achilles ín erőkarja és a felugrási magasság között.

II/a Feltételeztük, hogy a soleus morfológiai paraméterei erősebb kapcsolatot mutatnak a futó teljesítménnyel, mint gastrocnemiusok ugyanazon paraméterei.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, hiszen a gastrocnemiusok vizsgált paraméterei közül egy sem mutatott korrelációt a maratoni futó teljesítménnyel, azonban a soleus legtöbb paramétere (térfogat, tömeg, izomköteghossz, anatómiai és élettani keresztmetszet) szignifikáns kapcsolatot mutatott a maratoni futó teljesítménnyel.

II/b Feltételeztük, hogy azok a futók, akik nagyobb anatómiai és élettani soleus keresztmetszettel, rövidebb soleus izomköteghosszal rendelkeznek, rövidebb idő alatt teljesítik a maratoni távot.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, mivel a soleus legtöbb paramétere (térfogat, tömeg, izomköteghossz, anatómiai és élettani keresztmetszet) szignifikáns kapcsolatot mutatott a maratoni futó teljesítménnyel.

II/c Feltételeztük, hogy az Achilles ín vastagsága pozitív korrelációt mutat a futó teljesítménnyel.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, mivel az Achilles ín disztális régiójának legnagyobb keresztmetszeti területe erős korrelációban áll a maratoni futó teljesítménnyel.

II/d Feltételeztük, hogy a nagyobb izom-ín keresztmetszeti arány jobb futó teljesítménnyel áll kapcsolatban.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, mivel a soleus élettani keresztmetszete és az Achilles ín keresztmetszete is erős korrelációt mutat a maratoni futó teljesítménnyel, ezért a soleus izom-ín keresztmetszeti arány is erős korrelációt mutat a maratoni futó teljesítménnyel.

III/a Feltételeztük, hogy azok a futók, akik hosszabb Achilles ín erőkarral és vastagabb Achilles ínval rendelkeznek jobb futás gazdaságossági mutatóval rendelkeznek.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, hiszen az Achilles ín erőkarjának hossza (testmagasságra normalizált) alacsonyabb oxigénfogyasztással (azaz jobb futás gazdaságossággal rendelkeznek) teljesítették a futó tesztet.

III/b Feltételeztük, hogy a gazdaságosabban futóknál alacsonyabb EMG aktivitás és kisebb mértékű izomköteghossz változás várható, ami az alacsonyabb energiafogyasztásra utal.

A hipotézis részben tudjuk igazoltnak tekinteni, ugyanis nem találtunk kapcsolatot az izomköteghossz változás mértéke és az oxigénfogyasztás között, viszont a mediális gastrocnemius alacsonyabb elektromos aktivitás korrelált az alacsonyabb oxigénfogyasztással.

III/c Feltételeztük, hogy a hosszabb Achilles ín erőkarral rendelkező futók kisebb mértékben hajlítják és nyújtják a bokaízületüket a futás támaszfázisában.

A hipotézist igazoltnak tekintjük, mivel az Achilles ín erőkarjának hossza és a bokaízületi behajlás és kinyúlás között szignifikáns korrelációt találtunk.

Összefoglalás:

Kutatásunk fő célja az Achilles ín erőkarjának motoros teljesítményre gyakorolt hatásának feltárása volt. Emellett azt is vizsgáltuk, hogy az erőkar hossza milyen kapcsolatban van plantarflexor izmok működésével. Feltételezéseinket igazolni tudtuk döntő többségében. Eredményeink azt mutatják, hogy komplexum interakció van a bokaízületi forgatónyomaték létrehozásában az erőkar hossza és az izomműködést meghatározó (EMG aktivitás, ízületi szögelfordulás, izomköteghossz változás) változók között. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a kaukázusi futók esetén előnyös a nagyobb soleus izom élettani keresztmetszet, rövidebb soleus izomköteghossz, valamint a vastag Achilles ín.

Az értekezés alapjául szolgáló saját közlemények jegyzéke:

1. Kovács B, Kóbor I, Gyimes Zs, Sebestyén Ö, Tihanyi J. (2020) Lower leg muscle–tendon unit characteristics are related to marathon running performance. Sci Rep, Sci Rep, 10: 17870

Impakt faktor: 4,379

2. Kovács B, Kóbor I, Sebestyén Ö, Tihanyi J. (2021) Longer Achilles tendon moment arm results in better running economy. Physiol Int, 107: 527-541.

Impakt faktor: 2,09

3. Kovács B, Sebestyén Ö, Tihanyi J. (2021) Lower leg characteristics influence on hopping height. APH, 18: 155-171.

Impakt faktor: 1,806

Az értekezéshez közvetlenül nem kapcsolódó saját közlemények jegyzéke:

4. Hegyi A, Csala D, Kovács B, Péter A, Liew BXW, Yue Y, Finni T, Tihanyi J, Cronin NJ. (2021) Superimposing hip extension on knee flexion evokes higher activation in biceps femoris than knee flexion alone. J Electromyogr Kinesiol, 58: 102541

Impakt faktor: 2,368