

# *ELŐSZÓ*

A biomechanika III segédanyag célja, hogy lehetővé tegye a hallgatók számára a biomechanika alapismereteinek, vizsgálati módszereinek elsajátítását gyakorlati példákon keresztül különösképpen a sportág specifikus biomechanika tudásanyag szemszögéből. A tananyagnak nem célja egy adott sportághoz tartozó teljes biomechanikai jellegű tudásanyag átadása, ehhez nem is elegendő a segédlet mérete, a cél inkább egyes fontos, illetve érdekes kérdéskör biomechanikai szemléletű bemutatása. A tananyag elsajátításához bizonyos alapvető fizikai, mechanikai ismeretek szükségesek, de ezek megtalálhatóak a középiskolai fizikatankönyvekben. Emellett szükséges, hogy a hallgatók elsajátítsák a Biomechanika I és Biomechanika II kurzus tudásanyagát, ugyanis számos esetben az ott részletezett anyagra támaszkodnak az ebben a segédletben tárgyalt jelenségek. A fejezetek vége rövid összefoglalást és ellenőrző kérdéseket tartalmaz, amelyek lehetővé teszik az anyag önálló feldolgozását.

A segédlet önmagában nem tartalmazza a teljes tananyagot, az előadásokon elhangzott és a honlapon megtalálható prezentációk jobb értelmezhetőségét segíti elő. Ezért a segédletben található szakmai anyag elsajátítása önmagában nem elegendő a sikeres vizsga teljesítéséhez.

Az anyag felépítése és kidolgozása minden fejezetben az ENSZ által kiemelt fenntartható fejlődési célokkal összhangban, azok alapján történt. Ennek megfelelően mind a segédanyagban, mind a kurzusok tematikájában kiemelt hangsúlyt kapott az egészség és jólét kérdésköre, vagyis azon szemlélet, amelynek középpontjában a cél: biztosítani az egészséges életet és előmozdítani a jólétet mindenki számára, minden korosztályban. Emellett még kiemelt figyelmet kapott a minőségi oktatás szemlélete, vagyis: biztosítani az átfogó és igazságos minőségi oktatást és előmozdítani az egész életen át tartó tanulási lehetőségeket mindenki számára. A tantárgyi segédlet fejlesztése során a továbbiakban kiemelt figyelem lett fordítva még a fenntartható fejlődés vonatkozó tartalmi elemeinek beépítésére.

## *Járás, gyaloglás, futás.*

### **BEVEZETÉS**

Szinte minden sportmozgás alapja a futás, mint a helyváltoztatás alapvető módja. Természetesen vannak kivételek, mint úszás, sportlövészet, kajak-kenu, stb. de általánosan elmondható, hogy a legtöbb sportág esetén a futásnak kisebb-nagyobb szerepe van a mozgásban. Azon sportágak esetén pedig, ahol a futás nem kap szerepet, mint kiegészítő mozgásforma a felkészülésben a sportolók igen gyakran alkalmazzák. A rekreációs sportolók szempontjából tárgyalva pedig a futás, kocogás az egyik legolcsóbb, legkézenfekvőbb, részben emiatt a leggyakrabban végzett sporttevékenység.

A járás, futás nem egy felnőtt korban tanult mozgásforma. Előfordul, hogy újra kell tanulni a mozgást felnőttként, például egy sérülés eredményeként, de általában a járási, futási karakterisztikák adottak. Mégis kismértékben változtatva a technikán lehetőség nyílik a mozgás hatékonyságának növelésére, a sérülések kockázatainak csökkentésére és a legújabb borítások, cipők nyújtotta lehetőségek kiaknázására. A továbbiakban végigvesszük a járás és a futás leírásának alapvető biomechanikai módszereit. Ezen leírás minta is egyben, meg szeretnénk mutatni a járás, futás elemzésén keresztül, hogy hogyan, milyen lépéseken, megfontolásokon keresztül történik egy összetett mozgás elemzése.

### **A stabil járás egyik alapja: a stabilitás**

A járás és a futás megfelelő végrehajtásának egyik elengedhetetlen feltétele, hogy a személy egyensúlyozó képessége magas szintű legyen. Összetett sportmozgásoknál, például csapatsportoknál a mozgás az állás, járás, lassú és sprintfutás egymás utáni ismétléseiből áll össze. A mozgásszekvenciák pillanatnyi egyensúlyi helyzetek felvételéből, majd azoknak valamelyik irányban történő megbontásából állnak. A mozgások pontos végrehajtásánál óriási jelentősége van a proprioceptorokból és az egyensúlyi helyzetet meghatározó receptorokból érkező ingerek megfelelő feldolgozásának. Éppen emiatt az egyensúlyozó képességet fejlesztő gyakorlatok egyre nagyobb teret kapnak a dinamikus mozgásokat igénylő sportágaknál is.

De nemcsak az élsportolóknál van óriási jelentősége az egyensúlyozó képességnek a járásnál, futásnál. Idős korban a járáskép megváltozik. Ennek egyik oka, hogy az életkor előre haladtával az egyensúlyozó képesség romlik, ezért az idős embereknél megfigyelhető, hogy a járás során megnő a két láb támaszos fázis aránya, vagyis amikor mindkét láb a talajon van, miközben a járás lelassul. A fenti két példából látható tehát, hogy a járás biomechanikai tárgyalását érdemes a járást megelőző statikus helyzet vizsgálatával kezdeni. A statikus helyzetet, az egyensúlyozó képességet stabilometriai vizsgálattal lehet mérni, számszerűsíthetővé tenni.

### **Stabilometria**

A stabilometria általános célja, hogy a test egyensúlyozó képességét megmérjük és számszerűsítsük mind statikus, mind dinamikus körülmények között. Mivel az egyensúlyozó képesség nemcsak statikus helyzetekben, hanem a dinamikus mozgásoknál is elengedhetetlen, emiatt a stabilometriai paraméterek a sportmozgások tanulásánál kiemelt jelentőséggel bírnak. A mozgások pontos végrehajtásánál elengedhetetlen a proprioceptorokból és a vestibuláris rendszerből jövő ingerek megfelelő feldolgozása, amelynek szintje az egyensúly megtartásának képességével becsülhető. A stabilometriai méréseknél meghatározható a tömegközéppont előre-hátra, oldalirányú elmozdulása és a teljes megtett útja. Proprioceptív gyakorlatok ismételt alkalmazásánál, longitudinális vizsgálatokkal a fejlődés mértéke követhető.

## **Járás, versenyyalolás biomechanikája**

### **BEVEZETÉS**

A járás az ember legalapvetőbb helyváltoztatási formája. Járásnak azt a mozgást nevezzük, amikor a helyváltoztatás során egyik láb a talajon van és van egy hosszabb-rövidebb szakasz, amikor mindkét láb érintkezik a talajjal, amit két lábtámaszos szakasznak nevezünk. Ezeknek a járásra jellemző jegyeknek megtartása a haladási sebesség függvénye, amelyet számos körülmény befolyásol. A járás úgy is felfogható, mint az egyensúlyi helyzet megbontása és ismét helyreállítása. Ugyanis a járás az esetek többségében állásból indul, amikor a test behatárolt stabil egyensúlyi helyzetben van. Ahhoz, hogy el tudjon indulni az ember, a tömegközéppontját (TKP) ki kell mozdítani a támaszterület fölé, azaz a lábak elé kell mozdítani. Ezt követően az egyik láb lendítő lábbá válik és TKP függőleges vetülete elé kerül lehelyezésre. Eközben a TKP az elől lévő láb fölé halad. Ez a mozgásciklus ismétlődik, ameddig a járás be nem fejeződik és TKP nem mozog tovább, függőleges vetülete pedig a támasz fölé kerül lehelyezkedik el. A járásnak van egy hétköznapi életben alkalmazott a sportban alkalmazott formája, amit versenyyalolásnak neveznek az atlétikában.

#### ***A járás biomechanikai jellemzői.***

A járás vizsgálatában megkülönböztetünk lépést és járasciklust. Lépésnek nevezzük azt, amikor mindkét láb a talajon támaszkodik (kettős lábtámasz), és a két sarok közötti távolság adja meg a hosszát. Járásciklusnak azt nevezzük, amikor ugyanazon láb ismét a talajra kerül. Tehát a járasciklus két lépésből áll, amely egy támasz és egy lengő (lendítő) szakaszból áll. Normál járássebesség (felnőtt nők: 1,3 m/s; felnőtt férfiak: 1,5 m/s) esetén a támasz és a lengő szakasz aránya 60%-40%. A haladási sebesség növekedésével a támaszfázis százalékos aránya fokozatosan csökken és a lehetséges legnagyobb sebességnél (3,0-3,2 m/s) a támasz és a lengő szakasz aránya 50-50%. A normál sebességnél kisebb sebességeknél a támasz szakasz aránya nagyobb (pl. 0,5 m/s sebességnél 70%-30%).

Versenyyalolásnál a maximális haladási sebesség elérheti 4,0-4,2 m/s-ot is, ami a végrehajtásbeli különbségeknek tulajdonítható (lásd később). A gyors járáshoz (2,5 m/s) viszonyítva a gyaloglás (3,44 m/s) (járás)ciklus ideje rövidebb (0,84 vs 0,7 s), a lépésfrekvencia nagyobb (2,4 vs 2,8 lépés/s), a járasciklus hosszúság nagyobb (2,02 vs 2,48 m), járásszélesség kisebb (0,1 vs 0,6 m), a lábfej kifordítási szög akár negatív (--0,05 fok) is lehet, azaz a lábfejek befelé fordulnak (pronáció). Meg kell jegyezni, hogy bár a szabályos gyaloglásnál a támasz és lengőfázis aránya 50%, a biomechanikai elemzések kimutatták, hogy minden esetben találtak rövid repülő szakaszt (0,02-0,03 s; 0,13-0,18 m). Ez azt jelenti, hogy a támaszfázis 50%-nál kisebb hányadú a lengőfázisnál.

## ***A járás alapadatai***

**Járássebesség.** Átlagsebességről van szó, amely életkorbeli és nembeli különbségeket mutat. Amint korábban olvashatták a normális haladási sebesség felnőtt életkorban 1,3-1,5 m/s. Az a sebesség csecsemőkorban 0,64 m/s nagy szórásértékkel, amely 18-20 éves korra éri el a maximális értéket (1,3-1,5 m/s), amely megközelítőleg 50 éves korig stagnál és 65 éves kor után csökken jelentősen (1,1-1,2 m/s).

**Lépésfrekvencia.** Egy percre vagy másodpercre eső lépést fejez ki. A férfiak és nők között nincs különbség (1,9 lépés/s). Csecsemő és kisgyermekkorban a frekvencia 2,9 lépés/s, amely fokozatosan (csaknem lineárisan) csökken 65-85 éves korig (1,7 lépés/s).

**Járásciklus idő.** Ez az idő csecsemőkortól (0,74 s) 80 éves korig (1,2 s) csaknem lineárisan növekszik. Felnőtt nőknél és férfiaknál 1,05-1,1 s a járásciklus idő.

**Jarásciklus hosszúság.** Csecsemőkortól (0,4 m) felnőtt korig (20-50 éves kor) a hosszúság fokozatosan növekszik (nők: 1,35 m, férfiak: 1,55 m). 65 és 80 éves kor között lecsökken 1,2 (nők), illetve 1,4 m-re (férfiak).

**Járás szélesség vagy járásalap.** A lábakat járás során nem tesszük egy vonalra, azok bizonyos távolságra helyezkednek egymástól. A felnőtt normál érték két lábfej belső élének különbsége 0,07-0,1 m.

**Láb kifordítási szög.** A lábfej hosszúsági tengelye és a járás iránya által bezárt szög. Normál lábfejfelépítés esetén 6-7 cm. A férfiak és nők között nincs különbség. Gyerekekre és idősekre vonatkozó adatot nem található.

**Egy és két lábtámasz idő.** Felnőtt korban 74% és 22%, Idős korban 71% és 29%.

Versenygyaloglásnál a maximális haladási sebesség elérheti 4,0-4,2 m/s-ot is, ami a végrehajtásbeli különbségeknek tulajdonítható (lásd később). A gyors járáshoz (2,5 m/s) viszonyítva a gyaloglás (3,44 m/s) (járás)ciklus ideje rövidebb (0,84 vs 0,7 s), a lépésfrekvencia nagyobb (2,4 vs 2,8 lépés/s), a járásciklus hosszúság nagyobb (2,02 vs 2,48 m), járásszélesség kisebb (0,1 vs 0,6 m), a lábfej kifordítási szög akár negatív (-0,05 fok) is lehet, azaz a lábfejek befelé fordulnak (pronáció)

## ***A járás helyzetei és szakaszai***

Mint korábban leírtuk, a járásciklus két alapszakasza a támasz és a lengőfázis. A támaszfázisban négy kitüntetett helyzet különíthető el: 1. talajfogás sarokkal, amely a két lábtámaszos helyzet kezdetét jelenti, 2. teljes talptámasz, 3. a TKP bokaízület elé kerülése, 4. sarok felemelkedés a talajról. A lengőfázisnak is négy kitüntetett helyzete van: 1. előlendítés, amely a két lábtámaszos szakasz alatt zajlik a csípő és a térdízület behajlítása által. 2. A kezdeti lendítés, amely a lábfej kontaktusának megszűnését jelent, akkor válik a támaszláb lendítőlábbá. 3. A középső fázis, amikor a lendítőláb éppen elhalad a támaszláb mellett. 4. A végső fázis, amikor a talajfogás előkészítése megtörténik a térd kinyújtásával és a boka dorzál flexiójával.

## ***A tömegközéppont útja***

A járás célja az, hogy a testet, amelyet leszűkíthetünk a tömegközéppontra (TKP), vízszintesen eljuttassa egy bizonyos távolságra bizonyos idő alatt a lehető legkevesebb energia felhasználással. Ha TKP csak vízszintesen mozogna, akkor a legkevesebb energia felhasználással végezné a munkát az izomzat. Azonban az emberi test felépítéséből adódóan a TKP-nak van függőleges és oldalirányú elmozdulása is, amely a haladási sebesség függvényében változik. Kis járássebességnél (0,7 m/s) a TKP függőleges mozgása egy járásciklus alatt 0,02-0,03 m, amely a sebesség növelésével csaknem

lineárisan növekszik és 1,5-1,7 m/s-os sebességnél 0,04-0,05 m. A sebesség további növelésénél már jelentősen nem növekszik a TKP függőleges mozgása.

**Versenygyaloglóknál** a TKP függőleges mozgása jelentősen kisebb nagy haladási sebesség mellett is (0,028-0,04 m). A TKP oldalirányban is végez mozgást abból fakadóan is, hogy a járásszélesség 0,1 m. A TGK oldalirányú mozgása kis sebességnél viszonylag nagy (0,07 m), amely a sebesség növelésével lineárisan csökken és 1,6 m/s sebességnél csak 0,03 m.

A TKP függőleges mozgását csökkentő tényezők egyrészt az alsó végtagi ízületek jellegzetes behajlításából és kinyújtásból származnak, azaz a sarokkal talajfogást követő plantárflexió és a térdízület behajlása, majd kinyúlása, amely egyidejűen történik a bokaízület behajlásával (dorzálflexio), illetve a támasz középső fázisa után a bokaízület kinyúlása.

További függőleges mozgást csökkentő tényező a váll és a csípő latero-mediális tengelyének ellentétes irányú forgása a horizontális síkban, valamint a csípők süllyedő-emelkedő mozgása frontális síkban. A TKP mozgását befolyásolja a medence három tengely körüli forgása. Nevezetesen, egy járásciklus alatt frontálissíkban 8 fokot, oldalsíkban 5 fokot, transzverzális síkban 10 fokban fordul el a hosszúsági, szélességi és mélységi tengely körül.

### ***Ízületi kinematika és dinamika***

A csípőízület a saroktámasz pillanatában hajlított helyzetben van (25-30 fok), amelyet kis késedelemmel a csípő feszítése követ, amelynek a mozgásterjedelme 40-50 fok és az előlendítés megkezdéséig tart. Azt követően a lengőfázis alatt 50 fokot hajlik be a csípőízület.

A térdízület a talajfogás pillanatában megközelítőleg neutrális szöghelyzetben van. A teljes talptámasz elérése alatt az ízület 10-15 fokot hajlik, majd mielőtt a középső fázisba kerülne a test a térd kinyúlik. Ebből következőleg a térdfeszítő izmok rövidülésének nincs előrehajtó (propulzív) szerepe, amit az is alátámaszt, hogy támaszfázis utolsó 20 százalékában a térdízület újból hajlik, miközben a sarok elemelkedik a talajtól. Más szóval a plantárflexorok megkezdik elrugaszkodó munkájukat. A lengőfázis alatt a térdhajlítás mértéke 50-55 fok. Meg kell jegyezni, hogy a járás sebességének növeléséhez a térdízület behajlása növekszik és kinyúlása a támasz végéhez közeledik.

A bokaízület neutrális helyzetben van támasz kezdetén, amelyet azonnal 5-6 fokos plantárflexió követ, hogy a teljes talptámasz minél előbb létre jöjjön. A plantárflexió a „sarokütés” automatikus következménye. Hogy a talp ne csapódjon le a talajra, a dorzálflexorok fékező izomtevékenységet végeznek (excentrikus kontrakció), amely szokot és hosszú ideig tartó lejtőn járásnál izomlázat okozhat. Miután a teljes talp a talajra került, a bokaízület hajlik (8-10 fok), majd rögzítetté válik. Ezt követően, amikor a TKP a támaszláb elülső része fölé kerül, megkezdődik a plantárflexió, amelyet a sarok elemelkedése jelez. A plantárflexió nagysága 25-30 fok. A lengőfázis alatt a dorzálflexio mértéke hasonló nagyságú.

Ha kiszámoljuk, hogy a három ízület feszítőizmai mekkora forgatónyomatékot fejtettek ki, akkor azt láthatjuk, hogy a plantárflexorok forgatónyomatéka a legnagyobb (1,3-szoros súlyerőnyi, azaz 1,3 G), a csípőfeszítők és a térdfeszítők legnagyobb forgatónyomatéka csak 0,8 G illetve 0,5 G. A forgatónyomaték és az ízületi szögsebesség ismeretében a mechanikai teljesítmény is kiszámolható. A plantárflexorok mechanikai teljesítménye 4,0 Watt/G, szemben a csípő és térdfeszítőkkel, amely csak 0,5 Watt/G. A fenti adatokból levonható az a következtetés, hogy a járás sebességét (TKP vízszintes előrehaladását) elsősorban a plantárflexorok munkája hozza létre.

A **versenygyaloglók** ízületeiben létrejövő elmozdulások sok tekintetben különböznek a normál, gyors járásnál leírtaktól. A támaszfázis középső szakaszában (a súlypont a támaszláb fölött van) a támaszláb oldali váll süllyed, a lendítőláb medencéje, csípője lefele mozog és ez a mozgásterjedelem 5-10 fokkal is nagyobb lehet, mint a normál járásnál leírtak. E két testrész mozgása a gerincoszlop oldalirányú hajlítását hozza magával.

A sarokkal talajfogásnál a csípőízület 10-12 fokos hajlított helyzetben van. A mozgásterjedelem 20 fok a támaszfázis alatt. A térdízület csaknem teljesen nyújtott helyzetű, amely a középső támaszfázisban 10 fokos hiperextenzióssá válik. Az előlendítés megkezdéséig viszont 25-30 fokot hajlik. A bokaízület neurális helyzetben van a talajfogáskor és 10-12 fokot hajlik (dorzálflexió, fékező szakasz) a középső támaszhelyzetig, majd 15-20 fokot nyúlik ki (plantárflexio, propulzív szakasz. Az átgördülés a támaszlábon nyújtott térdrel és a talp külső élén történik. Ezért a térdben kierőszakolt varus állás alakul ki. A térdfeszítő izmok nem vesznek részt az elrugaszkodásban, azaz a vízszintes sebesség létrehozásában, fenntartásában. A plantárflexorok a fő munkavégző izmok és hogy a munkát maximális hatékonysággal tudják végezni a térdet feszesen kell tartani, ami hiperextenzióhoz vezet.

### ***A járásban résztvevő fő izmok és működésük***

A sarokletételkor a nagy farizom, a térdhajlító, térdfeszítők és dorzálflexorok aktívak. A csípőfeszítők megkezdik a csípőfeszítést, a térdhajlító és feszítők rögzítik a térdízületet teljes talptámaszig. A dorzálflexorok fékezik a plantárflexios mozgást. Ezek az izmok megközelítőleg a középső támaszfázisig mutatnak jelentős aktivitást, azaz nem fejtenek ki jelentős erőt. A plantárflexió befejezése végén a dorzálflexio alatt a plantárflexorok aktivitása megnő és a támaszfázis végéig tart, jelezvén a bokafeszítők feszülésének növekedését, feltételezhetően elasztikus energiátárolást az Achilles ínban, és annak felhasználását plantárflexorok rövidülés alatt.

A lengőfázis kezdetekor a térdfeszítő aktivitás magnó, amivel elindítja a térdnyújtást, majd megszűnik. A lengőfázis utolsó szakaszában a térdhajlító és térdfeszítők ismét aktívak lesznek a térdízületet rögzítendő a talajfogáshoz. A csípőfeszítők aktivitása ismét növekszik. Ezzel lefékezik a csípőhajlítást és egyben megkezdik a csípő feszítését a talajfogás pillanatában.

A fentiekben leírtakból kiviláglik, hogy az izmok jelentős aktivitást a mozdulat megindításakor mutat, majd hagyják, hogy a testrész a tehetetlenségi következtében mozogjon, és csak akkor növekszik megint az aktivitásuk, amikor az adott testrész mozgását fékezni és megállítani kell. A patológiás járásra az jellemző, hogy a járásban résztvevő fő izomcsoportoknak végig van aktivitása, nem kapcsolnak ki teljesen egyik járásszakaszban sem.

A versenygyaloglásban az izmok aktivitása jelentősen nagyobb és hosszabb, mint a normál járás esetén. Ez a megállapítás különösen vonatkozik a csípőfeszítő és térdfeszítő izmokra, ahol az aktivitás kétszerese a járásnál találtaknál. Mivel a térd nem hajlik be ezért a térdhajlító izmok csípőfeszítővé válnak és ezért növekszik meg aktivitásuk, következképpen erőkifejtésük. A csípőközelítők és távolítók aktivitása a járásnál kismérvű, de gyaloglásnál jelentősen megnő.

### **A talajra (testre) ható erők**

A járás támaszfázisában a test tehetetlenségi ereje és az izmok által kifejtett erő által talajra ható erőket erőmérő platformmal mérhetjük. A talajra függőleges és két vízszintes erő (előre-hátra és jobbra-balra) hat. A függőleges erő mindig a jelentősen nagyobb, mint a két vízszintes erő, mivel a test nehézségi ereje függőleges irányú. Ha testsúlyra normalizáljuk a talajreakció erőket, akkor a különbségek csökkennek.

A függőleges erő-idő görbének két csúcsa van. Az elsőt akkor keletkezik, amikor a személy teljes talpra gördül, ekkor teljes súlyával nehezedik a talajra a személy. Mivel a TKP a támasz mögött van ezért a támaszba érkezéskor mért sebesség csökkeni fog, vagyis fékezés következik be anélkül, hogy ez tudatos lenne. A negatív gyorsulásból adódó erőhatás hozzáadódik a nehézségi erőhöz. A teljes talptámaszt követi az ízületek behajlása, amely a talajra ható erőt csökkenti. Az ízületek behajlásának megállítása, illetve az ízületek kinyújtása növeli az erőt a talajra létrehozva a második erőcsúcsot a görbén. A két erőcsúcs azonos nagyságú, ha a fékezés alatti negatív gyorsulás azonos a gyorsítás alatti pozitív gyorsulással. Ez egybe azt is jelenti, hogy TKP sebessége a támaszba érkezéskor és a támasz végén megközelítőleg azonos. Ha a járás sebességét folyamatosan növelik, akkor a második függőleges erőcsúcs nagyobb, mint az első. Amennyiben a járás sebességét csökkenteni akarják, akkor az első erőcsúcs lesz a nagyobb. Minél nagyobb sebességgel járunk, annál nagyobb lesz az első és a második csúcs is és a két csúcs közötti erőcsökkenés is fokozódik. 0,5 m/s sebességnél az erőcsúcsok alig nagyobbak, mint a test nehézségi ereje (1,01-1,03 G) és az erőcsökkenés is minimális a két csúcs között (0,98-0,99 G). Normál sebességnél az erőcsúcsok már 1,2 G-re növekednek és a visszaesés is növekszik (0,8 G).

A előre-hátra irányuló erő-idő görbén is két csúcsot fedezhetünk fel. egy negatív és egy pozitív csúcsot. A támaszba érkezéskor az erőplatóra előrefelé irányuló erőt fejtünk ki. A legnagyobb sebességcsökkenéskor (legnagyobb negatív gyorsulás) mérhetjük a legnagyobb erőt. Ezt követően az erő csökken és megközelítőleg ott ahol a legkisebb a függőleges erő, a görbe átvált pozitív oldalra és mindaddig növekszik, amíg a TKP gyorsul és megközelítőleg a második függőleges erőcsúcs után éri el a legnagyobb értéket, majd csökken a talajelhagyásig. A pozitív szakaszban a személy a platóra hátra irányuló erőt fejt ki. A fékezési és gyorsítási erőcsúcs nagysága megközelítően azonos, ha a támaszba érkezési és távozási sebesség azonos. 0,5 m/s sebességnél az erőcsúcsok nagysága viszonylag kicsi (0,07 G), 1,5 m/s sebességnél viszont már 0,23 G. A haladási sebesség növelésével megközelítőleg lineárisan növekszenek az erőcsúcsok.

Mivel a lábakat nem egy vonalra helyezzük a járás során, ezért a súlypontnak oldalirányú mozgása (sebessége) is van. Vagyis a platóra a támaszláb irányába ható erőt fejt ki a személy. A mediolaterális erő-idő görbén is két csúcs fedezhető fel, között kicsi az erővisszaesés mértéke alacsony sebességeknél. A görbe alakja nem olyan szimmetrikus, mint a függőleges és előre-hátra irányuló erő-idő görbe. 1,0 m/s-nál nagyobb sebességeknél az első csúcs jelentősen nagyobb, mint a második. A nehézségi erőre normalizált erőcsúcs érték 0,5 m/s-nál 0,04 G, 1,5 m/s-nál 0,08 G.

A **versenygyaloglás** talajreakció erő-idő görbéje jelentősen különbözik a normál járásétól. A függőleges erő-idő görbén két csúcs található a támaszfázis első két szakaszában (a támaszfázis első 25-30%-a). Az első kisebb erőcsúcs a sarok-talaj ütközés erejét jelenti. A második a teljes talptámaszkor fellépő erőt mutatja. Ezt követően az erő kissé visszaesik és a támasz 35-60 %-a között állandó marad, majd fokozatosan csökken a támasz végéig. Nagy sebességű gyaloglásnál (3,5-4,0 m/s) a talajra kifejtett legnagyobb erő 1,5-1,8 G nagyságú.

A vízszintes erő-idő görbén egy negatív és egy pozitív csúcs fedezhető fel. Az erőcsúcsok nagysága 0,3-0,4 G. A görbe negatívból pozitívba váltása a támaszfázis 40 százalékánál következik be szemben a járás 50 százalékával. Ez azt jelenti, hogy a fékező fázis rövidebb, mint a gyorsító (propulziós fázis). Az arány 40/60%.

Az oldalirányú erő-idő görbe simább, mint normál járásnál. A legnagyobb erőt a sarokkal ütközés alatt lehet mérni (0,08-0,1 G) és a támasz lábbal ellentétes oldal felé mutat és csak a középső irányul a

támaszláb oldala felé. A görbe illetően alakulása annak köszönhető, hogy a járásalap igen kicsi és a lábfej kifordítási szög akár negatív is lehet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A járás az ember legtermészetesebb helyváltoztató mozgása, amelyet a gyorsabb előrehaladás érdekében stilizáltak, ezt nevezzük versenygyaloglásnak, ami atlétikai versenyszám. A járás lényege, hogy egy láb mindig kontaktusban van a talajjal és van egy rövid ideig tartó két lábtámaszos helyzet, amely biztosítja relatív stabil testtartást. A járásciklus két lépésből áll, az eredeti támaszláb újbóli támaszlábbá válásig. A járásciklus támaszt és lengőfázisra osztható, amelyek aránya normál sebességű járás esetén 60-40%. Normál sebességű járás az, amelyet a legkényelmesebbnek tart a személy, azaz a leggazdaságosabban tud megtenni a személy adott távot. Felnőtt nők és férfiak esetében a normál sebesség 1,3 és 1,5 m/s. Az alsó végtagi ízületek közül a bokafeszítők adják le a legnagyobb mechanikai teljesítményt, vagyis a TKP gyorsításának elsődleges szereplője.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Mi jellemzi a járást?

Mekkora a TKP függőleges mozgása?

Mekkora a támasz és lengő fázis aránya járás során?

Mekkora normalizált mechanikai teljesítményt érnek el az alsó végtagi feszítő izmok?

A teljes talpra gördülés alatt melyik izom aktív?

A járás vagy a versenygyaloglás során nagyobb a járásszélesség?

A járás talajreakció erő-idő görbéjén hány erőcsúcs látható és mekkorák?

Miért csökken a talajreakció erő a két függőleges erőcsúcs között és miért?

Verenygyaloglásnál a vízszintes erő-idő görbe a támaszfázis hány százalékánál vált negatívból pozitívba?

Mit jelent a negatív vízszintes erő?

## *A futás biomechanikája*



# BEVEZETÉS

A futás a helyváltoztató mozgásnak az a fajtája, amikor a haladás sebessége nem teszi már lehetővé a járásra jellemző jegyek fenntartását. Vagyis futásnak azt a mozgást nevezzük, amikor egy időben csak egy láb van a talajon, illetve egyik láb sincs a talajon. Ezeket a szakaszokat nevezzük támasz (kontakt) és repülés fázisnak. Ha minél rövidebb idő alatt akarunk megtenni egy távolságot, ami a sporttevékenység egyik célja, akkor jelentősen meg kell változtatni az ízületben létrejövő mozgások kinematikai és dinamikai jellemzőit, ami erőteljesebb elrugaszkodást tesz lehetővé és nagyobb haladási sebesség elérését eredményezi. Az eddigi vizsgálatok szerint 3 m/s vízszintes sebességnél az elrugaszkodás ereje már akkora, hogy a TKP röppályára kerül. A futás eszköz a különböző sportágakban a célok elérésében. Éppen ezért a futás biomechanikai jegyei a céltól függően változnak. Futhatunk egyenes vonalon, körvonalon, görbe vonalon irányváltoztatással, síkon, emelkedőn, lejtőn, mezítláb és cipőben. Ebben az anyagban síkon és egyenes vonalon történő futás biomechanikai jegyeit írjuk le.

## ***A járás biomechanikai jellemzői.***

A futás alapegysége, hasonlóan a járáshoz, a lépés és a lépésciklus. A lépés és lépés(futás)ciklus hossza a TKP vízszintes sebességének függvényében változik. A futásciklus két szakasza a támaszfázis vagy kontaktfázis és a repülőfázis. A repülőfázis nem azonos a járás lengő fázisával, ugyanis a szabad végtagok (láb és karok) mozgása, lendítése csak akkor hatékony, amikor egyik láb a talajon tartózkodik (ennek magyarázatát lásd később). A repülés alatt a cél a korábbi lendítőláb talajra helyezésének előkészítése és az egyensúlyi helyzet megtartása. Az alacsony sebességű futást lassúfutásnak, adott személy maximális sebességű futását vágta (sprint) futásnak nevezik. Szubmaximális sebesség kifejezés is ismert, amely valahol a lassúfutás és a vágtafutás között helyezkedik el.

A futás támaszfázisának szakaszai: 1. a talajfogás, amely sarokkal vagy a talp középső, elülső részén történik; 2. középső szakasz, amely alatt a TKP a támaszláb fölé, majd elé kerül, miközben a lendítőláb elhalad a támaszláb mellett; 3. az elrugaszkodás, amely során TKP végsebessége és kirepülési szöge kialakul. A lendítőfázis szakaszai: 1. a gyorsuló szakasz, amely alatt a TKP lassul és az izmok feszülése megnő; 2. a lassuló szakasz, amely alatt a súlypont gyorsítása történik; 3. A talajfogás előkészítése, amely a térd kinyújtását és a csípőfeszítés megkezdését jelent. Ez alatt a szakasz alatt a korábbi támaszláb is olyan mértékben mozog előre, mint amennyit a korábbi lendítőláb mozog hátra.

A futás során rövidebb-hosszabb ideig tartó repülés azt jelenti, hogy a támasz és a repülőfázis aránya megváltozik. 5,0 m/s sebességnél (lassú futás) a támasz és repülőfázis aránya 30%-70%. A maximális sebességű futásnál ez az arány 20%-80%. A futás sebessége meghatározza a talajfogás módját. De az állítás is megállja a helyét, hogy a talajfogás módja meghatározza a futósebességet. Alapvetően három féle talajfogási módot ismerünk: sarokkal, a talp középső-külső szélén, a talp elülső részén. A kis sebességű futásnál (3,0-6 m/s) a talajfogás sarokkal történik. Szubmaximális futásnál (6,0-10,0 m/s) a talajfogás a talp középső harmada felé tolódik, míg a maximális sebességű (10,0-12,5 m/s) futásnál a talp elülső harmadával történik a talajfogás. Megjegyzendő, hogy mindenkinek megvan a saját kis, szubmaximális és maximális futási sebessége és ez egyéneként határozza meg a talajfogás mikéntjét.

**A futás indítása.** Abban az esetben, ha álló helyzetből indul a futás, azaz a járástól nagyobb kezdeti sebességet akar elérni a futó, akkor, a járáshoz hasonlóan, a TKP-ot az alátámasztási pont elé kell a lehető leggyorsabban mozgatni és az alsó végtagi ízületeket be kell hajlítani, hogy a talajra a lehető legnagyobb erőt lehessen kifejteni, ami meghatározza TKP kezdeti gyorsulása és így az induló sebességet. Gyorsabb lehet az indulás, ha az egyik láb hátrébb helyezkedik el és mindkét láb ízületei behajlított állapotban vannak. Annál nagyobb az induló sebesség minél előrébb helyezkedik a TKP a támasz előtt (instabil egyensúlyi helyzet) az ízületek kinyújtása pillanatában. Ennek a magyarázata az, hogy ha TKP közel van a támaszkodó láb(ak)hoz, akkor az erőkifejtés iránya közel esik a függőlegeshez és az erő vízszintes komponense kicsi. Ahhoz, hogy a vízszintes erőhatás minél nagyobb legyen a vágtafutók rajtgépe és térdelőrajtot alkalmaznak. Az irányváltoztatással végrehajtott futás esetében célszerű a TKP alacsonyán tartása (az ízületek hajlított helyzetben tartása).

## ***A futás alapadatai***

Vízszintes sebesség, lépéshosszúság, lépésfrekvencia, támaszidő, repülési idő, támaszszög, elrugaszzkodás szöge.

A TKP **vízszintes sebességét** alapvetően a lépéshosszúság és a lépésfrekvencia közösen határozzák meg. A lassú és szubmaximális sebességnél a lépéshosszúság és frekvencia nagyságát az adott személy futásának gazdaságossága határozza meg. A futás sebességének növelése kezdetben elsődlegesen a lépéshossz növelése által valósul meg. Amikor a lépéshossz állandóvá válik, a sebesség további növelése a lépésfrekvencia további fokozásával érhető el. A lépéshosszúság és frekvencia nagyságát vízszintes sebességen kívül a futók testmagassága, végtaghossza is befolyásolja. A maximális sebességű (10,0-11,0 m/s) futásnál a férfi vágtafutók lépéshossz átlaga 2,4-2,5 m, a nők átlaga 2,1-2,3 m. Férfiaknál 3,0 m/s futásebességnél a lépéshossz 1,2-1,3 m, 6,2 m/s-nál 2,1-2,2 m. A lépésfrekvencia férfiaknál 3,0 m/s-nál 2,5-2,6 lépés/s, 6,2 m/s-nál 3,1-3,2 l/s. Maximális sebességű futásnál a lépésfrekvencia 4,6-4,7 l/s (férfiak) és 4,4-4,5 l/s (nők).

A lépéshossz és frekvencia ismeretében az alábbi képlettel számítható ki a futás sebessége, illetve az egyenlet átrendezésével az optimális lépéshossz és frekvencia:

$$v = \text{lépésfrekvencia} \cdot \text{lépéshossz}$$

**A lépés szélesség** attól függ, hogy a futás járásból, állásból vagy rajt pozícióból indul. Ha járásból indul és a sebesség alacsony, akkor lépés szélesség nem változik jelentősen. Amikor állásból indul a futás és a futás sebessége fokozatosan növekszik, akkor kezdetben 1-2 cm-el nagyobb a lépés szélesség. Amikor a maximális intenzitással indul a futás, akkor rajt pozíciót (pl. rajtgépen) foglal el a futó és ha minél rövidebb idő alatt akarja maximális sebességét elérni, akkor az első lépések szélesség 0,3-0,4 m, ami fokozatosan csökken, és amikor a lépéshossz állandóvá válik, akkor 0,1-0,12 m lesz. Vagyis a nagysebességű futásnál a lépés szélesség néhány cm-el nagyobb, mint járásnál.

**A támasz és a repülés időtartama** a futósebesség függvényében változik. A futósebesség és a támaszidő kapcsolata hatványkitevős függvényekkel közelíthető, Alacsony sebességnél a támasz ideje 0,2-0,25 s, szubmaximális sebességnél (6 m/s) 0,15-0,18 s és maximális sebességnél 0,09-0,11 s. A repülési idő mintegy 10 %-al hosszabb, mint a támaszidő a legjobb vágtafutók esetében. A nők és férfiak között nincs jelentős különbség egyik időben sem. A repülési idő nem mutat jelentős változást a sebesség függvényében. Nem futó atléták repülési ideje 6 m/s és 11,0 m/s sebesség között 0,11 és 0,14 s között változik. A nem vágtafutó sportolók maximális futósebességnél hosszabb időt töltenek a talajon és rövidebb időt a levegőben. Ez feltehetően annak köszönhető, hogy kisebb erőt tudnak kifejteni a talajra, ami megmutatkozik a talajreakció erő-idő görbék alakjában is (lásd később).

**A talajfogás szöge** (a támaszláb sarkát és a TKP-ot összekötő egyenes és a függőleges által bezárt szög) hátrányban 6-12 fok maximális sebességű futásnál. Minél nagyobb a támaszszög, annál kisebb a futósebesség. Az elrugaszzkodás szöge (a támaszláb sarkát és a TKP-ot összekötő egyenes és a függőleges által bezárt szög frontális irányban) 28-30 fok. A futósebesség csökkenésével csökken ez a szög. Ezeknek a szögeknek és a TKP magasságának ismeretében a támasz és az elrugaszzkodás távolsága a TKP függőleges vetületétől kiszámítható. A támasztávolság 0,12-0,2 m, az elrugaszzkodás távolsága 0,4-0,48 m. Ezeket a távolságokat a testmagasságtól befolyásolja.

### ***A tömegközéppont (TKP) függőleges mozgása***

A járás sebességének növekedésével a TKP függőleges emelkedése és süllyedése növekszik. Futásnál éppen fordított a viszony. Alacsony sebességnél 0,09-0,1 m a TKP függőleges mozgása, amely a sebesség növelésével csaknem lineárisan csökken és 6,0 m/s-nál 0,07 m, aximális sebességnél 0,05 m-nél is kevesebb lehet. Ez a csökkenés annak köszönhető, hogy a támaszláb talajra helyezése a sebesség növelésével egyre közelebb kerül a TKP függőleges vetületéhez, és mint látni fogjuk később a térdízület hajlított talajfogáskor és nem hajlik és nyúlik ki a támaszfázis során. Ennek köszönhetően a TKP süllyedése kismértékű, és az összes TKP függőleges mozgása a repülő fázisra jut. Szubmaximális sebességnél (6 m/s) a legnagyobb a TKP süllyedése a támaszfázis során, valamivel nagyobb, mint a repülési fázis alatti emelkedés.

### ***Ízületi kinematika és dinamika***

**Csípőízület.** Az ízületi helyzetek és mozgásterjedelmek alapvetően a futás sebességétől függenek. A támasz láb csípőízülete lassúfutásnál (3,9 m/s) a talajfogás pillanatában 60-70 fokban hajlított, nagysebességű futásnál (9,0 m/s) csak 40-45 fokos ez a szög. Minden futássebességnél a támaszfázis alatt a csípőben csak feszítés van. A különbség az, hogy a vágtafutásnál a csípőfeszítés már a repülés szakaszában elkezdődik (50-55 fok). Ez magyarázza, hogy ennél a futássebességnél a csípőízület szöge kisebb a talajfogáskor. A támaszfázis alatt lassúfutásnál a mozgástartomány 45-50 fok, a maximális sebességű futásnál csupán 20-25 fok és a repülőfázis utána is, rövid ideig nő. A repülő fázis kétharmadáig a csípőízület hajlik: maximális sebességnél a 80-85 fokot, alacsony sebességnél 55-60 fokot. A fenti adatokból jól kivehető, hogy a futás sebességének növekedésével a csípőízület egyre kevésbé hajlított a támaszba érkezéskor és a mozgásterjedelem egyre csökken. Ugyanakkor a repülő fázisban a sebesség növekedésével egyre nagyobb lesz a hajlítás mértéke.

**Térdízület.** A támaszba érkezéskor a térdszög csaknem ugyanakkora minden sebességnél (28-32 fok). A támasz középső fázisában lassúfutásnál az ízület 15-20 fokot behajlik, majd kinyúlik 30 fok mozgásterjedelemmel. A vágtafutóknál a térdszög csaknem teljesen rögzített a támaszfázis alatt, némely esetben azt találták, hogy a térdízület a támaszfázis végéig hajlik 15-20 fokot. A repülőfázis közepéig a térdszög kis sebességnél 70-75 fokot (105-110 fok a maximális hajlítás), nagy sebességnél 80-95 fokot hajlik az ízület, ami teljes térdhajlítást jelent (135-140 fok). Minél nagyobb a futás sebessége annál nagyobb az ízület behajlása, amely egyre rövidebb idő alatt történik.

Következésképpen a térdhajlítás szögsebessége maximális futósebességnél eléri a 1000-1200 fok/s szögsebességet. Az ezt követő térdnyújtás (lábszár előre csapódás) szögsebessége 1200-1500 fok/s, amit a repülőfázis második felében nulla sebességre fékeznek le a combhajlító izmok. Amennyiben a combhajlító izmok nem képesek ellazulni az ízület behajlását követően, akkor a nagysebességű térdnyújtás alatt a combhajlító megsérülhetnek.

A térdízület teljes behajlásának az az előnye a lendítés során az, hogy ezzel az alsó végtag tehetetlenségi nyomatéka ( $m \cdot r^2$ ) a lehető legkisebb lesz és ezért a csípőhajlítók ugyanazon erő kifejtése mellett nagyobb szögsebességgel mozgatják a lábszárat az erő-sebesség kapcsolatból kifolyólag.

**Bokaízület.** A kis sebességű futásra sarokkal történő talajfogás a jellemző és ezért a boka 10 fok körüli dorzálflexióban van. A sebesség növelésével a talajfogás a talpközép, majd a talp első harmada felé tolódik, ami azt igényli, hogy a bokaszög neutrális, majd plantárflexios (10-12 fok) szöghelyzetben legyen. Lassúfutásnál a talp lenyomódásával egy időben kezdődik a dorzálflexió (20-22 fok), ami azt jelenti, hogy az Achilles ín megnyújtása késlekedik. A támaszfázis 30-40 százalékánál kezdődik meg a bokaízület kinyújtása, amelynek mozgásterjedelme 40-50 fok. A maximális sebességű futásnál a dorzálflexió mértéke 13-15 fok és a lábra ható erő késlekedés nélkül megnyújtja az Achilles inat, amelyben a lehető legtöbb elasztikus energia tárolódhat. Szintén a támaszfázis 30-40 százalékánál kezdődik a boka kinyúlása, ami viszont csak 25-30 fokos. A lassúfutásnál a repülő fázis kétharmadáig a bokaízület 25-30 fokot hajlik, amit egy rövid plantárflexio követ. Nagysebességű futásnál 15-20 fokos dorzálflexio van a bokaízületben, amit a repülő fázis felénél plantárflexió vált hasonló mozgásterjedelemmel. A plantárflexió szögsebessége a nagysebességű futásnál 1300-1500 fok/s az elrugaszkodás végén.

Amint láthattuk a csípőízületben csak feszítés van a támaszfázis alatt, vagyis a csípőfeszítők, beleértve a kétízületű combhajlítókat is, koncentrikus kontrakcióval végzik a mechanikai munkát. Ezzel szemben térdfeszítő és bokafeszítő izmok excentrikus munkát végeznek. Meg kell jegyezni, hogy a térdfeszítők munkavégzése elenyésző nagysebességű futásnál. A sarokkal történő talajfogásnál a térdfeszítők mechanikai munkája 0,48-0,5 J/kg, közel maximális sebességű futásnál csak 0,1-0,15 J/kg. A bokaízületben a mechanikai munkavégzés excentrikus kontrakció során lassúfutásnál 0,3-0,35 J/kg, közel maximális sebességnél 0,45-0,5 J/kg.

Ezek a viszonyok jól mutatják, hogy a kis sebességű futásnál (pl. hosszútávfutás) a futók jelentősen több elasztikus energiát használnak fel összességében, mint vágtafutásnál. Elméletileg a rövid távok gyors lefutásához elegendő ATP áll rendelkezésre az izommunkához és nem szükséges elasztikus energiát használni. Ugyanakkor a kis ízületi hajlítás esetén, amit a rövid idejű támaszfázis követel meg, az izmok excentrikus munkája elengedhetetlen, amihez az Achilles ínban tárolt energia felhasználása szolgál.

### ***Kar- és láblendítés***

A lendítés a szabad (talajjal nem érintkező) végtagok mozgásának összhangban kell lenni a támaszláb ízületi elmozdulásaival. A lendítés gyorsuló szakaszában növeli a talajreakció erőt és a támaszláb izmainak feszülését, a lassuló szakaszban pedig csökkenti a terhelést a lábra. Éppen ezért a lendítés első szakaszának egybe kell esni a támasz fékező szakaszával, a második szakasznak pedig az elrugaszkodás szakaszával. Ebből következik, hogy a minél nagyobb a futás sebessége, annál nagyobb a lendítő végtagok szögsebessége.

A láblendítés célja a ciklikus mozgásból adódóan a lendülő láb talajra helyezésének előkészítése, valamint az előzőekben említett izomfeszülés növelése és majd terhelés csökkentése.

A karok ellentétes irányban mozognak (váltott karú lendítés). A támaszláb felőli oldalon előre, a lendítőláb oldalán hátrafelé mozognak a karok. A váltott karú lendítés elsődleges

feladata a láblendítésből fakadó forgások ellentételezése, csökkentése, továbbá a támasz lábba ható erők növelése, majd a teher csökkentése.

A futás sebességének növekedésével a ciklusidő csökken és ezért a lendítő végtagok mozgásának is egyre gyorsabbnak kell. A lendítést végző izmoknak bizonyos nagyságú erőt kell kifejteni a testrészt tehetetlenségi nyomatékának legyőzés érdekében, azaz a lehető legnagyobb sebességgel mozgatni. Az erő-sebesség összefüggésből adódóan minél kisebb a végtag tehetetlenségi nyomatéka, az izom annál nagyobb sebességgel tudja mozgatni a végtagot. Éppen ezért a nagysebességű futások elősegítésére a karok könyökízületét megközelítőleg 90 fokban hajlítják, a jóval nagyobb tömegű alsó végtag térdízületet pedig maximálisan behajlítják a futók.

### ***A futásban résztvevő fő izmok és működésük***

Az izommunkát tekintve elmondható, hogy lassúfutásnál a csípő, térd és bokafeszítők együttesen vesznek részt a futási sebesség létrehozásában és fenntartásában. A nagysebességű futásnál a repülőfázisban az alsó végtagot nagy szögsebességgel hátrafelé mozgató farizmok és szinergistái, a combhajítók, valamint a plantárflexorok játsszák a vezető szerepet a sebesség növeléshez.

A farizmok akkor aktiválódnak, amikor a csípőhajlítást lefékezik, majd megállítják és elkezdik a csípő feszítését (a combot hátrafele mozgatják) még a repülő fázis végén. Mindaddig aktívak maradnak, míg megkezdődik a csípőhajlítás (láblendítés) az elrugaszkodás végén. A combhajítók akkor válnak aktívvá, amikor a támaszláb a talajra ér, mert csak ebben az esetben válhatnak csípőfeszítővé. Az elrugaszkodás végén és a repülőfázis kezdetén még aktívak a térdhajlítás elindításakor, majd aktivitásuk megszűnik. Akkor válnak aktívvá ismét, amikor a térdhajlítást le kell fékezni és megállítani. A csípőközelítő izmok a lendítés elején aktívak a csípőhajlítók szinergistáiként. A repülő fázis végén, a talajfogás előkészítésekor mind a térdhajlítók, mind a térdfeszítők aktívak, amely a térdízület rögzítését eredményezi a talajfogásig. A térdfeszítők a legnagyobb aktivitást ebben a szakaszban mutatják. A plantárflexorok a maximális sebességű futásnál végig aktívak a támaszfázis alatt, amit a talpelejei talajfogás indokol. A repülőfázis kezdetén nem mutatnak aktivitást, majd ismét aktívvá válnak együtt a tibialis anterior izommal a talajfogást megelőző periódusban. A lassú futásnál a plantárflexorok csak a támaszfázis első kétharmadában aktívak.

Az izmok kontrakciójuk során forgatónyomatékot hoznak létre, amelyeknek nagyobbaknak kell lenni, mint a külső erők forgatónyomatékának. Az izmok (ínak) erőkarjának és a teher karjának aránya határozza meg, hogy az izom mekkora erőt fejthet ki, illetve milyen sebességgel rövidülhet. Minthogy mind a lassúfutásban, mind a sprintfutásban a plantárflexoroknak kitüntetett szerepe van, az Achilles ín erőkarjának hossza lényegesen befolyásolhatja a futás teljesítményét. Mivel az Achilles ín nagy erejű, gyors nyújtás éri a futás (főként a vágtafutás) támaszfázisa során, az tűnik előnyösnek, ha az ín erőkarja minél hosszabb, azaz a teher és az erő karjának aránya minél nagyobb. Ennek feltételezésnek az a magyarázata, hogy amennyiben az erőkarok aránya nagy, akkor az izomnak nagyobb erőt kell kifejteni, ami az Achilles ín nagyobb feszülését eredményezi, azaz nagyobb lesz a negatív munkavégzés, több elasztikus energia tárolódhat az ínban, amit rövid idő alatt vissza lehet nyerni. A kutatók azt találták, hogy mind a hosszútávfutók, mind a vágtafutók Achilles inának erőkarja (0,045-0,05m) jelentősen rövidebb, mint a nem versenyző sportolóké, illetve nem sportolóké (0,055-0,075 m).

Az izmok tollazottsági szöge és izomköteg hossza is befolyásolja az izmok mechanikai munkáját és teljesítményét. A vágtafutók gastrocnemius izmában a tollazottsági szög kisebb és az izomkötegek

hossza nagyobb, mint a hosszútávfutóké. Ennek előnye az, hogy a rövid idejű erő kifejtésnél az izom megközelítőleg nyugalmi hosszon tud erőt kifejteni, ami tovább növeli az elasztikus energiatarolás lehetőségét.

## **A talajra (testre) ható erők**

A talajfogás módja a támasz kezdetén alapvetően meghatározza a talajra gyakorolt erő időbeli változását. A függőleges talajreakció erő sarok támasz esetén egy gyorsan emelkedő impakt erőt képez az erő-idő görbén, amely a teljes talptámaszig kissé csökken, majd ismét emelkedik. A görbe a maximumát akkor éri el, amikor TKP a támaszláb elé kerül valamint a térd (lassú futás) és a boka ízület elkezd a kinyúlását. A csúcserőt megközelítőleg a támaszfázis 40 százalékánál lehet mérni, vagyis a fékező és a gyorsító szakasz váltásánál. Abban az esetben, amikor a talp elülső felével történik a talajfogás a futás sebességétől függetlenül, a függőleges erő-idő görbén nem található impakt erőcsúcs, a görbe sima és szimmetrikus. A görbe a sebesség növekedésével elveszti szimmetrikus jellegét. A talajfogás pillanatában meredeken növekszik a talajra gyakorolt erő és a támaszfázis első harmadában eléri a maximumát, majd kezdetben lassú, majd gyorsuló ütemben csökken az erő. A világ élvonalába tartozó futókra jellemző ez a görbe a hosszabb repülés és az erőteljesebb (agresszívabb) talajfogás miatt. A görbe ilyen alakulása egyben azt is jelenti, hogy a futás sebességének növelésével egyre közelebb fog talajt a támasz láb a TKP függőleges vetületéhez és ezért csökken a fékezési idő az előrehajtó erő idejéhez viszonyítva.

Az előre-hátra irányuló erő lassú futásnál a járásra jellemző szimmetrikus negatív-pozitív csúcsos erő-idő görbét mutat, amely a futás sebesség növelésével aszimmetrikussá válik. A fékezési erőcsúcs bár növekszik, de jelentősen kisebb mértékben, mint a gyorsítási erőcsúcs növekedése. A fékező és a gyorsító erő arány 0,2-0,5. A szubmaximális futásnál a függőleges csúcserő  $3x G$ , az előre-hátra irányuló erő  $1xG$  és az oldalirányú  $0,3xG$ . Maximális sebességű futásnál a függőleges/vízszintes erőcsúcsok aránya 3-ról 2,5-re csökkenhet. Meg kell jegyezni, hogy a talajreakció erő-idő görbék alakja egyéni jellegzetességeket is mutat és nemcsak a futás sebessége, de az életkor és a lábbeli is befolyásolja azt

Felmerül a kérdés, hogy a függőleges erő miért nagyobb, mint a vízszintes annak ellenére, hogy a futás célja a TKP vízszintes irányú mozgása. Mint korábban láttuk a maximális sebességű futásnál a elrugaszkodás szöge, azaz erő kifejtés iránya 30 fokos szöget zár be a függőlegessel. Ez azt jelenti, hogy az összes erő függőleges komponense nagyobb, mint a vízszintes komponens. Abban az esetben lenne azonos a két erő, ha az elrugaszkodás szöge 45 fok lenne. Az emberi test felépítéséből fakadóan felegyenesedett testhelyzetben nem lehetséges a 45 fokos erő kifejtési szög elérése. Abban az esetben, amikor a lehető leggyorsabban kell elérni a maximális futó sebességet, akkor a vágtafutók úgynevezett rajtgépet és térdelőrajtot alkalmaznak. Ekkor az elindulásakor az elrugaszkodás szöge megközelítőleg 45 fokos és a függőleges és vízszintes normalizált erő aránya egy is lehet. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy az abszolút erőcsúcsok aránya is egy lesz, hiszen a függőleges erőben a súlyerő is benne foglaltatik. Ezért kell súlyerőre normalizálni a talajreakció erőt. térdelő rajtnál az első lépések alatt a vízszintes erőnek nincs fékező értéke, csak előrehajtó erőt lehet regisztrálni. Minél jobban felegyenesedik a futó, annál nagyobb lesz a negatív (fékező) vízszintes talajreakció erő komponense, de jelentősen kisebb, mint az előrehajtó (pozitív) komponens.

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

A futás arra szolgál, hogy egyik helyről a másikra rövidebb idő alatt érjen az ember, mint járással. Az adott távot a célnak megfelelően rövidebb vagy gyorsabb idő alatt lehet megtenni, Ha egy távot a

lehető legrövidebb idő alatt akarjuk megtenni, akkor maximális sebességgel kell futni, amely megváltoztatja a kisebb sebességű futásnál felfedezhető tömegközéppontra és ízületekre vonatkoztatott kinematikai jegyeket. A futás gazdaságossága függ a végrehajtás módjától és a genetikai tulajdonságoktól (pl. Achilles ín hosszúság, erőkar izomköteg hosszúság). A lassú futásnál a talajfogás sarokkal történik, a térd és a bokaízület behajlik, majd kinyúlik, amely során jelentős elasztikus energia tárolódik az izmokban. A maximális sebességű futáshoz a talp elülső felén kell talajt fogni, ami jelentősebb energia felhalmozást jelent az Achilles ínban. Ugyanakkor a térd nem hajol tovább a talajfogás után, és ezzel részvétele a sebesség növelésben elenyésző. A futás során a talajra gyakorolt erő-idő görbék segítségével további információkat nyerhetünk a futás végrehajtására vonatkozólag, ami felhasználható a mozgásjavításban és az edzésben.

## **ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK**

Mi jellemzi a futást?

Miért gazdaságosabb a talp elülső részén talajt fogni?

A térdfeszítők milyen esetben végzik a legnagyobb excentrikus munkát?

A maximális sebességű futásnál melyik izmok végzik a csípőfeszítést?

Mekkora a plantárflexio sebessége az elrugaszkodás végén?

Milyen esetben tudnak csípőfeszítőként munkát végezni a combhajlító izmok?

Mikor lehetséges a legnagyobb sebességgel mozgatni a lendítő végtagokat?

Milyen az alakja a talajreakció erő-idő görbének, ha talajfogás sarokkal történik?

Miért nagyobb a függőleges talajreakció erő, mint a vízszintes?

## **Az ugrások biomechanikája**

### **BEVEZETÉS**

Ugrásnak nevezzük azt a mozgásformát, amelyben arra törekszik a végrehajtó, hogy a mozgás céljának megfelelően a talajra a legnagyobb erőt kifejtve elszakadjon a talajtól és a levegőben hosszabb-rövidebb ideig tartózkodjon.

Az ugrás is az ember természetes mozgásai közé tartozik, hiszen ha egy magasan lévő tárgyat állásban nem tudunk elérni, felugrunk helyből, páros lábbal, egy lábbal, lendületszerzéssel. Átugorjuk az utunkba eső árkot, tárgyat, fel vagy leugrunk egy magasabb helyre, illetve helyről. A sportágakban alkalmazott ugrások ezeknek a természetes mozgásoknak célirányos felhasználása. A sportágak többségében az ugrás eszközként szolgál a sportági eredményesség érdekében. Az atlétikai ugrószámokban az ugrás eszköz és cél is egyben, hiszen az ugrók célja az, hogy a lehető legmagasabbra helyezett lécen átjussanak annak leverése nélkül (magasugrás, rúdugrás) vagy a legtávolabbra ugorjanak a felugrási helytől (távolugrás, hármasugrás). Ezeknél az ugrásoknál a lehető leghosszabb időt kell tartózkodni a levegőben és a TKP-ot olyan röppályára kell juttatni, amely az ugrás végső célját szolgálja. Tornában a szaltók esetében a tornász azért akar minél több időt a levegőben tartózkodni, hogy minél többet tudjon forogni a test tengelyei körül. Más sportágakban, kitüntetetten a labdajátékok többségében a pillanatnyi körülmény határozza meg, hogy milyen módon hajtják végre az ugrást. Míg az egyéni sportágakban viszonylag zavartalanul lehet koncentrálni az ugrás végrehajtására és céljára, addig a labdajátékokban több zavaró tényező is befolyásolja az ugrás megvalósítását (pl. a dobás, rúgás sikeres végrehajtása, az ellenfél, mint akadályozó szereplő, a kapus s a célterület nagysága, szabad területe).

Az ugrások végrehajtási formái különböző képen csoportosíthatók, osztályozhatók. Egyik lehetőség, hogy két fő csoportot alkotunk: 1. a lendületszerzéssel, 2. a lendületszerzés nélkül végzett ugrások. A lendület az ugrások esetében azokat a mozgásokat jelenti, amely révén az ugrásban részt vevő izmok előfeszülése megnövekszik. A legegyszerűbb lendületszerzés a szabad végtagok (kar, karok, egyik láb) lendítő mozgása, amikor a lendítés gyorsuló szakaszában növeli a talajra ható erőt és ezzel azonos mértékben, a testre ható reakció erőt. Következésképpen a támaszkodó láb antigravitációs (feszítő) izmainak a feszülése megnövekszik.

A lendületszerzés egyik másik formája, amikor az ízületek kinyúlása előtt az ízületeket behajlítja az ugró a gravitációnak engedelmessé. Ezáltal az alsó végtag feszítő izmainak az előfeszülése megnövekszik. Ilyen például a helyből függőleges felugrás, amikor nyújtott állásból indul az ugrás az ízületek behajlításával. Lendület nélküli az a függőleges felugrás, amikor az ugró guggoló helyzetet foglal el és pár mp várakozás után nyújtja ki az ízületeit felugrás céljából.

A lendületszerzés harmadik formája, amikor leugrunk egy bizonyos magasságról. Ebben az esetben a gravitációs gyorsulással közeledik a talajhoz a test, amelynek következtében a behajló ízületek feszítő izmainak a feszülése megnövekszik az ízületek behajlásának megállítása alatt.

A lendületszerzés negyedik formája, amikor a súlypontnak van vízszintes sebessége, vagyis az ugrást futás előzi meg, amit nekifutásnak, vagy lendületszerzésnek neveznek. Amennyiben az ugró láb (lábak) a TKP előtt helyezkednek el az ugrás kezdetén, akkor a test ütközik a talajjal az alsó végtagon keresztül, az ízületek behajolnak és az izmok feszülése megnövekszik.

Általában a természetes mozgások során csaknem mind a négy lendületszerzési forma segíti az ugrásban részt vevő izmok feszülésének növekedését. Összefoglalva, a lendületszerzés a test és az izmok energiataralmának megnövelését szolgálja, annak érdekében, hogy az ízületek kinyúlása során az izmok nagyobb munkát tudjanak végezni, azaz magasabbra, távolabbra tudjanak ugrani.

### ***Az ugrások biomechanikai jellemzői.***

**Helyből páros lábas felugrás.** A legegyszerűbb ugrás a helyből páros lábról történő felugrás, amelyet az alsó végtagi feszítő izmok együttes robbanékonyerő szintjének meghatározására használnak. Ezt a felugrást kétféle módon végeztetik el: 1. guggoló helyzetből (csípő-, térd- és bokaízület különböző mértékű behajlítottasága), amelyet squat jumpnak nevez az angol szaknyelv (SJ-vel jelölik); 2. állásból gyors ízületi hajlítással, majd nyújtással végrehajtott felugrás, amelyet counter movement jump kifejezéssel illet az angol nyelv, rövidítve CMJ. A különbség a két végrehajtás között az, hogy SJ-nél az izmok koncentrikus kontrakcióval végeznek munkát (pozitív munkavégzés), a CMJ-nél az izmok pozitív munkavégzését megelőzi az izmok megnyújtása, vagyis a negatív munka, amely során elasztikus energia tárolódik az izmokban, ami megnövelheti a pozitív munka nagyságát, azaz nagyobb felugrási magasságot tesz lehetővé. Ezt az összetett kontrakció típusát nevezik nyújtásos (stretch)-rövidüléssel (shorten) ciklusnak (SSC). A felugrás magassága közötti különbség jelzi az elasztikus energia felhasználásának mértékét. Minél nagyobb a különbség, annál több elasztikus energia került felhasználásra a CMJ során.

Az emelkedés nagyságát meg lehet mérni, de amennyiben van olyan eszközünk, amely méri a végrehajtási és a levegőben tartózkodási időt, akkor a TKP függőleges útja kiszámolható az alábbi képlet segítségével

$$h_{\max} - h_0 = t_0 \cdot g \cdot 8^{-1}$$



ahol  $h_{\max}$  a TKP legmagasabb pontja a röppályán,  $h_0$  a TKP magassága a felugrás végén,  $t_0$  a levegőben tartózkodás időtartama,  $g$  a nehézségi gyorsulás.

A levegőben tartózkodási és végrehajtási (felugrási) idő ismeretében kiszámítható a talajreakció erőt létrehozó izmok reaktív vagy robbanékonyereje. Minél rövidebb a végrehajtási idő és minél hosszabb a levegőben tartózkodási idő, annál nagyobb lesz a két idő hányadosa, vagyis az izmok robbanékonyereje.

Amennyiben a felugrások erőplaton kerülnek végrehajtásra, akkor az SJ és CMJ ugrások erő-idő görbéje jellegzetesen különbözik egymástól. SJ-nél guggoló helyzetben a test súlyerejét mérjük. Amikor az ízületek kinyújtása megkezdődik, akkor az erő meredeken emelkedik elérve csúcspontját, majd csökken a talajtól történő elszakadás pillanatáig. Amit mérünk az a test tömegének gyorsulása minden időpillanatban ( $F=m \cdot a$ ). Következésképpen a gyorsulás-idő görbe alakja azonos az erő-idő görbéjével. Kezdetben a gyorsulás növekszik, majd a TKP sebességnövekedésének mértéke csökken, azaz kisebb lesz a gyorsulás az ízületek kinyújtásának vége felé, noha a függőleges sebesség tovább növekszik.

CMJ-él az ugró álló helyzetből indítja az ugrást az ízületek gyors behajlításával. Álló helyzetben a test súlyerejét mérjük. Az ízületek behajlításával a TKP lefelé mozog, a nehézségi gyorsulással azonos irányban. Ebben a szakaszban a talajra ható erő csökken. Ha a feszítő izmok nem fejtenének ki ellenállást az ízületeket behajlítani akaró erővel (nehézségi erő,  $m \cdot g$ ), akkor a TKP  $g$  gyorsulással haladna lefelé és nem lehetne talajreakció erőt mérni. Aki jól hajtja végre az ugrásnak ezt a szakaszát, annál az erő nullára esik vissza. Az ízületek gyors behajlását követi a TKP lefelé irányuló mozgásának lassítása (negatív gyorsulás). A TKP lefele mozgásának megállításának pillanatában mérhető a legnagyobb gyorsulás, ami a legnagyobb talajreakció erőt eredményezi. A TKP mozgásának megállítása az ízületek feszítő izmainak feszülés növekedése által valósul meg, ami az ízületek behajlásának végét eredményezi. Az izmok feszülése (erőkifejtése) két módon növekszik meg: 1. az izom aktív komponensének aktivációs szintje megnövekszik (több miozin kereszthíd fejt ki erőt); 2. az izom passzív elasztikus elemi megnyúlnak, miközben ellenállásuk a megnyújtó erővel szemben növekszik. Az ízületi hajlításnak csak a második szakaszában végeznek excentrikus munkát az izmok. Ezt követően az izmok megnövekedett energiával megkezdik az ízületek kinyújtását, és ezáltal ellentétes irányba, növekvő sebességgel mozgatják a TKP-t. Mivel a koncentrikus kontrakció alatt az izmok kisebb TKP gyorsulást képesek elérni, mint az excentrikus kontrakció során a fékezési szakaszban, a talajreakció erő kezdetben lassan, majd egyre nagyobb mértékben csökken, noha a sebesség nő a felugrás végéig.

Az erő-idő görbék segítségével kiszámítható a felugrás magassága mindkét ugrásnál. Az ízületek kinyújtása alatti erő-idő görbe alatti terület az izmok által kifejtett impulzust fejezi ki, amely felhasználásával az alábbi képlet segítségével a TKP függőleges útja kiszámítható

$$h = I^2 \cdot (2 \cdot m^2 \cdot G)^{-1}$$

ahol a  $h$  a TKP függőleges útja,  $I$  az impulzus,  $m$  a tömeg,  $G$  a súlyerő. CMJ-nél az ízületek kinyújtása alatt számított impulzus nagyobb, mint az SJ-nél. Következésképpen CMJ-vel magasabbra lehet ugrani.

A TKP függőleges útját, azaz a felugrási magasságot, valamint az SJ és CMJ során elért felugrás magasság különbségét, arányát jelentős mértékbe befolyásolja az ízületek behajlításának mértéke, más szavakkal a TKP gyorsítására rendelkezésre álló út. Jól edzett sportolók TKP emelkedése nagy amplitúdójú ízületi hajlításnál (80-90 fokos térdízületi hajlítás) SJ ugrásnál 34-39 cm. CMJ-nél az ugrás magassága 15-20 százalékkal (5-6 cm-el) nagyobb. Ez a különbség az izmok nagyobb energia

felhasználásnak tulajdonítható. Amennyiben az ízületi hajlás, a hajlítás mértéke kicsi (40-45 fok), akkor a két ugrásfajta eredménye között sokkal nagyobb a különbség: SJ 20-22 cm, CMJ 34-36 cm, a különbség 12-14 cm, 40%. Ezek az adatok jól mutatják, hogy amennyiben az izmoknak nincs vagy nagyon kicsi az előfeszülés hosszabb gyorsítási útra van szükség a TKP függőleges emeléséhez. A rövidebb gyorsítási utat kompenzálni lehet az izmok nyújtás általi feszülésének növelésével. A kis amplitúdójú CMJ és a nagy amplitúdójú SJ közötti különbség csak 4,5 cm.

A páros lábas helyből felugrások mindkét fajtáját karlendítés nélkül hajtják végre, amikor a felugrásban résztvevő izmok mechanikai tulajdonságait tesztelik a felugrási magasság, a felugrási idő, a talajreakció erő-idő görbék paramétereinek megállapítása által.

**A karlendítés hatása az SJ és CMJ változóra.** Egyenes testtartással állva az erőplaton és a hátra emelt karokat (a felkar 45 fokos szöget bezárva a vízszintessel) előre lendítjük a lehető legnagyobb szögsebességgel, majd a lehető legrövidebb idő alatt megállítjuk miután elhaladt a test mellett, jellegzetes talajreakció erő-idő görbét regisztrálhatunk. A gyorsuló szakaszban az erő növekszik a talajra a törzs, a comb, a lábszár és a láb közvetítésével. Minél nagyobb a gyorsulás, annál nagyobb lesz az erőhatás a talajra, ami elérheti a test súlyerejének több mint dupláját. Ez az erőhatás növeli az ugrások során az alsó végtagi ízületek feszülését és elasztikus energia tartalmát. Következésképpen az izmok feszülése a TKP lefele mozgásának megállítása és a gyorsuló karok erőhatásaként növekszik.

A karlendítés lassuló szakaszában éppen ellentétes az erőhatás a talajra. Minél rövidebb idő alatt állítjuk meg a karok mozgását, annál nagyobb mértékben csökken a talajra ható erő. Kivitelezhető, hogy a karok akkora negatív gyorsulást érjenek el, hogy a platon állva is nulla lesz a mért talajreakció erő. Ez azt jelenti, hogy a csípő-, térd- és bokafeszítő izmoknak a súlyerőnél kisebb terhet kell gyorsítaniuk az ízületek kinyújtásakor, vagyis a TKP függőleges sebessége nagyobb lehet. Ez olyan érzést kelt az ugróban, mintha a karjai emelnék el a talajról. A váltott karos lendítésnek hasonló nagyságú terhelést növelő és csökkentő hatása van a talajra.

A karlendítés terhelés növelő és csökkentő hatását szinkronizálni kell az alsó végtagi ízületek behajlásával és kinyújtásával. A karok maximális szöggyorsulását akkor kell elérni, amikor az ízületek behajlását lassítani kezdi az ugró. A karok negatív szöggyorsulásának maximumát akkor célszerű elérni, amikor az ízületek megkezdik a kinyúlásukat.

A karlendítés jelentősen növeli a felugrási magasságot mind SJ, mind CMJ során. A hatékonyan kivitelezett karlendítés SJ esetében 10-12 cm-el, CMJ-nél 8-10 cm-el növeli meg az ugrásmagasságot, amely az izmok nagyobb feszüléséből és energiatartalmából származik. A függőleges lendület (ízületi hajlítás) és a karlendítés okozta izom előfeszülés növekedést egy indexszám (I) fejez ki, amelyet az alábbi módon lehet kiszámolni a CMJ és SJ összehasonlításában:

$$I = [(CMJ - SJ) \cdot SJ^{-1}] \cdot 100$$

Hasonló módon lehet kifejezni a lendítés izom előfeszülést növelő hatását százalékban. Úgy tűnik, hogy a karlendítés SJ során nagyobb TKP függőleges emelkedést eredményez (27%), mint a függőleges lendület (ízületi hajlítással végrehajtott ugrás) alkalmazása (16%).

A láblendítésre ugyanazok a jellemzők érvényesek, mint a karlendítésre, azzal a különbséggel, hogy az alsó végtag tömege nagyobb és a testrész tömegközéppontjának helye távolabb van a forgásponttól és ezért nagyobb a tehetetlenségi nyomatéka. Ha a szabad alsó végtagot azonos negatív és pozitív gyorsulással lehetne mozgatni, mint a karokat, akkor izomfeszülést növelő és terhelést csökkentő hatása nagyobb lenne, mint a karoké.

**A függőleges lendület növelésének hatása a felugrási magasságra** (az ugrást mélybeugrásnak nevezzük). Ha egy magas (pl. 0,40 m) helyen (pl. zsámolyon) áll az ugró, akkor a TKP helyzeti energiája ( $m \cdot g \cdot h$ ) nagyobb, mint a talajon állva. Erről a helyről leugorva (a TKP szabadeséssel közelít a talajhoz), a TKP helyzeti energiája csökken, mozgási energiája ( $m \cdot v^2 \cdot 2^{-1}$ ) ugyanolyan mértékben növekszik. A talajra érve a TKP összes energiája, amivel munkát fog végezni az izmokon, ízületeken a mozgási energiával nagyobb, mint amikor talajon állásból kezdi hajlítani ízületeit az ugró. Ugyanolyan nagyságú ízületi hajlítás esetén az izmok előfeszülése, elasztikus energiája nagyobb lesz a mélybeugrást alkalmazva, mint leugrás nélkül. Amennyiben az ízületek behajlását késlekedés nélkül követi az ízületek kinyújtása, a mélybeugrással végrehajtott páros lábás felugrás során a TKP emelkedése nagyobb lesz. Ez az állítás azonban csak akkor lesz igaz, ha az ízületi hajlítás mértéke viszonylag kicsi (40-45 fok). Ha a feladat az, hogy a talajra érve az ízületek olyan mértékben hajoljanak be, mint a nagy mozgásterjedelmű CMJ-nél (80-90 fok), akkor a felugrás magassága megközelítőleg azonos lesz, mint a CMJ-nél. Ennek az az oka, hogy a talajfogás pillanatában az izmok előfeszített állapotban vannak és az ütközés következtében az izmokat gyors, erőteljes nyújtás éri, amely kiváltja a nyújtási reflex. Ennek köszönhetően az izmok feszülése jelentős mértékben megnövekszik. Az izmok erő kifejtése akkora lesz, hogy az ízületek behajlását hamarabb is megállíthatnák. Mivel a feladat az, hogy az ízületek nagyobb mértékben hajoljanak be, az izmok feszülését csökkenteni kell. Ez a feszülés csökkenés a leugrás következtében megnövekedett elasztikus energia elvesztését jelenti a hasznos munkavégzés tekintetében. Ha az ízületek behajlásának megállítása a lehető legkisebb szögelfordulással (40-45 fok) következik be és ugyanezzel a szögtartománnyal kerül elvégzésre az SJ és CMJ ugrás, akkor a mélybeugrással végrehajtott felugrás jelentősen nagyobb lesz. Az SJ-hez és CMJ-hez viszonyítva TKP emelkedése 6-7 cm-el, illetve 20-21 cm-esz nagyobb, ami 20-21 %-os, illetve 100 %-os különbséget jelent. Megjegyzendő, hogy a szökdelések is függőleges lendületszerzésnek tekinthetők.

**Vízszintes lendülettel végrehajtott ugrások.** A vízszintes lendület néhány lépéssel, vagy több futólépéssel szerzett vízszintes sebességet jelent. A vízszintes sebesség arra szolgál, hogy az ugráshoz akkora mozgási energiát nyerjen az ugró, amely lehetővé teszi a felugrásban részt vevő izmok feszülésének megnövelését, elasztikus energiával történő feltöltését, amivel a TKP vízszintes irányú mozgáspályáját meg lehet változtatni, illetve a TKP-ot a célnak megfelelő röppályára lehet juttatni. Általában az egy lábról történő el- és felugrásoknál használjuk a vízszintes lendületszerzést (rálépést, nekifutást, stb.), de az ugrás történhet páros lábról is (pl. röplabda). A TKP vízszintes irányú útját úgy lehet emelkedő pályára juttatni, ha a támaszlábat (ugrólábat) a TKP függőleges vetülete elé helyezzük a talajra, amit kitámasztásnak nevezünk. Minél nagyobb a vízszintes sebesség és minél nagyobb mértékben akarjuk emelkedő pályára juttatni a TKP-t, annál messzebbre kell a lábat a talajra helyezni és erőt kifejteni a test tehetetlensége miatt bekövetkező előre billenés megakadályozására. Ez utóbbi úgy érhető el, hogy az ízületek közel neutrális szöghelyzetben vannak és az izmok előfeszülése nagy, továbbá az ízületek behajolnak. A vízszintes lendülettel végrehajtott ugrásoknál a test hátradöntött helyzete miatt a kitámasztásban először a sarok ér le a talajra, amelyet a gyors teljes talpra nyomódás követ. Ez lehetővé teszi a vízszintes sebesség fékezésének megkezdését az ízületek behajlása révén és az izmok, inak megnyúlása (excentrikus kontrakció) és feszülésének növekedés révén.

A legnagyobb a TKP emelkedő pályára juttatása a felugrás alatt azoknál az ugrásoknál, ahol a TKP-t a lehető legmagasabbra kell juttatni a talajtól történő elszakadás után (magasugrás, kosárlabdában zsákolás, kézilabdában felugrásos átlövés, stb.). Ezeknél az ugrásoknál a vízszintes sebességtől is függően a kitámasztás szöge a legnagyobb. Kitámasztási szögnek nevezzük az ugróláb sarokpontját és a TKP-ot összekötő egyenes és a talaj által frontális irányban bezárt szöget. Ettől eltérően a két egyenes hátrányú szögét is meg szokták adni. Férfi magasugrók nekifutási végsebessége 7,5-8,0 m/s,

amelyhez 130-135 fokos kitámasztási szög járul. Ahol az a cél, hogy a TKP, illetve az ugró bizonyos végtagja (pl. lábak, karok) minél távolabbra jusson a repülés során a TKP lendületszerzés végi vízszintes sebessége 9,5-10,5 m/s. Mivel az optimális kirepülési szöghöz (20-25 fok) a TKP emelkedésének kis mérvűnek kell lenni, a kitámasztás szöge is kisebb (110-120 fok).

Hármasugrásnál, ahol minél több vízszintes sebességet kell megőrizni a harmadik ugrásig, a kitámasztási szög 5-10 fokkal kisebb (105-115 fok), mint távolugrásnál. A fékező szakasz végén is meghatározhatók a támaszszögek. Magasba ugrásnál a támaszszög 110-115 fok, távolba ugrásoknál 80-85 fok, vagyis a TKP már a támasz láb elülső harmada felett van. Egy másik lényeges különbség, hogy magasba ugrásoknál a lábszár megközelítőleg derékszöveget zár be a vízszintessel, míg a távolba ugrásoknál a dorzálflexió nagyobb és a lábszár 75-80 fokot zár be a talajjal. Magasba ugrásoknál az elrugaszkodás (a végső erő kifejtés iránya) merőleges a talajra, távolba ugrásoknál ez a szög 70-80 fok. Az elrugaszkodás szögét nem szabad összetéveszteni a TKP kirepülési szögével. Az utóbbit TKP elrugaszkodás végén mért vízszintes és függőleges sebességből számolható:

$$\operatorname{tg}\alpha = v_v/v_h$$

Ahol  $v_v$  a függőleges,  $v_h$  a vízszintes sebesség

A legkiválóbb magasugrók a TKP-jának függőleges sebessége 4,5-4,7 m/s, a vízszintes sebesség 4,0-4,4 m/s, vagyis a kirepülési szög 45-50 fok. A legkiválóbb távolugrók függőleges sebessége 3,5-4,2 m/s, a vízszintes 9,0-9,5 m/s. Ebből következik, hogy a kirepülés sebesség 20-25 fok. Talán meglepő, hogy a magasugrásnál a kirepülési szög ilyen kicsi. Ez azonban érthetővé válik, ha figyelembe vesszük, hogy a súlypontnak vízszintes irányban 4-5 m kell repülni ahhoz, hogy a léce kikerülje az ugró testrészeivel. Megjegyzendő, hogy a TKP egy méteres emelkedéséhez 4,42 m/s-os függőleges sebességre van szükség.

Természetesen, ha sportági cél megkívánja, hogy a felugrás végén ne maradjon vízszintes sebesség (pl. röplabda leütés vagy sáncolás), lehetséges a vízszintes sebesség nullára csökkentése. Ebben az esetben, ha nekifutás végsebessége 8 m/s, akkor a kitámasztás szögének jelentős mértékben meg kell nőni és a talajra ható erők olyan nagyok lesznek, amelyek már az alsó végtagi izmok, inak biztonsági faktorát meghaladják. Kisebb vízszintes sebességnél (3,0-5,0 m/s) nem okoz gondot a sebesség nullára redukálása.

**Talajreakció erők.** A függőleges lendület használásával végzett függőleges felugrások során csaknem kizárólag függőleges talajreakció erők mérhetők. Vízszintes (vízszintes-függőleges) lendülettel végrehajtott ugrások esetében a vízszintes (előre-hátra irányuló) talajreakció erő is mérhető, hiszen a TKP vízszintes sebességének lefékezés, a negatív gyorsulás az  $F=ma$  értelmében erőhatást jelent a talajra mind vízszintes, mind függőleges irányban. Egy lábról történő ugrás esetén oldalirányú erők is keletkeznek. A talajfogás módja is befolyásolja az erő-idő görbék alakját, változását. Mint korábban olvashatták, a kitámasztás zömében sarok-talaj kontaktussal kezdődik. Ez egy merev ütközés, amely jelentős nagyságú impakt erőt hoz létre. Magasba és távolba ugrásoknál a függőleges talajreakció erő a támaszba érkezéskor meredeken emelkedik mindaddig, míg a talp nem nyomódik a talajra. Ezt követően az erő meredek csökken, ami az ízületek behajlásának köszönhető, majd ismét nő elérve ismét egy csúcsot, amit aktív erőcsúcsnak nevezünk. Ez a második csúcs a fékező és a gyorsító szakasz határán van. A TKP függőleges sebességének növekedésével, de a gyorsulás csökkenése miatt az erő fokozatosan csökken, majd a talaj elhagyásának pillanatában nulla lesz. Az impakt erő nagysága magasugrásnál 8 m/s nekifutási sebességnél, és távolugrásnál 10 m/s-os sebességnél elérheti a 8-9 kN értéket, ami súlyerőre normalizálva 9-10-szeres súlyerő. Az aktív erőcsúcs 5,0-5,5 kN, ami 6,5-7,0-szeres súlyerőnyit. A vízszintes erő a fékezés alatt előre mutat, és magasba ugrásnál elérheti a 4,0-4,5

kN a sarok talajra érésekor, ami 5,5-6,0-szors súlyerőt jelent. Az aktív, vízszintes erőcsúcs 2,0-2,5 kN, 3,0-3,5-szörös súlyerő. Mivel a TKP vízszintes sebessége, ami a lendületszerzésből származik, elegendő vízszintes irányú repülést tesz lehetővé, az izmok erőkifejtése nem eredményez hátra irányuló erőt, azaz nem fokozza a TKP vízszintes sebességét. Távolugrásnál azt várhatnánk, hogy a fékezés alatti előre irányuló vízszintes erő kisebb, mint a hátra irányuló a gyorsító szakasz alatti. Kiváló távolugróknál azonban azt találták, hogy a gyorsító szakasz alatt az előre hajtó erő 4-5-ször kisebb, mint a fékező erő. Ezekből az adatokból az a következtetés vonható le, hogy távolba ugrásoknál az ugróláb izmainak az erőkifejtése a TKP függőleges pályára juttatására és függőleges sebesség generálásra szolgál úgy, hogy a lehető legtöbb vízszintes sebességet őrizzen meg az ugró az elrugaszkodás végéig.

### ***Izomműködés a felugrások során.***

Az ugrások végrehajtásakor mindhárom ízület (csípő, térd, boka) hajlított helyzetben van, vagy behajlik a lendület nélküli és lendülettel kivitelezett ugrások során. Mindhárom ízület feszítő izmai munkát végeznek, de különböző arányban az izmok nyújtása és rövidülése alatt. Páros lábbal végrehajtott felugrásoknál mind az SJ, mind a CMJ alatt először csípőfeszítők, majd a térdfeszítők és végül bokafeszítők kezdik meg rövidülésüket, azaz mechanikai munkavégzésüket. Ez a sorrendiség annak tudható be, hogy amikor a csípő ízület elkezd a kinyúlást, a csípőizület feletti testtömeg nagy gyorsulással mozog felfelé, ami nagy talajreakció erőt indukál a térd és boka ízületen keresztül, vagyis terheli a térdfeszítő izmokat, megnehezítve azok koncentrikus munkavégzését. A kezdeti nagy gyorsulás után a csípőizület szöggyorsulása csökken és ezzel együtt terhelése is az alatta lévő ízületekre, izmokra. Ezzel egy időben kezdi meg a térdizület a kinyúlását nagy gyorsulással terhelve a bokaizületet és a bokafeszítő izmokat. Amikor a térdizület szöggyorsulás csökken, akkor kezdhetik meg munkájukat a bokafeszítő izmok nagy hatékonysággal. Egy esetben nem követi az izomtevékenység ezt a sorrendet, mégpedig a kis mozgásterjedelemmel végrehajtott SJ során. Mivel ebben a guggoló helyzetben a törzs függőleges, a csípő kinyújtása a TKP-ot hátrányba mozdítaná. A térdizület egy idejű kinyúlása kompenzálhatná TKP ilyen irányú mozgását, de olyan kevés út, kis ízületi mozgásterjedelem áll a rendelkezésre, hogy mire a térd kinyúlna, a test elszakadna a talajtól, anélkül, hogy a bokafeszítők munkát tudnának végezni. Úgy tűnik, hogy a bokafeszítők elsődleges használata nagyobb felugrási magasságot eredményez, mint az eredeti bekapcsolódási sorrend. Mint ahogy korábban láttuk ennél az ugrásnál a legkisebb a függőleges emelkedés, ami a fenti gátolt körülményeknek tulajdoníthatók.

A vízszintes lendülettel végrehajtott magasba és távolba ugrások során is hasonló az izmok bekapcsolódási sorrendje a munkavégzésbe.

Mélybeugrások, de feltételezhetően a szökdelések során is a talajfogás módja befolyásolja az egyes izmok részvételi hányadát a mechanikai munkavégzésben, illetve részesedésüket a mechanikai teljesítményben. A mélybeugrások háromféle talajfogással hajthatók végre: 1. előrefelé ugorva talajfogás sarokkal (ES); 2. ugrás előre, talajfogás a talp elülső részén (ET); 3. ugrás hátrafelé, érkezés a talp elülső részén (HT). Amennyiben a mélybeugrást a legnagyobb intenzitással hajtják végre a személyek, akkor az izmok százalékos részvétele a munkavégzésben a következőképpen alakul az excentrikus és koncentrikus izomkontrakciók alatt:

1. Exc: csípő 35%; térd 56%; boka 9%; Conc: csípő 21%, térd 42%; boka 37%
2. Exc: csípő 12%; térd 42%; boka 46%; Conc: csípő 13%, térd 40%; boka 47%
3. Exc: csípő 20%; térd 23%; boka 47%; Conc: csípő 16%, térd 29%; boka 55%

Összefoglalva az ES a térdfeszítők munkavégzésének, az ET a térd és bokafeszítők munkavégzésének, a HT a bokafeszítők munkavégzésének kedvez. A mélybeugrás, mint robbanékonyerőt fejlesztő gyakorlat a talajfogás szerint tervezhető, amikor az egyes izomcsoportok specifikus fejlesztése szükséges.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ugrások célja, hogy az elrugaszkodás által a TKP minél több időt töltsön a levegőben és ezáltal minél magasabbra vagy minél távolabbra jusson. Az ugrások végrehajthatók páros lábbal, egy lábbal lendületszerzés nélkül és lendületszerzéssel, kar, kar és láblendítéssel és a nélkül. Az elrugaszkodás irányát tekintve magasba és távolba ugrásokat különböztetünk meg. Az egyes sportágakban alkalmazott ugrásfajtáknak vannak közös jellemzői és specifikumaik. Az ugrások során három fő izomcsoport kontrakciója biztosítja a TKP repülésének távolságát és magasságát. A kinetikus energiát az ugrásokhoz a TKP felugrás előtti függőleges és vízszintes sebessége, valamint a talajjal ütközés következtében megnyúló és megnövekedett feszültségi izmok adják. Az ugrás kontaktfázisának van egy fékező (excentrikus) és egy gyorsító vagy propulzív (koncentrikus) szakasza. Minél több energia halmozódik fel az izomban a fékezési szakaszban, annál nagyobb lehet az izmok munkavégzése az izomrövidülése során. A kar és láblendítés gyorsuló szakasza növeli az erőt a talajra és az izmokra a kontakt fázis fékező szakaszában. A lendítő végtagok negatív gyorsulása (a végtagok mozgásának megállítása) csökken a talajra és az izmokra ható erő.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Milyen célt szolgál a lendületszerzés az ugrásoknál?

Mit fejez ki az SJ és CMJ ugrások TKP függőleges útjának különbsége?

Hogyan számítjuk ki a TKP emelkedési útját a levegőben tartózkodási (repülési) időből?

Miért eshet vissza nullára a talajreakció erő CMJ-nél ?

Melyik páros lábas helyből felugrásnál lehet a legkisebb TKP emelkedést elérni?

Miben különböznek az SJ és CMJ talajreakció erő-idő görbék?

Mit jelent a lendítő végtagok mozgásának szinkronizálása az ugró láb ízületeiben létrejövő mozgásokkal?

Miért képes nagyobb felugrásra az ugró a kis ízületi hajlítással végrehajtott mélybeugrással, mint CMJ-vel?

Mit szolgál a vízszintes lendület (sebesség) az ugrásoknál?

Mekkora az impakt csúcs a talajreakció erő-idő görbén vízszintes lendületszerzéssel végrehajtott egy lábas ugrásoknál?

## *Úszás biomechanikája*

## BEVEZETÉS

Az úszás biomechanikai elemzése számos problémát rejt magában. Egyrészt a mozgókép alapú mozgáselemzés problematikus a víz alatt, nem lehetetlen, de igen nehéz víz alatti EMG elektródák elhelyezése, illetve a folyadékközeg áramlásának fizikai törvényszerűségei igen összetett, gyakran

egzaktul nem is megoldható matematikai egyenletekhez vezetnek. Ezért –ellentétben például a súlylökéssel, ahol pontosan meg lehet határozni, hogy milyen szögben kell kidobni a súlyt- nem lehetséges egzaktul meghatározni egy úszónak, hogy pontosan hogyan, milyen technikával kell úszni. Mindazonáltal egyes alapelvek ismertek, ezek figyelembevételével komoly fejlődés érhető el az úszási sebességben.

## ***Az úszóra ható erőhatások***

Az úszóra ható erők meghatározása a vízben a folyamatosan változó erőhatás irányok, nyomásviszonyok miatt igen komplex feladat. Az egyszerűség kedvéért az elemzésekben a legalapvetőbb vízszintes és függőleges erőhatásokat szokták vizsgálni.

Vízszintes irányú erőhatások: Az úszóra úgynevezett propulzív és rezisztív erőhatások hatnak. A propulzív erőhatások felelősek a minél nagyobb vízszintes haladási sebességért, a rezisztív erők pedig folyamatosan akadályozzák a haladást. A sportoló célja, hogy a propulzív erők a lehető legnagyobbak legyenek, miközben a rezisztív erők a lehető legkisebbek.

A propulzív erők a kar és lábtempóktól származnak. Rövidebb távú úszószámokban a kartempók mellett a lábtempók is jelentős mértékben hozzájárulnak a propulzív erőhatásokhoz, hosszabb távú úszószámoknál ellenben a propulzív erők dominánsan a karok mozgásából származnak. Ennek az az oka, hogy a lábtempók létrehozásához jelentős mennyiségű energia szükséges, miközben a lábtempó lényegesen kisebb mértékben járul hozzá a propulziós erőhatásokhoz, mint a kartempók. Hosszabb távú számoknál egyszerűen nem gazdaságos az intenzív lábtempó fenntartása. A propulzív erőhatások szempontjából nem mindegy, hogy az úszó hogyan tartja a tenyerét. A legújabb kutatások bebizonyították, hogy amennyiben az úszó a tenyerét nemcsak hátrafelé, hanem oldalirányba is mozgatja miközben a tenyerét egy adott szögben tartja a haladási irányhoz viszonyítva, akkor a tenyerén - egy repülőgép szárnyán kialakuló erőhöz hasonlóan – vízszintes irányú erő jön létre. Ez az erő jelentős mértékben megnövelheti az eredő propulziós erőt.

Rezisztív erőhatásoknak négy típusát szoktuk megkülönböztetni: a közegellenállási erőt, a súrlódási erőt, a hullámellenállást és a nyomásellenállást.

A legjelentősebb erőhatás a **közegellenállási erő** ( $F_k$ ). Ez abból adódik, hogy az úszó az adott közegben halad, miközben arra kényszeríti a közeget, a vizet, hogy oldalirányban és lefelé kitérjen az úszó útjából. A közegellenállás függ a folyadék sűrűségétől ( $\rho$ ), a haladó test alakjától (ez határozza meg a közegellenállási koefficienst), a haladó test homlokfelületétől ( $A$ ) és a vízszintes sebességétől és a közegellenállási koefficienstől ( $C_k$ ):

$$F_k = 1/2 \rho \cdot u^2 \cdot C_k \cdot A$$

A mértani testek közül a legnagyobb a kocka  $C_k$ -ja (1,05), a kúpé 0,5 és a cseppfoma alkú testté 0,04.

A folyadék sűrűsége általában egy úszómedencében adott, de a medence vizében adagolt vegyszerekkel minimálisan befolyásolni lehet. Például az édes és sósvízi – tengeri – úszási sebességet a tenger magas nátriumklorid koncentrációja befolyásolja. Az úszó alakja szempontjából az ideális az úgynevezett cseppalak volna, mivel az ember evolúciósan nem az úszásra specializálódott, ennek felvétele igen nehézkes. Mégis siklásnál érdemes megpróbálni a közegellenállás szempontjából a





$$v_h = \sqrt{\frac{g l_w}{2\pi}}$$

**A nyomásellenállás** ( $F_p$ ) abból adódik, hogy haladás közben a folyadék nyomása az úszó előtt megnő, miközben az úszó mögött lecsökken. A nyomáskülönbség olyan erőhatást eredményez, ami az úszó haladási sebességének irányával ellentétes irányú. A nyomásellenállást több tényező is befolyásolja, aminek a kiszámítását az alábbi képlettel végezhetjük el

$$F_p = \frac{1}{2} \rho A_p v^2 C_{Dp}$$

ahol  $v$  az úszó sebessége,  $A$  a test keresztmetszeti területe (homlokl felület), amellyel a víz találkozik,  $C_{Dp}$  a közegellenállási koeficiens,  $\rho$  a víz sűrűsége.

Az úszó sebessége minden ellenállásnál nagy szerepet játszik. Feltehetően az úszók maximális sebessége 2,0-2,2 m/s nagyobb lehetne, ha ezeket az ellenállási erőket csökkenteni lehetne.

## ***A felhajtóerő***

Minden folyadékba merülő testre felhajtóerő hat. A felhajtóerő Archimedes törvénye alapján arányos a folyadék sűrűségével, a gravitációs állandóval és a folyadékba merülő test térfogatával. Amennyiben egy test sűrűsége nagyobb, mint a folyadék sűrűsége le fog megülni, ha a sűrűsége megegyezik a folyadék sűrűségével, akkor lebegni fog a folyadékban, és ha a sűrűsége a testnek kisebb, mint a folyadék sűrűsége, akkor úszni fog a folyadék felszínén. Úszás szempontjából az az ideális, ha az úszó homlokl felülete a haladás irányára merőlegesen a lehető legkisebb. Ebből a szempontból előnyös, ha az úszó sűrűsége a lehető legkisebb. Az ember sűrűsége megközelítőleg megegyezik a víz sűrűségével, ha teljesen teleshívjuk a tüdőnket levegővel a sűrűség általában kisebb, ha teljesen kifújuk a levegőt, a sűrűség általában nagyobb, mint a víz sűrűsége. A megfelelő vízfekvéshez, ami a leginkább megközelíti a vízszintes helyzetet azonban az úszónak fizikai munkát kell végeznie. Amennyiben az úszó sűrűsége kisebb, kevesebb munkát kell végeznie a vízszintes testhelyzet fenntartásához – ezt leginkább a lábtempóval tudja az úszó fenntartani – több energia marad a propulziós erőhatások létrehozására.

Mivel az emberi test nem homogén anyageloszlású, ezért a gravitációs erő és a felhajtóerő hatásvonala nem esik egybe. Az úszó vízfekvése szempontjából igen lényeges a testre ható gravitációs erő és felhajtóerő párhuzamos hatásvonala közötti távolság. Amennyiben a gravitációs erő és a felhajtóerő hatásvonala távolabb van egymástól, nagyobb forgatónyomaték hat az úszóra, aminek hatására a test alsó fele nagyobb mértékben merül le a vízbe. Amennyiben viszont a gravitációs és felhajtóerő hatásvonala közelebb helyezkedik el egymáshoz, kisebb energiát igényel a vízszintes vízfekvés fenntartása, miközben több energia marad fent a vízszintes sebesség fenntartására. A gravitációs erő és felhajtóerő hatásvonalának távolsága testfelépítés-beli, alkati kérdés. Azon sportolóknak, akiknél ezen két erő hatásvonala közelebb van egymáshoz, előnyt élveznek (mint ahogy egy magasabb személy előnyt élvez kosárlabdában), de természetesen csak önmagában ez a tulajdonság nem határozza meg az úszási teljesítményt.

## *Áramlási viszonyok*

Az úszó körül a folyadéktérben a víz áramlása figyelhető meg. Fizikai szempontból két áramlástípust különböztetünk meg, a lamináris áramlást és a turbulens áramlást. Egyszerűen fogalmazva a lamináris-vonalas áramlásban a közegben nem jönnek létre örvények, míg a turbulens áramlásban igen. Az úszó körüli folyadék áramlása lamináris és turbulens jelleget is mutat. Az örvények létrejötte azonban kerülendő, ugyanis az örvények létrejöttéhez nagy energia szükséges, azonban az örvények létrejöttéhez szükséges energia az úszó izommunkájától származik, ami azt eredményezi, hogy az úszó sebessége kisebb lesz. Megfigyelhető, hogy kezdő, illetve élsportoló úszók összehasonlításában az élsportolók körül létrejövő áramlási térben azonos sebességnél az örvények száma és mérete kisebb. Bár pontosan nem lehet kvantitatíve mérni az örvényképződést az úszó körül, a legújabb fejlesztések olyan fény és lézertechnikát alkalmazó eszközökön dolgoznak, amely számszerűsítve mérhetővé tenné a folyadékban az örvények kialakulásának mértékét.

## *Úszásnemek összehasonlítása*

Négy úszásnemben történik a versenyzés az úszás sportágban: gyorsúszás, pillangóúszás, hátúszás és mellúszás. Az úszássebesség a legnagyobb a gyorsúszásban. A fenti felsorolás egyébként sorrendet is jelent a vízszintes sebesség tekintetében. Mindegyik úszásnem ciklikus mozgással történik, vagyis egy mozgásciklus ismétlődik a táv leúszásának végéig, amit a fordulók szakítanak meg. Mind a négy úszásnem egy ciklusában van egy gyorsuló és egy lassuló szakasz. A legnagyobb sebességcsökkenés a ciklus alatt a mellúszásban van, ahol a láb és a kartempó, azaz a lábak és a karok erő kifejtése elkülönül egymástól. A gyorsúszásban és a hátúszásban a karok és lábak csaknem egy időben végzik a propulziós mozgást és ezért a ciklus alatti sebességcsökkenés relatíve kicsi. A pillangóúszásban a ciklusnak van egy szakasza, amikor a lábak és a karok egy időben fejtenek ki erőt és van egy másik szakasza, amikor a karok munkája szolgálja a vízszintes sebesség növelést, amelyet a test delfin mozgása támogat. A vízszintes sebességet a karok és lábak szinkronizált munkáján kívül a tempó frekvenciája és hossza is meghatározza. A vizsgálatok azt mutatták, hogy 1,2-1,4 Hz frekvenciával lehet a legnagyobb sebességet elérni. Az optimális tempóhosszúság pedig 1,3-1,5 m.

Sebesség növekedés és csökkenés egy úszásciklus alatt.

**Gyorsúszás.** A sebesség a ciklus alatt többször is növekszik és csökken, ami a kar és lábtempó erőhatásának tudható be. A kar és lábtempó sebességnövelő hatása csaknem azonos, bár a karoké valamivel nagyobb (5-7%-al). A két végtag erőhatás közötti sebességcsökkenés 10-15%. A kartempó utáni sebességcsökkenés 35-45%..

**Hátúszás.** A sebesség növelés a lábtempó hatására 15-20 %-al kisebb, mint a karé. Ugyanakkor a sebességfluktuáció mértéke kisebb (10-20%), mint a gyorsúszásnál.

**Pillangó úszás.** A sebesség változás háromfázisú. Az első csúcs a lábak lefele irányuló erőhatásának köszönhető. A második csúcs a karok húzófázisa alatt következik be, míg a harmadik, a legnagyobb csúcs a karok tolófázisa alatt, amelyhez a lábak erőhatása is hozzájárul. A középső sebességcsúcs 10-12 %-al, illetve 20-22 %-al kisebb, mint az első illetve a harmadik csúcs. A harmadik csúcs utáni sebesség visszaesés 50 % körüli.

**Mellúszás.** A vízszintes sebességnek a ciklus során két csúcsa van, amelyek többé-kevésbé azonos nagyságúak. Az első csúcs a karok húzó erő kifejtésének következménye, a második a lábtempónak

köszönhető. A lábtempót követő csúszás fázisban a sebesség jelentős mértékben csökken (70-75 %-al). A két csúcs közötti sebességcsökkenés 20-25%.

Az egyes úszásnemek sebességváltozás profilja és mértéke kiemeli a kar- és lábmunka szinkronizálásának jelentőségét és megmagyarázza a maximális úszási sebességbeli különbségeket.

## ***Az úszás biomechanikai vizsgálati módszerei***

Mint említettem, az úszás biomechanikai elemzése nem egyszerű feladat. A mozgáselemzés szempontjából a fény intenzív szóródása a vízben megnehezíti a mozgókép felvételek regisztrálását, elemzését. Az anatómiai és funkcionális markerek elhelyezése is nehézségekbe ütközik, a testfelszínből kiálló markerek egyrészt akadályozzák az úszót, másrészt a folyamatosan áramló közegben elmozdulnak. Mindazonáltal a legújabb kamera technikák alkalmazásával a feladat nem megoldhatatlan. A mozgáselemzéssel az úszó tömegközéppontjának kinematikai adatai rögzíthetőek. Ennek segítségével az úszás különböző fázisai szétbonthatók és részletesen elemezhetőek. A rajt és a forduló során létrejövő erőhatásokat speciális vízálló erőplatókkal lehet rögzíteni és elemezni a dominánsan alsó végtagok által kifejtett erőhatásoknál a függőleges felugrásnál már részletezett elvek alapján.

## ***A rajt és a forduló***

A 2016. évi Európa Bajnokság 100 m-es úszószámaival vizsgálva a kutatók elemzéseiből az derült ki, hogy az összidőnek egyharmadát a rajt és a forduló ideje teszi ki. Egy másik megállapítás szerint a fordulók az adott táv megtételének idejének 20-30 %-át a fordulással eltöltött időből származik. Az úszók rajtjának kivitelezése többféle lehet úszásnemtől, valamint a versenyszám hosszától függően. Gyors-, mell- és pillangóúszásban rajtköről ugranak a vízbe az úszók, hátúszásban vízből kezdik meg az úszást.

### **A gyors-, a mell- és a pillangóúszás startja**

A rajt un, rajthelyről (hétköznapi nevén rajtkő) történik, amely 0,6-0,75 m magasan helyezkedik el a víz felülete fölött. A támaszfelület hossza 0,74 m, szélessége 0,5 m és 10 fokot előre dől. A legújabban használt rajthely hátulsó 0,2 m-re öt fokozatban előre forgatható, amelyre a hátul lévő láb támaszkodik az un. kick rajtnál. A rajt azt a célt szolgálja, hogy az úszó minél többet repüljön a levegőben a vízbe érkezés előtt, a súlyponton átmenő szélességi tengely körül annyit forogjon előre, hogy a nyújtott test hosszúsági tengelye 25-35 fokos szöget zárjon be a vízfelület síkjával a vízbeérkezés pillanatában. Amennyiben ezek az ismérvek érvényesülnek, akkor és vízbeérkezés sebessége a lehető legnagyobb lesz, továbbá a TKP süllyedése optimális (0,9-0,0 m), amely lehetővé teszi a kicsúszás végén a TKP nagyobb sebességét, azaz az úszás nagyobb sebességéről indul. A hosszú levegőben tartózkodásra azért van szükség, mert a levegő közegellenállása kisebb, mint a sűrűbb vízé és így a TKP később és távolabb érkezik a vízbe. A rajtköről történt elrugaszkodást követően a TKP mozgáspályáját a vízszintes és függőleges sebesség határozza meg. Mivel az elrugaszkodás szöge 24-26 fok, azaz a

TKP-nak vízszintes és függőleges sebessége is van a TKP röppályája a ferdehajítás törvénye szerint alakul.

Alapvetően két fajta technikát alkalmaznak az úszók annak érdekében, hogy a lehető legtávolabb és optimális beesési szöggel érkezzenek a vízbe.

1. Markolásos rajt. Az úszó páros lábbal áll a rajtkő elülső szélén, amelyet a lábujjaival befog. Ízületeit annyira hajítja be, hogy a kezekkel meg tudja fogni a rajtkő szélét és a TKP függőleges vetülete a lehető legközelebb legyen a rajtkő széléhez stabil egyensúlyi helyzetben (valójában behatárolt bizonytalan egyensúlyi helyzetről van szó).

2. Állórajt. Megjegyzendő, hogy az úszók állórajtja nem a középtávfutók állórajtjára, hanem a vágtafutók térdelőrajt „vigyázz” helyzetére hasonlít, bizonyos esetekben csaknem azonos azzal. Az úszó harántterpeszben áll a rajtkőn ízületeit behajlítva, a kezeivel a rajtkő elülső szélét fogva ujjjaival. Az elől lévő láb ujjai ráfognak a rajtkő szélére. Ennek a rajtfajtának kettő fő változata van. 2.1 A hátul lévő láb a rajtkő felületén támaszkodik; 2.2 A hátul lévő láb a rajtkő hátulsó felén található felhajtható támlán támaszkodik. Mindkét rajthelyzetnek két változata van a testsúly eloszlását tekintve. A/. Az úszó a TKP-ja közelebb van az elülső lábhoz, ami nagyobb feszülést eredményez az elül lévő láb izmaiban, B/. TKP közelebb esik a hátul lévő lábhoz, amely ennek a lábnak az izmait terheli elsősorban.

### *. A különböző rajtok összehasonlítása.*

**A páros lábról indított rajtnál** a kiinduló helyzetben a TKP-t : 0,25-0,3 m-re van a rajtkő széle mögött. A TKP támasz elé mozdítása a rajtjel után a karok húzó mozdulatával történik, az a karok hátrányba fejtenek ki erőt a rajtkő szélére. A rajtjel elhangzása után a karok a TKP-t a támaszkodó lábak elé húzzák és az a tehetetlenség következtében előre forog, miközben a térdek kissé behajolnak, amely a TKP hosszabb úton történő gyorsítását segíti elő. A test csaknem mozdulatlanul forog előre, kivárva a legoptimálisabb TKP helyzetet az elrugaszkodáshoz. A rajt függőleges és vízszintes talajreakció erő görbéje alátámasztja ezt a relatív mozdulatlanságot, kivárást, ugyanis a vízszintes erő csak az elugrás harmadik harmadában növekszik jelentősen.

**Állórajtnál** az egyik láb a rajtkő elején helyezkedik el, a lábujjak a rajtkő elülső élére fognak. Alaphelyzetben a TKP függőleges vetülete a két között helyezkedik el, 0,4-0,7 m-re a rajtkő elülső szélétől. Az elülső lábra terhelők a TKP-t közelebb tartják az elül lévő lábhoz ezzel nagyobb terhelést, izomfeszülést okozva. A vállak az elülső támaszláb fölé kerülnek, a karok megközelítőleg függőleges helyzetben vannak, és az ujjak rajtkő szélére fognak. A kezdeti vízszintes sebesség elsősorban a hátul lévő láb erő kifejtésének tudható be. Mivel a TKP nagyon közel van a lábfej elejéhez, ezért a karok csak előrefelé lendülhetnek a vízbeérkezést előkészítendő. Amikor a hátul lévő láb befejezi az erőközlést a támaszhelyre, akkor kezdődik meg az elül lévő láb ízületeinek gyorsuló kinyúlása.

A másik esetben a TKP a hátulsó láb fele tolódik, időnként annyira, hogy az elül lévő láb térde teljesen kinyúlik és hátulsó láb térde is nagyobb mértékben hajlik be, vagy mindkét térd kilencven foknál nagyobb mértékben hajlik. A vállak az elülső láb metatarzális ízületei felett van, a karok 90 foknál kisebb szöveget zárnak be a vízszintessel. Ez a karhelyzet lehetővé teszi a test erőteljesebb előrehúzását és a vízszintes sebesség növelését, amely szinkronban történik a hátul lévő láb ízületeinek kinyújtásával. Ez alatt az elől lévő láb behajlik. A TKP már jóval az elől lévő láb elé kerül, de a kéz még mindig kontaktusban van a rajtkővel. Éppen ezért a karok hátra lendülnek és majd a röppálya megkezdése után emeli előre az úszó a karjait. A függőleges erőhatás megközelítőleg azonos a két

rajtnál. Először a hátul lévő láb fejt ki függőleges és vízszintes irányú erőt a rajtköre, majd az elől lévő láb.

A hátsó rajtámlás állórajt azon változata, amelynél a TKP az elől lévő lábra terhelődik a rajthelyzet nagyon hasonlatos a vágtafutók térdelőrajtjának 2vagyazz” helyzetéhez, amit Phelps is alkalmazott. Egyébiránt sok különbség nincs a háttámla nélküli rajthoz viszonyítva. A leglényegesebb különbség, hogy a háttámla stabilabb támaszt szolgáltat a hátul lévő lábnak és az előre irányuló erő kifejtés nagyobb lehet.

## **A rajt biomechanikai jellemzői**

A rajtot hat fázisra javasolják felosztani, ami alapján jól meg lehet ítélni a rajt végrehajtását, hatékonyságát. 1. A rajtkő fázis (az indítási jeltől a rajtkő elhagyásáig eltelt idő), mi itt elrugaszkodási fázisnak nevezzük, 2. Repülési fázis (a rajtkő elhagyása és a kezek vízbe éréséig eltelt idő), 3. Vízbe érkezési fázis (az ujjak vízbe érése és a lábfej vízbesüllyedéséig eltelt idő), 4. Csúszási fázis ( a lábak víz alá merülése és az első lábtempó között eltelt idő), 5. A lábtempó fázisa (a lábtempó és a kéztempó elkezdése között eltelt idő), 6. Az úzás fázis (a kar és lábtempó együttes mehindítása és a 15 m eltelt idő). Megjegyzendő, hogy több tanulmány csak a 5 vagy 10 méterig vizsgálják a rajt végrehajtását és hatékonyságát, amit gyakran startidőnek neveznek és a rajt különböző paramétereinek hatását vizsgálják erre az időre, illetve a startidő és a táv leúzásának idej között keresnek kapcsolatot.

Legtöbb esetben a következő változókat határozzák meg: startidő, elugrási idő, repülési idő, repülési távolság (vízszintes sebesség és a TKP kirepülési szöge határozza meg), elrugaszkodási szög, beesési szög (vízbe érkezési szög), függőleges és horizontális erő maximuma, a függőleges és vízszintes impulzus nagysága. A csípő magassága az elrugaszkodás végén és a vízbeérkezéskor.

Az említett rajtolási módok között a fenti változókat illetően jelentős különbségeket nem találtak a kutatók. A startidőt a fenti változók különböző súllyal befolyásolják. Annak ellenére, hogy az állórajtot tartják hatékonyabbnak a szakemberek, a különböző biomechanikai vizsgálatok eredményei csak részben támasztják alá ezt a véleményt. A következőkben elírt adatok valamennyi rajtolási módnál megtalálhatók: repülési idő (0,3-0,32 s), az elugrási idő (a hangjelzéstől a rajtkőtől való elszakadásig tartó idő), repülés távolság (3,0-3,5 m), elugrási idő: 0,8-0,9 s, amelyből 0,2-0,22 s a reakció idő, vízszintes sebesség (3,0-3,3 m/s), függőleges sebesség (1,5-1,7 m/s), vízszintes impulzus (3,2-3,6 Ns/kg), elrugaszkodási szög (22-30 fok), Az elrugaszkodási szögben találtak jelentősebb különbséget az öt rajtolási mód között. A páros lábas rajtnál az elrugaszkodási szög 1-3 fokkal kisebb, mint a többinál. Az állórajtos indulásnál az elrugaszkodási szög nagyobb a TKP hátsó állásánál összehasonlítva TKP elülső helyzetű elrugaszkodással.

A startidő szempontjából három lényeges különbség van a páros lábas és az állórajtos indulás között. Az elugrási idő 0,07-0,008 s-al rövidebb az utóbbi rajtolási módnál, amiből következők, hogy az 5 m-es startidő is megközelítőleg ugyanennyivel rövidebb.

## **A startidőt (eredményt) az alábbi változók befolyásolják az egyes rajtolási módoknál:**

**Páros láb.** Repülési távolság, teljes vízszintes impulzus, az elrugaszkodás szöge, az alsó végtag hosszúsági tengelye és a vízszintes által bezárt szög, amikor a csípő vízvonalban van.

**Állórajt, TKP az elülső lábhoz közelebb.** Repülési távolság, a hátul lévő láb függőleges és vízszintes impulzusa, a csípőmagasság az elrugaszkodás végén.

**Állórajt, TKP a hátulsó lábhoz közelebb.** Repülési távolság, a hátul lévő láb függőleges és vízszintes impulzusa, a teljes vízszintes impulzus,

Állórajt hátsó lábtámással, TKP az elülső lábhoz közelebb. Repülési távolság, a hátul lévő láb vízszintes impulzusa, a teljes vízszintes impulzus, a csípő magassága az elrugaszkodás végén, az elől lévő láb függőleges impulzusa.

**Állórajt hátsó lábtámással, TKP a hátul lévő lábhoz közelebb.** Repülési távolság, a hátul lévő láb függőleges impulzusa, az elől lévő láb vízszintes impulzusa, a csípőízület szöge az elrugaszkodás végén, az alsó végtag hosszúsági tengelye és a vízszintes szöge a vízfogásnál.

Az egyes változók sorrendje a startidőt és a változó közötti kapcsolat erősségének sorrendjét mutatja. A kapcsolat a változók között negatív, azaz minél nagyobb volt a repülési idő, a vertikális és horizontális impulzus, annál rövidebb volt a startidő. A szögváltozók viszont pozitív kapcsolatot mutattak a startidővel, azaz a rövidebb idő kisebb szögekkel volt elérhető.

## **A hátúszás rajtja**

A hátúszók természetesen a vízből rajtolnak. A kezek a rajtkövön elhelyezett fogantyút fogják, a talpak a medence falára nyomódnak. Felszólításra az úszó a falhoz húzza magát, alsó végtagi ízületei csaknem maximálisan behajolnak és ebben a guggoló helyzetben az úszó igyekszik minél jobban kiemelkedni a vízből. A rajtolási módnak két változata van, amely a láb helyzetéből adódik. Az egyik esetben a talpak a víz felszíne alatt (VFA), a másikonál a lábfej első harmada a vízvonallal felett nyomódik a falhoz (VFF). Az úszó úgy igyekszik elrugaszkodni a faltól a startjelre, hogy TKP kiemelkedjen a vízből és a lehető legtöbbet haladjon a levegőben, amely lehetővé teszi, hogy rövidebb idő alatt tegye meg azt az utat, ami a vízbe érkezésig tart.

## **Biomechanikai jellemzők**

A felkészülési helyzetben a TKP a vízfelszín fölé kerül 0,53-0,5 m (VFA), 0,4-0,6 m (VFF). A TKP függőleges mozgása az elrugaszkodás végén 0,5-0,8 m és 0,6-0,8 m és a kicsúszás alatt -0,3-0,6 m és -0,5-0,8 m. A vízszint alatti TKP mozgás negatív. Az elrugaszkodás eredő sebessége a VFF-nél nagyobb, mint VFA-nál (átlagosan 3,65 és 3,31 m/s). Az átlag csúszási sebesség csaknem azonos, 2,03 és 2,05 m/s. Az elugrási és vízbe érkezési szög a VFA-nál 18 és 30 fok közötti, illetve 20 és 50 fok közötti. VFF-nél az elrugaszkodási szög 10 és 30 fok, érkezési szög 15 és 40 fok közötti. Kiváló hátúszók elrugaszkodási ideje 0,75-0,8 s, a falra ható merőleges erő nagysága 1,2-1,3-szoros súlyerő.

Ezek az adatok azt mutatják, hogy a meghatározott változók nagy egyéni variabilitást mutatnak. A startidőt befolyásoló tényezők közül a leglényegesebb a TKP kezdeti magassága az elrugaszkodás előtt, a TKP vízszintes sebessége az első vízfogásnál, az átlag sebesség a csúszás fázis alatt.

## **Fordulók**

A fordulókra fordított idő jelentősen befolyásolja a táv leúszásának idejét, ezért a fordulók végrehajtásának módja jelentősen változott az évtizedek során. A fordulás technikáját az úszás szabályai határozzák meg. A gyors- és hátúszásban kézzel nem kell érinteni a falat és ezért a leggyorsabb 180 fokos irányváltatás az ún. bukóforduló, amely a tornászok szaltójához hasonlatos. Mell- és pillangóúszásban mindkét kézzel érinteni kell a falat, ezért nem alkalmazható bukóforduló.

Ha a cél, hogy a legrövidebb idő alatt lehessen megtenni a fordulatot egy vagy több testtengely körül bizonyos szögtartományban, akkor a szükséges nagyságú mozgásmennyiséget ( $m \cdot v$ ), azaz forgásmennyiséget ( $m \cdot r^2 \cdot \omega$ ) létre kell hozni izommunkával. Ez energia befektetéssel jár, és ezért csak annyi forgásmennyiséget kell létre hozni, ami lehetővé teszi a legnagyobb szögsebességű forgást. A rendelkezésre álló forgásmennyiséggel (N) úgy lehet a legnagyobb forgássebességet elérni, ha a tehetetlenségi nyomatékot ( $m \cdot r^2$ ) csökkentjük azáltal, hogy az r (a tömegközéppont távolsága a forgástengelytől) értéket csökkentjük. Ezért célszerű a testrészeket a lehető legközelebb mozgatni ahhoz a testtengelyhez, amely körül a forgást meg akarjuk valósítani. A levegőben a forgás sebessége gyorsabb, mint a vízben a nagyobb közegellenállás miatt. Éppen ezért a vízben nagy jelentőséggel bír a tehetetlenségi nyomaték csökkentése.

### **A gyors- és hátúszás fordulója**

A gyorsúszás bukófordulójánál a falhoz közeledve az úszó előreforgást hajt végre a szélességi tengely körül úgy, hogy a testrészei a lehető legközelebb legyenek a tengelyhez. A csípő kiemelkedik a vízből, ami segíti a gyorsabb végrehajtást. A gyorsúszónak 180 fokot kell elfordulni, amikor ellentétes irányba halad. Ezt a fordulatot akkor érdemes megtenni, amikor a lábak csaknem teljesen kinyúltak az elrugaszkodás végén, mert ekkor lesz a legkisebb a test tehetetlenségi nyomatéka a hosszúsági tengely körül. A hátúszók a falhoz közeledve fordulnak 180 fokot a hosszúsági tengely körül, majd végrehajtják a bukófordulót a gyorsúszásnál leírt módon. Amikor a talpak a falra nyomódnak, akkor a térd hajlásszöge 120 fok (anatómiai szög), ami csaknem teljes térdhajlítás. Ezt követően az ízületek a lehető leggyorsabban kinyúlnak, hogy a lecsökkent sebességet ismét növekedni tudjon. A forduló sebessége kiváló úszóknál a forduló megkezdésekor 1,7-1,9 m/s, a forduló végén, a csúszás megkezdésekor 2,9-3,1 m/s. A forgás időtartama 0,8-0,9 s. az elrugaszkodás (fal kontaktus) ideje 0,35-0,45 s.

### **A mell- és pillangóúszás fordulója.**

Ezt a fordulót átcsapásos fordulónak nevezi a magyar szaknyelv. A szabályok értelmében a falat mindkét kézzel érinteni kell, és ez behatárolja a lehetőségeket a leggyorsabb fordulás megtételében. Miután a falat elérte az úszó, teste csaknem teljesen nyújtott és a kezek által létrehozott forgási impulzussal 90 fokos fordulatot tesz meg a hosszúsági tengely körül. Azért célszerű ezt a forgást a nyújtott test hosszúsági tengely körül megtenni, mert ekkor a legkisebb a tehetetlenségi nyomaték. Ezt követően egyik kezével elengedi a falat az úszó, alsó végtagi ízületeit gyorsan teljesen behajlítja, hogy a következő fordulatot a szélességi tengely körül a lehető leggyorsabban megtegye, amelynek hatására oldalfekvő helyzetbe kerül. A talpak a falra nyomódnak, az ízületek hajlítottak, a test oldalhelyzetben van a vízfelszín tekintve. A lábak akkor kezdik meg az ellökődést, amikor a törzs az úszás irányban van. A lábak által keltett forgási impulzus hatására a test 90 fokot fordul a hosszúsági tengely körül és a csúszásfázis alatt hason fekvés helyzetében halad előre.

## ***A ruházat szerepe***

A világcúcsok történeti összevetése azt jelzi, hogy az úszóruházat egyes változatai radikális mértékben tudnak javítani az eredményeken. Bár a legújabb szabályok pontosan előírják és korlátozzák, hogy milyen lehet az úszóruha, a fejlődés folyamatos. A modern úszóruházat több hatást

együttesen használ ki a jobb eredmény elősegítéséhez. Egyrészt a modern ruhák gumírozása igen erős. Ez azt eredményezi, hogy a testfelszínhez közeli puhább szövetes állományt összenyomja és így a hatáskeresztmetszetet csökkenti. Másrészt a ruhák anyaga és varrása hosszanti bordázatba rendeződik. Az ilyen kialakítás a testfelszín mentén az áramló folyadékot úgy tereli, hogy dominánsan lamináris áramlás jöjjön létre. A ruha speciális anyagának súrlódása az áramló vízfelülettel szemben kisebb, mint a bőr súrlódása. A ruha anyagába megtapadnak a levegőbuborékok, ami a felhajtóerőt növeli, így segíti az optimális vízfekvés létrehozását. Ezen hatások együttesen vagy akár külön-külön is alkalmazva óriási előny jelentenek az úszóknak, nemcsak az élvonalbeli versenyzők szempontjából, hanem a rekreációs úszók esetén is.

### ***Az úszás hatása az izomzatra***

Az úszás igen speciális módon terheli meg az emberi mozgatórendszert, amit mind az élsportban, mind a rekreációs mozgásoknál érdemes figyelembe venni. Az úszás mozgásfázisainak jelentős része tekinthető izokinetikusnak, vagyis az izomzat kontrakciós sebessége közel állandó. Emellett mivel a gravitációs erőt a felhajtóerő semlegesíti, az antigravitációs izmok szerepe teljesen más, mint például futásnál. Ezt érdemes figyelembe venni, amikor egy élsportoló erősítő teremben végez szabad súlyokkal edzéseket, ugyanis a kontrakció igen nagymértékben eltérő lehet az úszómedencében létrejövővel összehasonlítva. A gravitáció semlegesítése és a vízszinteshez közeli testhelyzet azt eredményezi, hogy a gerincoszlop kompressziós terhelése csökken. Ez a hatás a rekreáció és a rehabilitáció szempontjából kifejezetten hasznos tud lenni, élsportolók esetében viszont a hosszú távú adaptáció a gravitációs környezetben deformitásokat eredményezhet, amit szárazföldi kiegészítő mozgásformákkal érdemes kontrollálni.

## **ÖSSZEFOGLALÁS**

Az úszás az ember számára evolúciós szempontból nem természetes mozgás. A mozgatórendszerünk nem erre a mozgásra fejlődött ki, a mozgásformát tanulni kell. Mindazonáltal a rendszeres úszásnak a mozgatórendszerre és a keringési rendszerre számos pozitív hatása van. Élsportolók esetén a speciális mozgásforma speciális edzést, fejlesztést igényel, amit az egyre fejlettebb biomechanikai elemző rendszerek az ismert fizikai törvényszerűségek figyelembevételével egyre nagyobb mértékben tudnak támogatni.

## **ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK**

- Milyen rezisztív erők hatnak az úszóra?
- Jobban kiemelkedik-e a vízből az a személy, akinek kisebb a sűrűsége?
- Hogyan segítik az úszást a modern úszóruhák?
- Hol nagyobb a közegellenállás, lamináris vagy turbulens áramlásnál?
- Hogyan lehet a rajtnál az elrugaszkodást vizsgálni?



Hosszú távú úszószámoknál a lábtempó miért kevésbé domináns?  
Az úszó vízszintesebb helyzetében nő vagy csökken a homlokfelület?  
Vízfekvés szempontjából milyen legyen a gravitációs erő és a felhajtóerő közötti távolság?  
Mi a különbség a markolórajt és az állórajt között?  
Melyik start paraméterek befolyásolják a rajtidőt?  
Mi a különbség a gyorsúszás és a hátúszás fordulója között?  
Melyik úszásnemenél a legnagyobb a sebességcsökkenés a lábtempót követően és hány százalék?

## Válaszok az ellenőrző kérdésekre

### Járás, versenygyaloglás biomechanikája

Mi jellemzi a járást?

**Járásnak azt a mozgást nevezzük, amikor a helyváltoztatás során egyik láb a talajon van és van egy hosszabb-rövidebb szakasz, amikor mindkét láb érintkezik a talajjal, amit két lábtámaszos szakasznak nevezünk.**

Mekkora a TKP függőleges mozgása?

**A TKP a járás sebességének függvénye. Kis sebességnél a TKP legmagasabb és legalacsonyabb pontja közötti távolság 0,02 m. A sebesség növekedésével a függőleges mozgás növekszik és 1,5 m/s sebesség felett 0,04-0,05 m is lehet.**

Mekkora a támasz és lengő fázis aránya járás során?

**A sebesség függvényében változik. Normál járássebességnél 60-40%. Ennél kisebb sebességnél 70-30%. A legnagyobb lehetséges sebességnél 50-50%.**

Mekkora normalizált mechanikai teljesítményt érnek el az alsó végtagi feszítő izmok?

**Plantárflexorok 4,0 Watt/G, plantárflexorok és csípőfeszítők 0,5 Watt/G.**

A teljes talpra gördülés alatt melyik izom aktív?

**A dorzálflexorok.**

A járás vagy a versenygyaloglás során nagyobb a járásszélesség?

**A versenygyaloglás alatt.**

A járás talajreakció erő-idő görbéjén hány erőcsúcs látható és mekkorák?

**Két erőcsúcs látható. Az első a fékező, a második a gyorsító szakasz alatt regisztrálható. A két csúcs nagysága azonos (1,2 G) normál átlagsebességnél. A sebesség növelésével elsősorban az első erőcsúcs nagysága növekszik.**

Miért csökken a talajreakció erő a két függőleges erőcsúcs között és miért?

**A középső támaszfázisban, mert a térd- és bokazünet behajlik.**

Verenygyaloglásnál a vízszintes erő-idő görbe a támaszfázis hány százalékánál vált negatívból pozitívba?

**A támaszfázis 40 százalékánál.**

Mit jelent a negatív vízszintes erő?

**A TKP sebességének csökkenését, a fékezést, vagyis negatív gyorsulást.**

### A futás biomechanikája

Mi jellemzi a futást?

**A futás a helyváltoztató mozgásnak az a fajtája, amikor a haladás sebessége nem teszi már lehetővé a járásra jellemző jegyek fenntartását. Vagyis futásnak azt a mozgást nevezzük, amikor egy időben csak egy láb van a talajon, illetve egyik láb sincs a talajon. Ezeket a szakaszokat nevezzük támasz (kontakt) és repülés fázisnak.**

Miért gazdaságosabb a talp elülső részén talajt fogni?

**Ebben az esetben a bokátüzet azon nyomban hajolhat és ezáltal a plantárflexorok feszülése nagyobb lesz, ami nagyobb elasztikus energiátárolást eredményez, mint amikor sarokkal fog talajt a futó.**

A térdfeszítők milyen esetben végzik a legnagyobb excentrikus munkát?

**Amikor sarokkal, vagy talpközépen fognak talajt.**

A maximális sebességű futásnál melyik izmok végzik a csípőfeszítést?

**A nagy farizom és combhajlító izmok.**

Mekkora a plantárflexio sebessége az elrugaszkodás végén?

**1300-1500 fok/s.**

Milyen esetben tudnak csípőfeszítőként munkát végezni a combhajlító izmok?

**Amikor a láb a talajon van.**

Mikor lehetséges a legnagyobb sebességgel mozgatni a lendítő végtagokat?

**Amikor a végtagok tehetetlenségi nyomatéka a legkisebb, vagyis, amikor a könyök vagy a térd maximálisan hajlított helyzetben van.**

Milyen az alakja a talajreakció erő-idő görbének, ha talajfogás sarokkal történik?

**A talajfogást követően a görbén egy meredeken emelkedő erőcsúcsot látunk, amely kissé csökken, majd ismét növekszik addig, ameddig a fékező szakasz átvált gyorsító szakasszá.**

Miért nagyobb a függőleges talajreakció erő, mint a vízszintes?

**Mert az elrugaszkodás optimális szöge maximális sebességű futásnál 30 fok, ami azt jelenti, hogy az erőhatás függőleges komponense nagyobb, mint a vízszintes.**

## Az ugrások biomechanikája

Milyen célt szolgál a lendületszerzés az ugrásoknál?

**A lendületszerzés a test és az izmok energiataartalmának növelését szolgálja, annak érdekében, hogy az ízületek kinyúlása során az izmok nagyobb munkát tudjanak végezni, azaz magasabbra, távolabbra tudjanak ugrani.**

Mit fejez ki az SJ és CMJ ugrások TKP függőleges útjának különbsége?

**A felugrás magassága közötti különbség jelzi az elasztikus energia felhasználásának mértékét. Minél nagyobb a különbség, annál több elasztikus energia került felhasználásra a CMJ során.**

Hogyan számítjuk ki a TKP emelkedési útját a levegőben tartózkodási (repülési) időből?

$$h_{max} - h_0 = t_0 \cdot g \cdot t^2$$

Miért eshet vissza nullára a talajreakció erő CMJ-nél?

**Ha az ízületeket feszítő izmok nem akadályozzák meg, hogy az ízületek behajlása alatt a TKP nehézségi gyorsulással süllyedjen, akkor egy rövid időpillanatra nem mérhető reakció erő.**

Melyik páros lábas helyből felugrásnál lehet a legkisebb TKP emelkedést elérni?

**A kis ízületi hajlásból indított SJ-nél.**

Miben különböznek az SJ és CMJ talajreakció erő-idő görbék?

*SJ-nél az erő növekszik az ugrás megkezdésekor, mert a TKP a nehézségi gyorsulással ellentétes irányba mozog. CMJ-nél csökken a talajra ható erő.*

Mit jelent a lendítő végtagok mozgásának szinkronizálása az ugró láb ízületeiben létrejövő mozgásokkal?

*A karok maximális szöggyorsulását akkor kell elérni, amikor az ízületek behajlását lassítani kezdi az ugró. A karok negatív szöggyorsulásának maximumát akkor célszerű elérni, amikor az ízületek megkezdik a kinyúlásukat.*

Miért képes nagyobb felugrásra az ugró a kis ízületi hajlítással végrehajtott mélybeugrással, mint CMJ-vel?

*Magas helyről leugorva (a TKP szabadeséssel közelít a talajhoz), a TKP helyzeti energiája csökken, mozgási energiája ( $m \cdot v^2 \cdot 2^{-1}$ ) ugyanolyan mértékben növekszik. A talajra érve a TKP összes energiája, amivel munkát fog végezni az izmokon, ízületeken, a mozgási energiával nagyobb, mint amikor talajon állásból kezdi hajlítani ízületeit az ugró.*

Mit szolgál a vízszintes lendület (sebesség) az ugrásoknál?

*A vízszintes sebesség arra szolgál, hogy az ugráshoz akkora mozgási energiát nyerjen az ugró, amely lehetővé teszi a felugrásban részt vevő izmok feszülésének megnövelését, elasztikus energiával történő feltöltését, amivel a TKP vízszintes irányú mozgáspályáját meg lehet változtatni, illetve a TKP-ot a célnak megfelelő röppályára lehet juttatni.*

Mekkora az impakt csúcs a talajreakció erő-idő görbén vízszintes lendületszerzéssel végrehajtott egy lábas ugrásoknál?

*Az impakt erő nagysága magasugrásnál 8 m/s nekifutási sebességnél, és távolugrásnál 10 m/s-os sebességnél elérheti a 8-9 kN értéket, ami súlyerőre normalizálva 9-10-szeres súlyerő.*

## Úszás biomechanikája

**Milyen rezisztív erők hatnak az úszóra?**

Súrlódás, nyomásellenállás, hullámellenállás, közegellenállás.

**Jobban kiemelkedik-e a vízből az a személy, akinek kisebb a sűrűsége?**

Igen.

**Hogyan segítik az úszást a modern úszóruhák?**

Csökkentik a súrlódást, a turbulens áramlást, növelik a felhajtóerőt.

**Hol nagyobb a közegellenállás, lamináris vagy turbulens áramlásnál?**

Turbulens áramlásnál.

**Hogyan lehet a rajtnál az elrugaszkodást vizsgálni?**

Mozgáselemzéssel, erőplatóval.

**Hosszú távú úszószámoknál a lábtempó miért kevésbé domináns?**

Nem gazdaságos a propulziós erő és energiafelhasználás viszonylatában.

**Az úszó vízszintesebb helyzetében nő vagy csökken a homlokfelület?**

Csökken.

**Vízfekvés szempontjából milyen legyen a gravitációs erő és a felhajtóerő közötti távolság?**

A lehető legkisebb.

**Mi a különbség a markolórajt és az állórajt között?**

A markolórajtnál az elrugaszkodás páros lábról történik, az állórajtnál a starthelyzetben az úszó egyik lába a rajthely elülső, a másik a hátsó részén helyezkedik el az atléták térdelőrajtja vigyázz helyzetéhez hasonlóan.

**Melyik start paraméterek befolyásolják a rajtidőt?**

Repülési távolság, teljes vízszintes impulzus, az elrugaszkodás szöge, a hátul lévő láb függőleges impulzisa.

**Mi a különbség a gyorsúszás és a hátúszás fordulója között?**

A gyorsúszó az úszásnemnek megfelelő helyzetben közelít a medence falához, bukó (előre szaltó) mozdulattal fordul az ellentétes irányba miközben háton fekvő helyzetből 180 fokot fordul hossz tengelye körül. Hátúszásnál az úszó háton fekvő helyzetben közelít a falhoz és mielőtt a falhoz érne hason fekvő helyzetbe fordul, elvégzi a bukófordulót és háton fekvő helyzetbe érkezve megkezdí kicsúszást.

**Melyik úszásnemnél a legnagyobb a sebességcsökkenés a lábtempót követően és hány százalék?**

A mellúszásnál, a sebességcsökkenés 50 százaléknál is több lehet.