Biomechanika I

Alcím

Készítette:

Dr Kopper Bence

# TARTALOM

1. Mérőeszközök, mérési eljárások, vizsgálati módszerek a biomechanikában
2. Kinematika
3. Dinamika
4. Energiaviszonyok mozgás közben. Teljesítmény
5. Mozgatórendszerre ható erők
6. Emelők szerepe a mozgatórendszerben
7. Tömegközéppont meghatározása statikus és dinamikus helyzetben, mozgáselemzés
8. Egyensúly, állásstabilitás. Stabilometria.
9. Válaszok az ellenőrző kérdésekre
10. Irodalomjegyzék

# ELŐSZÓ

A biomechanika I segédanyag célja, hogy lehetővé tegye a hallgatók számára a biomechanika alapismereteinek, vizsgálati módszereinek elsajátítását, a sportág specifikus biomechanika tudásanyag megalapozását. A tananyag elsajátításához bizonyos alapvető fizikai, mechanikai ismeretek szükségesek, de ezek megtalálhatóak a középiskolai fizikatankönyvekben. Emellett szükséges, hogy a hallgatók bizonyos alapvető anatómiai, élettani ismeretekkel is rendelkezzenek, ezeket az ismereteket alapszinten a középiskolai biológiai tankönyvek tartalmazzák, de az egyetemen megfelelő kurzusokon a tudásanyag elsajátítható. 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 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.

# Célok és kompetenciák

Az anyag célja az alapvető biomechanikai törvényszerűségek, vizsgálati módszerek megismertetése a hallgatókkal annak érdekében, hogy a tanultakat fel tudják használni korábbi ismereteik gazdagítására és alapot szerezzenek további ismeretek megszerzéséhez. Az ismeretek birtokában képesek lesznek az emberi mozgatórendszert meghatározó alapvető biomechanikai hatások jobb megértésére, mozgások elemzésére.

# Mérőeszközök, mérési eljárások, vizsgálati módszerek a biomechanikában

## BEVEZETÉS

A biomechanikában az idők folyamán számos vizsgálati módszer, eljárás került alkalmazásra. Az általános cél a vizsgálati személyt jellemző biomechanikai paraméterekről kvantitatív információk rögzítése majd kielemzése, összehasonlítása. A fejezet célja a teljesség igénye nélkül ezen módszerek, felhasználási területeik bemutatása.

## A biomechanikai vizsgálatok általános célkitűzései

Sporttudományi vizsgálatok kivitelezése esetén számos cél lebeghet a kutató előtt. Teljes listát nem lehetséges leírni, ezért az alábbiakban csak a legfontosabbakat említjük meg címszavakban.

Erőnlét meghatározása - A sportoló pillanatnyi teljesítményét meghatározó fizikai paramétereinek mérése.

Az összetett teljesítményt leíró paraméterek lebontása az egyes meghatározó paraméterekre, így meghatározva azon kulcs paramétereket, amelyek specifikus fejlesztése akár a teljesítmény jelentős mértékű javulásával járhat.

Sportági technika javítása - A mozgás optimalizálása - a mozgásmintázat elemzése alapján a lehető legjobb kivitelezés megtalálása az adott sportoló egyéni fizikai paramétereinek (mint például testfelépítés, izomzat) figyelembevételével.

A rejtett sérülések diagnosztikája – olyan sérülések előzetes diagnosztikája, amelyek még nem feltétlenül járnak jelentős fájdalommal, de a mozgások helyes végrehajtását akadályozzák, például a mozgás amplitudójának lecsökkenésével.

A rehabilitáció biomechanikai módszerekkel történő támogatása – olyan módszerek, amik segítik, hogy a sportolók minél hamarabb visszatérhessenek a sportpályára.

## Kinematika

A kinematikai vizsgálati módszerek alapvető célja, hogy meghatározzák egy adott pont pillanatnyi helyzetét, sebességét, gyorsulását a vizsgálat szempontjai alapján kiválasztott vonatkoztatási rendszerben. A vonatkoztatási rendszert célszerű minden esetben a vizsgálatnak megfelelően kiválasztani. Ennek alapján lehet egy dimenziós (egy egyenes mentén), két dimenziós (síkbeli mozgások vizsgálata esetén hasznos) és három dimenziós vonatkoztatási rendszereket felvenni.

A kinematikában mért alapvető paraméterek:

út, megtett út egy mérési szekvenciában, összes megtett út (s)

sebesség, pillanatnyi sebesség, átlagsebesség (v), szögsebesség (ω)

gyorsulás (a), szöggyorsulás (β)

eltelt idő, mozdulat, mozgás végrehajtási ideje (t)

Ezen mennyiségek alapvető méréséhez a stopper, mérőszalag volt alkalmazva a múltban, de ezeken a módszereken túlmutató eszközök használata jelenleg egyre szélesebb körben kezd elterjedni.

A továbbiakban bemutatásra kerülnek a teljesség igénye nélkül a biomechanikai kutatásokban leggyakrabban alkalmazott mérési eszközök.

### Kontatktszőnyeg

A kontatktszőnyeg a függőleges felugrások vizsgálatára alkalmazható, és ezen keresztül a sportmozgások szempontjából különösen fontos szerepet kapó alsó végtagok izomzatáról szolgáltat lényeges információkat. A szőnyegbe egy áramkör van beépítve, amely egy időmérő berendezéssel összekapcsolva, amely mérni tudja a talajon és a levegőben tartózkodás időtartamát. Lehet mérni például egy felugrás során a talajelhagyás időtartamát, ebből az emelkedés magassága becsülhető. Szökdeléses felugrásoknál az átlagos mechanikai talajreakcióerő és az átlagos teljesítmény meghatározható. Az eszköz előnye, hogy olcsó, a kezelése nem igényel speciális ismereteket.

### Linear Encoder

A linear encoder egy dobozból és az abból kihúzható vékony zsinórból áll. A zsinort rögzíthetjük a vizsgálati személy testének egy pontjához, egy súlyzóhoz vagy egy rúdhoz. Az eszköz egyik alkalmazási lehetősége, hogy az egyenes vonalú mozgások során mérje az adott tárgy, testrészt elmozdulásának nagyságát az idő függvényében, amiből sebesség, gyorsulás, stb számítható. A megfelelő kezdeti beállítások után például egy súlyzó függőleges felemelésekor az emelési gyakorlatok kivitelezését követően az eszköz az alapvető emelési paramétereket adja meg, mint: az emelés során az elmozdulást, átlagos sebességet, teljesítményt. Az eszköz kezelése könnyen elsajátítható, de számítógéphez kell csatlakoztatni a használathoz. Az eszköz előnye, hogy számos az előzőekben említett paramétert meghatározva pontos numerikus adatokat ad egy súlyzós gyakorlat végrehajtásáról.

### Goniométer

A goniométerrel az ízületi szögváltozások mérhetők az idő függvényében. Léteznek mechanikus és elektronikus goniométerek. Mechanikus goniométerek két szárból és a szárak metszéspontjában elhelyezett potencióméterből áll. A szárakat arra a két végtagra (testrészre) kerül felhelyezésre, amelyek az ízületet képezik. A potencióméter középpontjának az ízület foorgáspontjában kell elhelyezkedni. Az ízületi szögváltozást csak becsülni lehet, mert az ízületek többségében a forgáspont állandóan változik az ízületi szögek függvényében. Az elektronikus változatok előnye, hogy mozgás közben, például futás esetén is szolgáltat folyamatosan adatokat. Az eszköz általánosan alkalmazható a sportolók ízületi kinematikai paramétereinek (szögváltozás, szögsebesség, szöggyorsulás, stb.) vizsgálatára. Lényeges, hogy rejtett sérülések esetén az egyik első árulkodó jel, hogy a sérülésben szerepet kapó ízület mozgástartománya beszűkül. Emiatt a goniométer segíthet a kezdődő sérülések diagnosztikájában.

### Mozgáselemzés

A sportmozgások filmfelvétel alapú elemzése nagy múltra tekint vissza. A legelső mozgóképet Eadweard Muybridge készítette egy vágtázó lóról, vagyis az első film valójában egy biomechanikai elemzés volt. Jelenleg digitális kamerákkal történik a mozgás felvétele, képi rögzítése. A mozgás szempontjából lényeges helyekre reflektív markereket kell elhelyezni. Ezen markerek amennyiben könnyen azonosítható anatómiai pontokra kerülnek, lehetnek anatómiai markerek, illetve ha a vizsgálat szempontjából fontos szerepet kapnak, de nem feltétlenül előre meghatározott anatómiai szempontból pontosan definiált helyre kerülnek akkor funkcionális markerek. Az aktív markerek önálló fényt bocsátanak ki ledek és gombelemek felhasználásával, a passzív markerek a rájuk eső fényt verik vissza. A kamerák érzékelhetnek a látható fény tartományában vagy általában infravörös tartományban. Ebben az esetben önálló fényforrásra van szükség, de a rendszer komoly előnye, hogy ebben az esetben a környezet felől érkező látható fény nem befolyásolja a mérést.

A mérések történhetnek 2 vagy 3 dimenziós elmozdulást vizsgálva. 3 dimenziós mozgások esetén több kamera használata szükséges. A felvétel kezdetén kalibrációs rúd vagy rács felvétele szükséges, ami alapján a számítógép a kiválasztott koordinátarendszerben elhelyezi a mozgást. Ezután a felhelyezett markerekkel a sportoló mozgásának rögzítése megtörténik. Az adatok feldolgozása az eljárás összetettsége miatt számítógép és megfelelő szoftver használatával lehetséges csak. Jelenleg rendelkezésre állnak ingyenes 2 dimenziós elemzésre alkalmas szoftverek, a 3 dimenziós rendszerek használatához komoly tapasztalat, szaktudás szükséges.

A mozgáselemzéssel bármely a mozgásban résztvevő pont kinematikai adatai rögzíthetőek, illetve bizonyos beállításoknál az ízületekben ébredő eredő forgatónyomatékok is meghatározhatóak. Akár önállóan, akár más eljárásokkal együtt használva (pl. erőplató, EMG) a sportmozgások nagyon részletes elemzése lehetséges. Megtörténhet az adott mozgás kivitelezésének vizsgálata, a hibák detektálása, kijavításának ellenőrzése.

### GPS (vagy LPS) alapú játékos mozgáskövető teljesítménydiagnosztikai rendszerek

A sportoló pályán történő mozgásának regisztrálásához úgynevezett telemetriai rendszereket alkalmaznak. A rendszer regisztrálja a sportoló pillanatnyi helyzetét, sebességét, gyorsulását illetve egyes felépítésnél a személyek pulzusát is. A mért adatokból a különböző terhelési övezetek száma, időtartama, az edzésmunka vagy a versenyen a mozgások intenzitása meghatározható. Több sportoló vagy egy csapat minden játékosán alkalmazva a rendszer taktikai kérdések elemzését is lehetővé teszi.

A mérések alapját a speciálisak kialakított hordozó hámban elhelyezett kisméretű adatregisztráló berendezés adja. Ezt a mérés befejezése után a számítógéphez kapcsolva adott szoftver felhasználásával a megfelelő fizikai paraméterek vizsgálhatóvá válnak.

## Kinetika

A dinamometriai vizsgálatoknál a cél az erőkifejtés meghatározása akár statikus, akár dinamikus körülmények között.

### Szorító vagy markolóerő mérő

Az erőmérőnek létezik mechanikus változata, de manapság már az elektronikus változatok vannak elterjedve. A rendszerben egy nyomásmérő szenzor van elhelyezve, amely a külső nyomóerő hatására megváltoztatja elektromos tulajdonságait (általában a fajlagos vezetőképességet), amelyet egy elektronika az idő függvényében regisztrál. Az eszköz széles körben alkalmazható a sportolók általános erőnléti paramétereinek, mint maximális statikus erő, erőkifejtés meredeksége, erőállóképesség, fáradás izometriás körülmények között, stb. vizsgálatához. Bár az eszközzel könnyen, gyorsan lehet adatokat gyűjteni, a mért adatok felhasználási lehetőségei korlátozottak. Olyan sportok esetén például, ahol döntően az alsó végtag erőkifejtésének meghatározása a cél, mint pl: gyorskorcsolya, kerékpározás, az eredmények felhasználhatósága erőteljesen korlátozott. Az adatok általános értelmezhetőségéhez normatív adattáblázatok szükségesek, amelyek nemek, életkor és testtömeg alapján szétbontva teszik lehetővé az összehasonlítást. Mivel a testtömeg és a izomtömeg nagymértékben összefüggő változók, emiatt lényeges a mérés kiértékelése esetén a sportoló zsírmentes testtömegének (lean body mass) figyelembevétele, azaz a relatív, vagy normakizált erő.

### Erőplató

A mozgások során talajra gyakorolt erők mérésére az un, erőplatók, erőplatformok szolgálnak. Statikus körülmények között a testek nehézségi erejét mérik (F=m∙g). Mozgások során a test vagy testrészek tömegközéppontjának, azok tömegének és gyorsulásának szorzatából származó pillanatnyi erőt méri (F=m∙a), ami egy mintavételnek számít. Minél rövidebb időintervallumokban vesznek mintát, annál pontosabban határozható meg egy adott mozgás talajreakció erő-idő görbéje, ami egy adott mozgásra és egyénre jellemző. A nagy sebességű mozgások, mozdulatok esetében a mintavételi frekvencia 1 kHz, azaz mintavétel egy msec-ként történik.. Az erőplatókban nyúlásmérő szenzorok vagy piezoelektromos kristályok érzékelik az erő hatására bekövetkező deformációt, ami feszülésváltozást idéz elő. Ezt az elektromos jelet alakítják át megfelelő kalibráció után erővé, azaz egységnyi feszültségváltozás egységnyi erőt jelent. Az erőplatók az érzékelők számától és elhelyezésétől függően mérhetik csak a függőleges erőket vagy mindhárom koordinátatengely mentén érzékelhetik az erőhatásokat. Az erőjeleket számítgépen tárolják és a programtól függően különböző számítások végezhetők el és az erő.

Az erőplató általánosan elterjedt a függőleges felugrás vizsgálatánál. Pontosan meghatározható a levegőben tartózkodás időtartama, a maximális erő, az erőfelfutás (RTD) meredeksége alapján a robbanékonyság becsülhető, a görbe alatti terület meghatározásával, az impulzusmódszer segítségével az emelkedés magassága számítható. Az erőplató széleskörűen alkalmazható más esetekben is, például elhelyezhető távolugrásnál az elrugaszkodási területhez és így mérhető az elugrásnál az erőhatás vízszintes és függőleges komponense is. Az erőplató rendszerek használata során ,számítógép szükséges az adatok regisztrációjához és nélkülözhetetlen alapszintű tapasztalat a kezeléshez, a kinyert adatok széleskörűen felhasználhatók a sportolók felkészítésében.

### Számítógép vezérelt motoros dinamométer

Az egyes ízületeket mozgató izmok (feszítő, hajlító, közelító, távolítő, forgató) izmok kontraktilis tulajdonságainak mérésére szolgáló berendezéseket dinamométernek nevezzük. Ezeknek a berendezéseknek a fő eleme az erőmérő kar, amihez azt a végtagot rögzítik, amely elfordul az adott ízület forgástengelye, forgási középpontja körül. Az erőmérő kar egy elektromos szervomotorhoz kapcsolódik, amelyhez szögmérő is tartozik. Az izom által a mérőkarra gyakorolt erőt elektromos jelként érzékelik a transducerbe elhelyezett nyúlásmérő bélyegek, szenzorok hasonló módon, mint az erőplatók esetében. Minthogy az erőt az izmok a forgásponttól bizonyos távolságra (ahol a végtag rögzítve van a karhoz) fejti ki, ezért ezeket az erőmérőket úgy programozzák, hogy a forgatónyomatékot számolják ki. Tehát ezek a berendezések forgatónyomatékot mérnek. Az ízületi szöghelyzeteket, illetve a szögelfordulást a motorba épített elektromos szögmérő érzékeli az idő függvényében, amely segítségével szögsebesség, szöggyorsulás számítható. Az egyes kontrakció típusoknak (izometriás, koncentrikus, excentrikus) vagy azok variációinak létrejötte a motor vezérlése által valósul meg. Eredendően ezek a dinamométerek izokinetikus gépek voltak. A kar állandó szögsebességű mozgását ma már elektronikusan szabályozzák. Korábban a mozgást hidralikus vagy pneumatikus eszközökkel hozták létre. A modern eszközök képesek bármilyen kontrakció szimulálására, így az izotóniás kontrakció, azaz állandó gyorsulással történő mérőkar mozgás is lehetséges.

A rendszer vezérléséhez és beállításához speciális tudás és gyakorlat elengedhetetlen. Mindazonáltal megfelelően alkalmazva mind statikusan, mind dinamikus körülmények között mérhetőek az egyes főbb ízületekhez kapcsolódó izomcsoportok feszülési paraméterei. A rendszerrel statikus, állandó illetve változó szögsebességgel is létre lehet hozni mozgásokat, amelyeket a mozgató motor karjához rögzített végtag kényszermozgással követ. A mozgás közben a pillanatnyi feszülés mérhető. A megfelelő beállítással bármilyen sportágspecifikus mozgás modellezhető és közben az izomzat feszülése regisztrálható. A rendszer használható diagnosztikai feladatok megoldására, nem kívánt asszimmetriák meghatározására, edzésre, illetve a rehabilitációban passzív mozgatások végrehajtására. Megfelelő hozzáértéssel és beállításokkal a sportmozgások során az izomzat által létrehozott feszülés paraméterei széles skálán mérhetővé válnak.

## Egyéb vizsgálati módszerek

### Talpnyomáseloszlás mérők

Általános civilizációs betegség a haránboltozatsüllyedés, lúdtalp. Amennyiben a talp deformitása nincs diagnosztizálva a sport közben létrejövő igen nagymértékű terhelések krónikus degeneratív elvaltozásokat eredményezhetnek a talp és így a tartórendszer felépítésében. A talpnyomáseloszlás meghatározásával diagnosztizálhatók egyes elváltozások, amelyek segítségével megfelelő ortopédiai szakemberek által kiválasztott talpbetétek a deformitások által jelentkező panaszokat csökkenthetik.

### Stabilométer

A stabilometria általános célja, hogy a test egyensúlyozó képességét meghatározzuk mind statikus, mind dinamikus körülmények között. Mivel az egyensúlyozó képesség nemcsak a 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, vizuális és a vesztibuláris rendszerből jövő ingerek megfelelő feldolgozása, amelynek szintje az egyensúly megtartásának képességével becsülhető. A stabilometriai méréseknél meghatározható a tömegközéppont előre-hátra, oldalirányú elmozdulása, teljes megtett útja. Longitudinális vizsgálatoknál proprioceptív gyakorlatok közbülső alkalmazásával a fejlődés mértéke követhető.

### Ultrahang

Ultrahang vizsgálatoknál a test belső szöveti struktúrái láthatóvá tehetők. A kép nem lesz teljesen zavarmentes, de a mérés nagy előnye, hogy dinamométerrel együttesen alkalmazva az izmok, szalagok, ínak karakterisztikája, például az izmok keresztmetszetének, vastagságának változása, a pennációs szögben megfigyelhető eltérések terhelés, mozgások közben is meghatározhatóak. Például meghatározható egyes ínak feszülés-megnyúlás görbéje is, ami alapján egyes előzetesen nem látható sérülések diagnosztizálhatóak.

### Mágneses Rezonancia-MR

Az MR berendezések segítségével a szövetek mélyére lehet tekinteni. A mérés elve, hogy a nagyon erős mágneses térben a hidrogénatomban a protonok mozgása megváltozik, miközben a proton energiát sugároz ki. A berendezés ezt az energiát detektálja és így a szövetek anyagáról síkokban szeletenként képes képet létrehozni. A rendszer dominánsan a víz jelenlétét és koncentrációját mutatja ki, de a zsírok, fehérjék, szénhidrátok hidrogéntartalmát is meg tudja különböztetni. A sérülések diagnosztikájára kiváló módszer, de a berendezés közelébe fém tárgyakat helyezni nem lehet, ezért a mozgatórendszer vizsgálata terhelés vagy mozgás közben nem lehetséges.

### Elektromiográfia-EMG

Az EMG vizsgálatok célja, az izomműködést vezérlő elektromos impulzusok nagyságának, az izmok elektromos aktivitásának mérése. Lehetőség van egy izom vagy izomcsoportot aktiváló elektromos impulzusok mérésére illetve több izomcsoport esetén a bekapcsolási sorrendek regisztrálására. Az inger regisztrálása a bőrfelszínre ragasztott úgynevezett felszíni elektródák elhelyezésével történhet, vagy az izomba beszúrt tűelektródákkal vagy izomba vezetett vékony fémhuzalok segítségével. A mérések során detektálásra kerülhet egy izomcsoportot aktiváló elektromos impulzus amplitudója, frekvenciája, a frekvencia spektruma, egy időablakon, időintervallumon belül az átlagos és maximális feszültségérték. Az eljárással meghatározható, ha a mozgások végrehajtásában egyes izmok nem megfelelő mértékű, vagy rossz sorrendben történő bekapcsolása hoz létre zavart. A méréseket ritkán alkalmazzák önállóan, általában megfelelő szinkronnal együtt dinamométerrel vagy mozgáselemzéssel együttesen történik az adatok regisztrálása. Emiatt komoly gyakorlat szükséges a megfelelő vizsgálati pontosság és a lehető legkisebb mérési zaj eléréséhez.

### Invazív vizsgálati módszerek

Az invazív módszerek kivitelezése esetén a test bőrfelszínének átvágása történik illetve mintagyűjtés a bőrfelszín alól. Ezen eljárásokat csak megfelelő orvosi szaktudással rendelkező személy végezheti! A vérvizsgálat jelenthet laborvizsgálatot (pl. kisrutin), amikor adott standardok szerint történik laboratóriumban a vérminta feldolgozása, vagy akár a terhelés közben fülcimpából vagy ujjbegyből vett minta alapján pillanatnyi laktátszint meghatározása.

Az izombiopszia mintavételi eljárással meghatározható a sportoló izomzatának rostaránya, nevezetesen hogy milyen arányban tartalmaz a vizsgált izom lassú (I)-átmeneti (IIA)-gyors (IIB) rostokat. Az eljárást mostanában már ritkán alkalmazzák, bár a fiatalok sportágválasztásánál adhat hasznos információkat, de még a legnagyobb körültekintéssel végzett mintavétel esetén is maradnak az izomban olyan sérülések, amelyek később a maximális terhelés során problémát okozhatnak.

### Okostelefonok, okosórák, alkalmazások

Az okoseszközök fejlődésével egyre több olyan paraméter mérhetővé válik, vagy egyre pontosabban lehet megbecsülni, amelyek regisztrálásához korábban csak nagyon komoly laboreszközök felhasználásával volt lehetőség. Az okostelefonok rendelkeznek gyorsulásmérővel, GPS vevővel, tudják mérni a hőmérsékletet, légnyomást, az okosórák regisztrálják a pulzust. Ezen adatokból akár nagyon összetett mérések kivitelezése is lehetséges, amelynek felhasználása nemcsak a rekreációs sportban lehetséges, hanem az élsportolók felkészülésében is nagy segítséget nyújthat. Ezen segédletben direkt nem említünk szoftvereket, mert a rendszerek hónapról hónapra fejlődnek, szinte naponta megjelennek újabb és többet tudó rendszerek.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A biomechanikai mérési eljárások általános célja, hogy a sportolók vagy a sérülés során, vagy után a vizsgálati személy testének kinematikai és dinamikai paramétereinek mérését lehetővé tegye. Az egyszerű kinematikai mérőberendezésektől, mint például a mechanikus goniométerek az igen összetett telemetriai rendszerekig, vagy a dinamikai vizsgálatoknál a könnyen, gyorsan használható szorítóerőmérő-től az komoly szaktudást igénylő számítógép vezérelt dinamométerekig a tudósok és edzők számra széles paletta áll rendelkezésre a sportolók fizikai állapotának méréséhez. A megfelelő eljárás kiválasztását a mérendő paraméter jellege, a laboratórium, a sportoló vagy egyesület szövetség anyagi lehetőségei, a megfelelő szakembergárda hozzáférhetősége határozza meg. De minden esetben a sportoló optimális felkészítésénél az edző, sportorvos, dietetikei szakértő mellett egyre kevésbé elhagyható a megfelelő biomechanikai paraméterek regisztrálása és feldolgozása.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Milyen mérőeszközzel lehet a sportoló sebességét regisztrálni?

Milyen haszna van a sérülések diagnosztikájában a goniométernek?

Milyen esetekben alkalmazna erőplatót?

A szorítóerőmérés milyen esetekben nem ad releváns eredményt?

Milyen markereket különböztetünk meg?

A telemetriai rendszerek milyen alapadatokat regisztrálnak?

Milyen vizsgálatoknál használható az EMG?

Mik az előnyei az ultrahang berendezéseknek az MR-rel szemben?

# Kinematika

## BEVEZETÉS

A kinematikai vizsgálatok célja a sportoló tömegközéppontjának, vagy a testén egy kitüntetett pontnak az út, sebesség, gyorsulás-idő vagy másképp fogalmazva s(t), v(t), a(t) függvényeinek meghatározása. A fejezetben egyszerű példákon keresztül bemutatásra kerülnek ezen függvények meghatározásának módszerei és alkalmazásának lehetőségei a sportban.

### Vonatkoztatási rendszer

Amennyiben a cél egy adott pont helyzetének meghatározása, mozgásának követése és sebességének vagy gyorsulásának meghatározása, akkor minden esetben egy koordinátarendszerben vagy más néven vonatkoztatási rendszerben történik a mozgás leírása. A vonatkoztatási rendszer megadása általában önkényes, a vizsgálat vezetőjétől függ, de bizonyos praktikus szempontokat érdemes figyelembe venni. Általában érdemes a kezdőpontot vagy origót egy jól definiált ponthoz például a startvonal egy pontjához helyezni. Érdemes úgy felvenni a koordináta tengelyeket, hogy a mozgások domináns iránya az egyik tengely irányába essen. Mivel a sebesség, gyorsulás mennyiségek vektorok, így megkönnyítjük az értelmezést. A mozgás történhet egy vonal mentén, vagyis egy dimenzióban, síkben, ami a két dimenziónak felel meg, vagy térben, 3 dimenzióban. Érdemes a mozgás értelmezéséhez szükséges legegyszerűbb vonatkoztatási rendszert felvenni.

### Vizsgálatba bevont pontok

A vizsgálatba a mozgást végző személy egyes pontjait vesszük bele. Lehetnek ezen pontok anatómiai vagy funkcionális testfelszínen elhelyezkedő egyes kitüntetett pontok, egyes végtagok-szegmensek résztömegközéppontjai, vagy a test tömegközéppontja. Amennyiben a vizsgálatban tömegközéppontok felhasználásával történik az adatgyűjtés, akkor megfelelő mozgáselemző rendszerre, testmodellre és szoftverre van szükség. Amennyiben nem pontszerű, hanem kiterjedt testként tekintünk a személyre, akkor az elemzés pontosabb eredményt ad, de a fizikai modell, a számítások sokkal összetettebbek lesznek.

### Mozgások felosztása az elmozdulás szerint

A két leg alapvetőbb mozgás az egyenesvonalú mozgás és a körmozgás. Ezek matemetikai leírása relatíve egyszerű, a középiskolai fizika tananyag tartalmazza a megfelelő képleteket. Azonban a valóságban tisztán egyenesvonalú vagy körmozgás nem létezik, helyette a létrejövő mozgásokat görbevonalú mozgásoknak nevezzük. Szerencsére a görbevonalú mozgások megfelelő fázisai felbonthatók jó közelítéssel egyenes vonalú és körmozgásra, és így a fizikai értelmezés bár szakaszonként, de relatíve egyszerűen kivitelezhető.

### Út, pálya, elmozdulás

A mozgást létrehozó személy (sportoló) mozgása során a test egy kitüntetett pontjának mozgása egy pályát ír le. Amikor erről egy filmfelvétel készül, csak egyes egymásután következő állóképek rögzítése történik a mintavételi frekvencia függvényében. Így a regisztrált út nem egy folytonos vonal, hanem egymáshoz képest bizonyos távolságra elhelyezkedő pontok összessége lesz. Az egymás után következő képkockákon elhelyezkedő pontok a t1 és t2 időpillanatok közötti elmozdulást mutatja, amit az elmozdulás vektorral jellemezhetünk.

### Transzlációs és rotációs mozgás

Amennyiben nem pontszerű, hanem kiterjedt test mozgását vizsgáljuk, akkor a test végezhet transzlációs-egyenesvonalú, rotációs-forgó mozgást, vagy a kettőt együtt. Fontos megemlíteni, hogy a rotációs mozgásnál lehet a forgás tengelye rögzített, például a tornász nyújtón végzett gyakorlatánál, vagy folyamatosan változó, mint például a tornász lovon kivitelezett Magyar vándora esetén. Érdemes tudni, hogy amennyiben a forgás a levegőben történik alátámasztási felület nélkül, például egy leugrás vagy toronyugrás esetén, akkor a test forgásának tengelye áthalad a sportoló tömegközéppontján.

### Súlypont

Súlypont: A kiterjedt test egy idealizált, elméletileg meghatározott pontja, amelyben a testszegmensek súlyerejének forgatónyomatéka nulla. A rendszer súlypontján mindig áthalad a gravitációs erő hatásvonala

***Egyensúlyi helyzet a talajon***

Az egyensúlyi helyzetek talajon rész egy későbbi fejezetben lesz részletesen tárgyalva.

### Egyensúlyi helyzet vízben

Vízben az emberi test helyzetét amennyiben nincs haladó mozgás dominánsan két erő határozza meg: a gravitációs erő és a felhajtóerő. Ezen két erő támadáspontja nem azonos, az erők hatásvonala párhuzamos, ám míg a gravitációs erő lefelé, a felhajtóerő felfelé hat. A felhajtóerő támadáspontja és hatásvonala a tüdő alacsony sűrűsége miatt közelebb van az ember fejéhez, így a két erő olyan erőpárt alkot, aminek hatására az emberi test úgy fordul el, hogy a fej felül, a lábak alul helyezkedjenek el. Amennyiben az úszó vízszintes testhelyzetet szeretne felvenni, legnagyobbrészt megfelelő lábtempóval az alsó végtagot és a törzset vissza kell forgatnia. Ez a mozgás azonban energiát igényel. Amennyiben a sportoló olyan anatómiai felépítéssel rendelkezik, hogy a gravitációs erő és felhajtóerő támadáspontja és így hatásvonala közelebb helyezkednek el egymáshoz, akkor a sportolónak jobb a „vízfekvése”, kevesebb energiát igényel a vízszintes helyzet felvétele és több energia marad szabadon a transzlációs mozgás fenntartására, vagyis a haladó mozgás gyorsabb lehet.

***Egyensúlyi helyzet a levegőben***

Az egyensúlyi helyzetek levegőben rész egy későbbi fejezetben lesz részletesen tárgyalva. Most annyit emelnénk ki, hogy a levegőben amennyiben nincs semmilyen alátámasztás vagy felfüggesztés az emberre csak a gravitációs erő hat. Emiatt az ember tömegközépponja g gyorsulással mozog a Föld középpontja felé. A tömegközéppont mozgásának pályája lehet egyenes vagy parabola. A mozgó test eközben rotációs mozgást is végezhet, a rotációs mozgás tengely mindig áthalad az ember tömegközéppontján.

### Transzlációs és forgó mozgás az ízületekben

Az ízületekben megkülönböztetünk az ízületi felszínek között tisztán transzlációs, tisztán rotációs és a kettő együttes létrejöttével gördülő mozgást. Az egyidejű transzlációs és forgómozgás gördülésnek nevezzük. Az ízületi kopások szempontjából a legfontosabb az ízületi felszínek közötti távolság és az ízületi kenés, lubrikáció formája, azonban érdemes megjegyezni, hogy azonos nyomó és nyíróerőt feltételezve azon mozgások a leg károsabbak, amelyek esetén nagymértékű az ízületi felszínek között a súrlódás. Emiatt azon ízületek vannak a legnagyobb mértékben kitéve az ízületi kopásoknak, ahol tisztán transzlációs és tisztán rotációs mozgások következnek be.

### Mozgások felosztása pálya és időbeli lefolyás alapján

Az egyenesvonalú egyenletes mozgás esetén a sebesség állandó, a mozgás pályája egyenes. Az egyenletes változó pályájú mozgás sebességvektorának nagysága végig állandó ám az iránya változik. A nem egyenletes mozgásoknál az egyenletesen változó mozgásnál a sebességváltozás állandó, vagyis a gyorsulás állandó, a nem egyenletesen változó esetén a gyorsulás nem konstans. Amennyiben például egy súlyzó felemelése esetén a mozgás sebessége állandó izokinetikus gyakorlatról beszélhetünk, amikor a mozgás során a gyorsulás állandó izotóniás gyakorlatra kerül sor.

### Egyenesvonalú egyenletes mozgás

Egyenesvonaló egyenletes mozgás esetén a test azonos idők alatt azonos utakat tesz meg. A megtett út és az ezalatt eltelt időtartam hányadosa a sebesség. A mozgás esetén mivel a sebesség állandó a sebességváltozás vagyis a gyorsulás értéke nulla.

### Egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgás

Egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgás esetén azonos idők alatt a sebesség értékének változása állandó. Megkülönböztethetünk nulla és nem nulla kezdősebességről kezdődő mozgást, a két esetben a felhasznált képletek eltérőek. Mind az egyenletes, mind az egyenletesen változó mozgást leíró képletek megtalálhatóak bármelyik középiskolai fizika-mechanika tankönyvben vagy négyjegyű föggvénytáblázatban.

### Pillanatnyi sebesség-átlagsebesség

Átlagsebesség számításánál az összes megtett út számértékét elosztjuk a megtételéhez szükséges idővel. Pillanatnyi sebesség esetén egy nagyon rövid időtartam (dt) alatt megtett út és az idő hányadosát számítjuk ki.

### Kinematikai grafikonok

Az elmozdulást, sebességet a mozgás jellegének megfelelő út, sebesség, gyorsulás-idő grafikonokkal lehet jellemezni. Amint későbbi példákon keresztül látni fogjuk ezen grafikonak meredeksége, maximuma, jellege számos információt szolgáltat a biomechanikai szakembereknek. Ezen a ponton csak azt emelnénk ki, hogy amennyiben a sebesség-idő grafikon megrajzolására lehetőség van, úgy a grafikon alatti terület, máshogy fogalmazva a grafikon integrálja megadja az adott időintervallumon belül a megtett út nagyságát.

A sportoló mozgása során a kinematikai paraméterek grafikus ábrázolása számos elemzés kivitelezésére ad lehetőséget. Például amennyiben a tömegközéppont sebesség-idő grafikonja rendelkezésre áll, a grafikon meredeksége egy adott pontban megadja a gyorsulást. Amennyiben a gyorsulás ismert, a sportoló tömegének ismeretében a sportolóra ható eredő erő kiszámolható.

### Speciális mozgások-szabadesés

Amikor a sportoló a levegőben tartózkodik a tömegközéppontja az alátámasztás vagy felfüggesztés hiányában a=g=9,81 m/s2 gyorsulással mozog a föld felszíne (Föld középpontja) felé. Ebben az esetben az egyenletes gyorsulás képletei használhatóak, de azz értéke g-vel lesz egyenlő. Nagyobb sebességnél a közegellenállás már jelentős ellenálló, rezisztív hatással bír, de kisebb sebesség esetén ez az ellenállás elhanyagolható.

### Speciális mozgások-vízszintes hajítás

Vízszintes hajításnál a test (pl. labda) vízszintes irányban állandó sebességgel halad (amennyiben a közegellenállás nem akadályozza) míg függőleges irányban a szabadesés mozgásegyenleteinek megfelelően mozog. A mozgás matematikai értelmezésében nagy segítséget nyújt, ha a mozgást felbontjuk vízszintes és függőleges komponensekre. Így lehetővé válik külön a vízszintes irányú és a függőleges irányú mozgás matematikai tárgyalása.

### Speciális mozgások-ferde hajítás

Amennyiben egy sportszert a vízszinteshez képest ferde szögben hajítunk el (pl. súlylökés) ferde hajításról beszélünk. Felmerül a kérdés, hogy amennyiben a sportszer hajításánál a kidobási sebesség állandó, a sportszer elengedése a sportoló anatómiai paramétereinek figyelembe vételével állandó, létezik-e optimális dobási szög, amellyel a sportszert kidobva az a legmesszebbre repül. A kérdés megoldását a h magasságból v kezdősebességgel adott szögben hajított test mozgásegyenlete megadja, amely eredményül a dobás távolságát adja meg. Ebből az optimális dobási szög adott kezdősebesség és h dobási magasság esetén meghatározható. Figyelembe kell venni ugyanakkor, hogy ez a megoldás csak súlylökés és kalapácsvetés esetén ad pontos eredményt. A diszkoszvetés, gerelyhajítás során a sportszerre felhajtóerő hat, amely megemeli, így az optimális dobási szög kisebb, mint súlylökésnél.

### Speciális mozgások-a függőleges hajítás-függőleges felugrás

A sportmozgások túlnyomó részénél a hely és helyzetváltoztatásnál a döntő szerep az alsó végtagok izomzatára hárul. Emiatt ezen izmok fizikai állapotának meghatározása kiemelten fontos egy sportoló diagnosztikai felmérésében. A függőleges felugrások vizsgálata hatékony módszernek bizonyul a fizikai paraméterek meghatározásához. Amennyiben viszont a cél az alsó végtag izomzatáról képet kapni a karokkal létrehozott lendületvétel befolyásolja a mérést, ezért a karok az ilyen jellegű mérések esetén mindig csípőn vannak.

A felugrási magasság meghatározására számos módszer terjedt el. A levegőben tartózkodás ideje alapján könnyen lehet az emelkedési magasságra becslést adni, azonban míg a talajelhagyásnál az ízületek nyújtva vannak, addig a talajra érkezésnél az ízületek nagymértékben behajlítva helyezkednek el, ami miatt a mozgás nem lesz szimmetrikus, és a számítás nem lesz pontos. Mindazonáltal amennyiben a cél egy személy esetén a fejlődés mérése egy longitudinális mérés során, az eljárás az összehasonlításokra alkalmazható. Pontosabb képet kapunk, ha erőplatóval regisztrált erő-idő görbe alatti terület (görbe alatti integrál) mérése alapján történő számolással határozzuk meg az emelkedési magasságot.

A függőleges felugrás kivitelezése során számos dolgot figyelembe kell venni. A mozgás amplitudója befolyásolja az emelkedési magasságot, ezért érdemes mindig hasonló kiindulási szöghelyzetből kivitelezni az ugrást. A kivitelezés módja is eltérő eredményre vezet. Megkülönböztetünk guggoló kiindulási helyzetből felugrást (squat jump), lendületvétellel felugrást (countermovement jump) és mélybeugrást (drop jump). Ezen ugrások összehasonlítása lehetőséget szolgáltat egyes speciális izomműködést célzó kutatás végrehajtására. A squat jump és a countermovement jump összehasonlítása például azt mutatja, hogy a második esetben az emelkedési magasság nagyobb lesz. Az eredmények alapján megbecsülhetővé válik az eltérő izom aktivációs szint, az elasztikus elemekben tárolt energia hatása a felugrási magasságra.

A függőleges felugrást elsősorban az emelkedési magassággal jellemezzük, de amennyiben rendelkezésre áll erőplató, meghatározható a maximális erő, az erőfelfutási meredekség (RTD), ami a robbanékonyságot jellemzi, vagy a leérkezésnél, talajfogásnál az impakterő.

### Körmozgás

Az emberi ízületek túlnyomó részében egy vagy több tengelykörüli forgó mozgás jön létre, melynek hatására a végtag pontja körmozgást végeznek. A körmozgást jellemző alapadatok: periódusidő, frekvencia, kerületi sebesség, szögsebesség, szöggyorsulás. Körmozgás jellemzésénél nem a fokot, hanem a radiánt alkalmazzuk, az SI mértékegységrendszernek megfelelően. A körmozgás során a tömegpont sebességvektorának iránya folyamatosan változik, ami miatt a pont gyorsulása nem lesz nulla. Egyenletes körmozgás esetén, vagyis ha a kerületi sebesség állandó, a test gyorsulása lesz a centripetális gyorsulás, amelynek iránya (ne felejtsük el, a gyorsulás vektormennyiség) a körmozgás középpontja felé mutat. Amennyiben a kerületi sebesség változik, akkor a centripetális gyorsulás mellett megjelenik egy érintőirányú, úgynevezett tangenciális gyorsulás.

Amennyiben a tömegpont körmozgásának kinematikai paraméterei és a mozgó pontszerű test tömege ismertek, akkor kiszámolható, hogy mekkora erő szükséges a test körpályán tartásához. Például meghatározható, hogy egy kalapácsvetőnek mekkora erőt kell kifejtenie, ha a kalapácsot adott sugarú körpályán adott sebességgel szeretné mozgatni.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A sportmozgások elemzésénél az egyik legfontosabb feladat a sportoló kinematikai paramétereinek mérése. A mozgás szempontjából praktikus vonatkoztatási rendszer felvétele után mozgáselemző, telemetriai rendszer vagy más kinematikai adatokat szolgáltató mérési eljárással a lényeges kinematikai paraméterek mérése kivitelezhető. Egyes mért nyers adatok ismeretében egyszerű fizikai összefüggések használatával olyan számítások végezhetőek, (pl. felugrási magasság, dobási távolság) amelyekkel a sportoló pillanatnyi fizikai állapota monitorozható vagy a felkészülése segíthető.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Hol legyen a vonatkoztatási rendszer középpontja?

Mire lehet következtetni a sebesség-idő grafikon meredekségéből?

Miért eltérő a kidobási szög súlylökésnél és diszkoszvetésnél?

Függőleges felugrás vizsgálatánál mikor és miért lényeges, hogy a karok csípőn legyenek?

Milyen függőleges felugrás típusokat ismer?

Vízszintes hajításnál hogyan bontható fel a test mozgása?

Milyen anatómiai feltételnek kell teljesülnie, hogy jó legyen az úszó vízfekvése?

Milyen elmozdulások eredményezik a legnagyobb mértékű kopást az ízületi felszíneknél?

# Dinamika

## BEVEZETÉS

A dinamika az erőkkel, a testek erőhatás eredményeként létrejövő vagy megváltozó mozgásával foglalkozik. A biomechanika célja, hogy meghatározza a mozgások során a mozgatórendszerre, a mozgatórendszerben az egyes komponensekben ébredő erőket. Sportmozgások esetén pedig a sportolót érő erőhatások meghatározása támpontot nyújthatnak az edzőknek a felkészítés során a megfelelő terhelés kiválasztásához.

### Newton törvények

A dinamika alapját a Newton törvények adják. A Newton I., II. és III. törvénye segítségével a mozgás kinematikai paramétereinek ismeretében a testre ható erők nagysága kiszámítható. A törvények biomechanikai szemontból történő alkalmazása lehetővé teszi, hogy meghatározásra kerüljenek egy személy mozgása közben a rá ható erők, megfelelő eljárásokkal kiszámolhatók az ízületekben megjelenő forgatónyomatékok, egyes esetekben az izmokban létrejövő erők megadhatóak. Ezek a mozgás közben a mozgatórendszert érő terhelés meghatározása szempontjából elengedhetetlenek, sportmozgások esetén pedig lehetőség nyílik a sportoló felkészülése során a sportoló által elvégzett munka pontos meghatározására.

### Newton I. Tehetetlenség törvénye

Minden test megtartja nyugalmi állapotát, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, amíg arra egy másik test vagy mező erőt nem gyakorol. Ez gyakorlati szempontból azt jelenti, hogy amennyiben egy test nyugalomban van, vagy egyenes vonalú mozgást végez, akkor nem hatnak rá erők, semmivel nincs kölcsönhatásban. Mivel a Földön a gravitációs erő mindig hat, ezért teljesen kölcsönhatás és erőmentes környezet nem elképzelhető. Emiatt Földi környezetben az lesz igaz, hogy amennyiben egy test nyugalomban van, vagy egyenes vonalú mozgást végez, akkor a rá ható erők eredője, vagyis vektoriális összege nulla. Másszóval az erők kiegyenlítik egymást. Biomechanikai számításoknál például amennyiben a sebesség nulla vagyis izometriás kontrakció jön létre, a számolás alapja, hogy a rendszerben az erők kiegyenlítik egymást.

### Newton II. A dinamika alaptörvénye.

A testre ható erő egyenesen arányos az általa létrehozott gyorsulással, az arányossági tényező a tömeg. Képlettel F=m•a. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy amennyiben két személy azonos tömegű, az fog nagyobb gyorsulással (nem sebességgel!) mozogni, akinek az izmai nagyobb erő kifejtésére képesek. Vagy megfordítva ha két személy azonos erőt fejt ki az izmaival, amelyik kisebb tömegű, annak nagyobb lesz a gyorsulása. Azon sportmozgások esetén ahol az agilitásnak, mozgékonyságnak, gyors hely és helyzetváltoztató képességnek nagy szerepe van különösen fontos, hogy a sportoló testtömege a lehető legkisebbre csökkenjen miközben nem csökken az izomerő, ugyanis így nagyobb gyorsulások érhetők el.

### Newton III. Hatás-ellenhatás törvénye

Ha A test erőt gyakorol a B testre, akkor a B test is erőt gyakorol az A testre. A két erő egyenlő nagyságú, közös hatásvonalú, de ellentétes irányú. Képlettel Fa=-Fb. Ezen az elven működnek az erőplatók, ahol tulajdonképpen a személy által a platóra ható erő reakcióerejét mérjük. Vagy ütközéseknél, pl. fejelésnél ugyanakkora erővel hat a labda a fejre, mint a fej a labdára.

### A dinamika alapegyenlete

A Newton törvényekből következik a dinamika alapegyenlete, vagyis a testre ható erők eredője egyenlő a test tömegének és gyorsulásának szorzatával. Kiterjedt test esetén terészetesen ez a tömegközéppontra lesz igaz.

### A dinamika alapegyenletének következményei

Amennyiben egy testre ható erők eredője nulla, akkor a test vagy nyugalomban van, vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Természetesen ez fordítva is igaz, vagyis nyugalomban vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végezve a testre ható erők eredője nulla. Amennyiben azonos erő hat egy könnyebb testre, akkor a gyorsulás nagyobb lesz. Ez a sportolók szempontjából azért érdekes, mert ha a sportolónak súlyfeleslege van, akkor azonos izomfeszülés hatására kisebb gyorsulás érhető el, a mozgékonyság csökkenni fog. Amikor pedig olyan mozgásokat tekintünk, mint pl.: súlylökés vagy súlyemelés, ahol a sportoló és a sportszer együttes mozgása valósul meg, az izomzat által létrehozott erőkifejtés számolásánál nem lehet eltekinteni a sportoló testének tömegétől, amely befolyásolja az erőkifejtés eredményeként létrejövő gyorsulás értékét.

Példák a dinamika alaptörvényének alkalmazására

Sportmozgásoknál a kinematikai értékek ismeretében a testre ható erők meghatározhatóak. Például súlyemelés esetén az erőkifejtés nem egyenletes, a kivitelezés során helyi maximumok, úgynevezett kulcspozíciók azonosíthatóak. Ezen pillanatokban a maximális gyorsuláshoz erőmaximumok tartoznak, amelyek lényegesen nagyobbak, mint a súlyzók nyugalmi súlya. Vagy tenisz esetén a labda és az ütő közötti kontaktus időtartama, a labda sebessége alapján az ütőre és így a teniszezőre ható erő nagysága kiszámítható. Ezen számítások jelentősége a sportoló és az edző számára a felkészülés során a terhelések nagyságának beállításához szükséges és így a túlzott, akár káros vagy sérülést eredményező erőhatások alkalmazásai elkerülhetők.

Fontos megjegyezni, hogy az erő vektormennyiség, vagyis nemcsak a nagysága, az iránya is fontos. A test pillanatnyi gyorsulásának iránya az eredő erővektor irányába fog mutatni.

### Hill törvény, Hill görbe.

A Hill görbe az izom kontrakciójánál megfigyelhető erő-sebesség karakterisztikát írja le koncentrikus kontrakció esetén, vagyis amikor az izom rövidül a feszülés közben. Leegyszerűsítve a Hill törvény azt mondja ki, hogy egy súly mozgatása közben a súly nagysága és a kontrakció során az izom rövidülésének sebessége között fordított arányosság figyelhető meg, más szóval minél nagyobb a koncentrikus kontrakció során a rövidülés sebessége, annál kisebb erőkifejtét tud létrehozni az izom. Az összefüggést koncentrikus kontrakciónál az erő-sebesség görbén egy hiperbolával lehet jellemezni, ahol a maximális erő értékhez a görbén nulla sebesség tartozik, ez lesz a maximális izometriás erő, míg a maximális sebességhez a nulla erő érték. A Hill törvény megmutatja, hogy nem mindegy milyen terhelést és kontrakciós sebességet alkalmaznak a sportolók edzés közben. Ugyanis az izomzat speciálisan a terhelés mértékéhez és a kontrakció sebességéhez képes nagymértékben alkalmazkodni.

### Dinamikai jellemzők körmozgásnál

Körmozgás során a test sebességének iránya folyamatosan változik. Ezért a testnek lesz gyorsulása, vagyis a testre erő kell, hogy hasson. A körmozgás létrejöttének feltétele, hogy a testre folyamatosan hasson a kör középpontja felé ható erő vagy erők. Ezen erők eredőjét nevezzük centripetális erőnek. A körmozgás kinematikai paramétereinek ismeretében (vagyis a kör sugarának és a szögsebességnek vagy a kerületi sebességnek ismeretében) a centripetális erő kiszámítható. Amennyiben a körmozgás egyenletes, vagyis a kerületi sebesség állandó, a testre ható erők eredője a centripetális erővel lesz egyenlő. Amennyiben viszont a kerületi sebesség nem állandó a centripetális erő mellett megjelenik egy a kör érintőjének irányába mutató tangenciális erőkomponens. Ebben az esetben az eredő erőt a centripetális és a rá merőleges tangenciális erőkből Pithagorasz tétel segítségével lehet kiszámítani.

### Forgatónyomaték

Az emberi testben található ízületek jelentős részénél forgó mozgás jön létre. Az ízület forgástengelyétől egy bizonyos távolságra a szegmenshez vagy végtaghoz kapcsolódó izomerőt fejt ki. Ennek hatására a végtag a forgástengely körül elfordul. Az izom által létrehozott erő és az erőkar, vagyis a forgástengely és az erőhatásvonala által létrehozott távolság szorzata megadja a forgatónyomaték értékét. Képlettel M=F∙k. Általánosan is így számítható ki a forgatónyomaték, vagyis erő és erőkar szorzata. Természetesen nemcsak az izmoknak, a tartott vagy mozgatott súlynak is van forgatónyomatéka, amit azonos módon lehet az ízületre vonatkoztatva kiszámítani.

Abban az esetben ha a rendszer egyensúlyban van a forgástengelyre felírt forgatónyomatékok összege nulla, vagyis az ellentétes irányba forgást létrehozó erők forgatónyomatékainak értéke megegyezik, ∑M=0. Izometriás kontrakció során az ízületre ható külső erő és az izmok illetve szalagok által létrejövő forgatónyomatékok összege lesz nulla. Forgó mozgás létrejöttekor nemcsak az fontos, hogy a forgatónyomaték értéke mekkora, a hatására létrejövő forgás iránya is számít, ezért a forgatónyomaték is egy előjeles mennyiség.

### A dinamika alapegyenlete forgó mozgásra, tehetetlenségi nyomaték

A dinamika alapegyenletének forgó mozgásra felírt formájában az erőt a forgatónyomaték helyettesíti, a gyorsulást a szöggyorsulás, a tömeget a tehetetlenségi nyomaték. A tehetetlenségi nyomaték kiszámítható, ha a test minden egyes tömegpontjának tömegét és a forgástengelytől mért távolságának négyzetét a test minden egyes tömegpontjára összeadjuk. Emiatt nem mindegy a forgástengely hol helyezkedik el a tehetetlenségi nyomaték számításánál. A legtöbb alap geometriai testre illetve az emberi testben található szegmensekre táblázatokban a tehetetlenségi nyomaték értéke megtalálható.

### A szegmensek tehetetlenségi nyomatékának következménye

Abban az esetben, ha egy nem különösebben nagy tömegű végtagot statikus helyzetben kell tartani külső terhelés nélkül ehhez általában nem szükséges különösebben nagy forgatónyomaték, ám amennyiben a szegmens forgó mozgást végez nagy sebességgel és ezt a forgást kell hirtelen megállítani, a forgó szegmens „tehetetlensége”, tehetetlenségi nyomatéka eredményezi, hogy igen nagy forgatónyomaték és ennek következtében izom erő értékek jöhetnek létre. Szélsőséges esetben az amúgy nem nagy tömegű végtag hirtelen nagy szögsebességváltozással létrejövő mozgás állapotváltozása eredményez izomsérülést. Más esetekben viszont a hirtelen lelassuló és megáló szegmenshez kapcsolódó izmokban elasztikus energia tud tárolódni, ami pozitív hatással van a mozgás gazdaságosságára.

### Az erőkar értékei az emberi testben és következményei.

Statikus helyzetben az emberi testre ható belső és külső erők forgatónyomatékai megegyeznek. De az emberi testben az izmoknál mérhető erőkarok értékei a külső erőkhöz tartozó erőkarokhoz képest lényegesen kisebbek. Ez viszont azt eredményezi, hogy egyensúlyi helyzetben az izmoknál mért erők értéke lényegesen nagyobb, mint a külső erők értéke. Az izomnál mérhető erő reakcióereje megjelenik az ízületi felszíneken. Ennek eredményeként az ízületi felszíneket érő terhelés értéke a külső erőnek sokszorosa is lehet, ami az ízületek sérülésének kockázatát jelentős mértékben megnöveli.

### Belső és külső erők, nyomaték egyensúly

Az emberi szervezetre, mozgatórendszerre belső és külső erők egyaránt belső erők hatnak. Külső erők például a gravitációs erő, ütközési erő, felhajtóerő, közegellenállási erő, súrlódás. Belső erő az izomerő, az inaknál, szalagoknál, porcnál, csontnál megjelenő erők. Az izomerő mivel neurális ingerek hatására akaratlagosan szabályozható aktív erőnek tekinthető, a többi passzív erő.

Amennyiben a végtagra ható külső és belső erők forgatónyomatéka megegyezik, a végtag nem mozdul el, az izom hossza nem változik, de feszülése növekszik, ezt nevezzük izometriás kontrakciónak. Amennyiben azizomerő forgatónyomatéka nagyobb a kontrakció során, az izom rövidül, ez a koncentrikus kontrakció. Ha a külső erők forgatónyomatéka nagyobb az izom ingerlése során, megnyúlik, ezt nevezzük excentrikus kontrakciónak.

### Az izomkontrakciók osztályozása

Amint láttuk a belső és külső erők forgatónyomatékainak viszonya (egymáshoz viszonyított nagysága) határozza meg az ízületi szögváltozást. Az izometriás, koncentrikus, excentrikus kontrakciók mellett az emberi mozgások során gyakran létrejövő más kontrakciótípusról is érdemes szót ejteni. Az emberi mozgások esetén gyakran előfordul, hogy az excentrikus kontrakciót gyorsan koncentrikus kontrakció követi. Ilyenkor (amikor a mozgás végrehajtásánál a mozgás irányával ellentétes irányban lendületvétel történik) a koncentrikus kontrakciós fázisban nagyobb erőt, nagyobb teljesítményt lehet mérni, a tisztán koncentrikus kontrakcióval összehasonlítva. Ezen kontrakciót a szakirodalom nyújtásos-rövidüléses ciklusnak nevezi (Stretch-Shortening Cycle-SSC). Abban az esetben, ha az izom hosszváltozása állandó sebességgel következik be izokinetikus, ha állandó gyorsulással izotóniás kontrakcióról beszélünk.

### Az izom három komponenses modellje

Az emberi vázizom az esetek túlnyomó részében három biomechanikai szempontból elkülöníthető funkcionális egységre bontható. A kontraktilis elemeket, fehérjéket tartalmazó részt aktív elemeknek, a végükhöz kapcsolódó rugalmas kötőszövetes részt, ami leggyakrabban az ín sorosan kapcsolt elasztikus elemeknek, illetve a kontraktilis elemeket körülvevő és bennük megtalálható rugalmas részeket párhuzamosan kapcsolt elasztikus elemeknek nevezzük. Ezen részek együttesen határozzák meg az izom feszülését, illetve a hosszváltozását. Az elasztikus elemek befolyásolják a mozgástartományt és bennük elasztikus energia tárolására van lehetőség, amely a mozgás során az erőkifejtés mértékét vagy akár a leadott teljesítményt befolyásolja.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberi mozgatórendszer mozgását a Newton törvények alapján lehet leírni. Abban az esetben, ha a mozgás kinematikai paraméterei ismertek a rendszerre ható eredő erők kiszámíthatók. A sportolók felkészítése esetén az edzés során ezen információk segíthetnek a megfelelő terhelés kiválasztásánál. A mozgások mind transzlációs mind rotációs esetben elemezhetők, de forgó mozgás esetén a mozgásegyenleteknél más változókat alkalmazunk, például az erő helyett a forgatónyomaték, tömeg helyett tehetetlenségi nyomaték használandó. Koncentrikus kontrakciónál a Hill törvény írja le az izom feszülés és a kontrakció sebessége közötti összefüggést.

## ELLENŐRZŐ KÉRÉSEK

Mit mond ki a dinamika alapegyenlete?

Milyen mozgást végez a test, ha a rá ható erők eredője nulla?

Milyen változó határozható meg a test gyorsulásának és tömegének ismeretében?

Mit mond ki a Hill törvény?

Forgó mozgásnál az erő helyett milyen mennyiséggel számolunk?

Milyen következménnyel jár a mozgatórendszerre, hogy az izom erőkarja kicsi?

Mit jelent az excentrikus kontrakció?

Hogyan módosul az erőhatás SSC-nél a koncentrikus kontrakcióval összehasonlítva?

# Energiaviszonyok mozgások közben. Teljesítmény

## BEVEZETÉS

Az emberi mozgások energia felhasználásával jönnek létre. A sportoló felkészülése során a megfelelő terhelés meghatározásához az erőkifejtés mellett az elvégzett munka, a pillanatnyi illetve átlagteljesítmény ismerete jelentős többletinformációt nyújthat a megfelelő intenzitás, a terhelés időtartamának megválasztásához.

### Munka

Mechanikai értelemben a munka definíciója: az elmozdulás és az erő elmozdulás irányába mutató komponensének szorzata. Abban az esetben tehát ha az erő és az elmozdulás egy irányba mutat egyszerűen a két értéket össze kell szorozni, W=F∙s. Amennyiben az erő és az elmozdulás szöget zárnak be egymással megfelelő trigonometriai függvényt kell a számításnál alkalmazni az elmozdulás irányába mutató erő komponens kiszámításához, W=F∙s∙cosα.

Az emberi mozgások esetén természetesen nemcsak akkor történik munkavégzés, ha létrejön elmozdulás, egy súlyt statikusan tartva is munkát végez az izomzat, energiát használ fel, elfárad. Mégis abban az esetben, ha egy sportoló energiafelhasználását szeretnénk meghatározni a közelítő számításokhoz fizikában általánosan használt mechanikai képleteket szoktuk leggyakrabban alapul venni..

### Helyzeti energia

Helyzeti vagy potenciális energiaváltozásról beszélünk, ha egy testet a gravitációs térben a gravitációs erő hatásvonalában mozgatunk. A szükséges energia egy m tömegű test felemeléséhez a test m tömegének, a g gravitációs állandónak és a h emelkedési magasság értékének szorzatával számítható (Eh=m∙g∙h). Amennyiben a gravitációs erővel szöget zár be az elmozdulás, akkor a gravitációs erővel párhuzamos komponenssel kell számolni.

### Mozgási energia

Mozgási vagy kinetikus energiaváltozás akkor jön létre, ha a test mozgásának sebessége megváltozik. Ebben az esetben az energiaváltozás a sebesség négyzetével és a tömeggel arányosan változik (Em=m∙v2∙2-1). Ebből következik, hogy minél nagyobb sebességre szeretnénk egy testet felgyorsítani négyzetesen, annál több energiára van hozzá szükségünk. A kinetikus energia számításánál meg kell különböztetnünk, hogy a test transzlációs vagy rotációs mozgást végez. Forgó mozgás esetén ugyanaz a képlet alkalmazható, csak a rotációra jellemző mennyiségeknek megfelelő formátummal kell számolni (Em=θ∙ω2∙2-1).. Abban az esetben, ha egy sportoló összes kinetikus energiáját szeretnénk meghatározni, akkor a transzlációs és a rotációs energiákat a mozgásban résztvevő szegmensekre egyenként ki kell számolni, majd összeadni. Felmerülhet a kérdés, hogy ha kinetikus energia csak a sebesség megváltoztatásához szükséges, akkor miért fárad el egy futó, ha állandó sebességgel fut. A válasz az, hogy bár a tömegközéppontja állandó sebességgel mozog, de a végtagjai folyamatosan gyorsulnak-lassulnak egy lépésciklus során, így a végtagok mozgása állandó sebességváltozással történik, ami folyamatos energiabefektetést igényel. Ezen kívül pedig a tömegközéppontnak van függőleges irányú elmozdulása is.

### Az emberi test energiaigénye, hatásfok

Az ebben a részben említett fogalmakat csak a teljesség igénye nélkül említeném meg. Ennek egyik oka, hogy a kérdés részben élettani, részben biomechanikai jellegű, illetve az egyéni eltérések nagy szórást mutatnak.

Az embernek minden nap során van egy alap energiaszükséglete. Ez kell, hogy az emberi szervezet (keringés, szabályozás stb…) alapszinten működjön. Ennek számításához rengeteg képlet áll rendelkezésre. Amennyiben a napi rutin során fizikai aktivitás történik, amely közben a vázizomzat munkát végez, ahhoz plusz energiafelhasználás szükséges. Annak meghatározása, hogy mekkora ez az energiaszükséglet, vagyis leegyszerűsítve mennyivel több tápanyag és energia bevitel szükséges nem könnyen határozható meg. Ami befolyásolja, az egyrészt az izom energiafelhasználása. Az izom kontrakciója során hőt termel. Ez a hő nem fordítódik a mechanikai állapot megváltoztatására. Az emberi szervezetben a mozgás közben mechanikai veszteségek is vannak, nem 100%-os a kontrakciók során az energiafelhasználás. Másrészt azt sem lehet pontosan meghatározni, hogy a bevitt tápanyag hányad része szívódik fel és kerül felhasználásra. Emiatt a sportmozgások során a szükséges energia bevitel pontos meghatározása jelenlegi tudásunk alapján nem lehetséges.

### Teljesítmény

A sportmozgások során a sportoló által egy másodperc által elvégzett munka más szóval a teljesítmény mérése alapján lehet következtetni a mozgás közben az intenzitásra. A leadott teljesítmény alapján az edzésmunka nagysága nyomon követhető. A teljesítmény meghatározható, ha az elvégzett munkát elosztjuk az időtartammal vagy a kifejtett erőt a mozgás sebességével, P=W/t, P=F∙v. Az ember által leadott teljesítmény széles határok között változhat. Egy súlyemelő és egy maratonfutó összehasonlításában a súlyemelő a súly emelése közben akár tízszer akkora teljesítményt is kifejthet, mint a maratonfutó futásánál.

A teljesítmény értéke sportmozgások közben leggyakrabban csak becsülhető, de a legújabb fejlesztéseknek köszönhetően egyes sportágaknál, mint például az országúti kerékpárnál a pedálba épített szenzorokkal már igen nagy pontossággal mérhető. Emiatt a terhelés meghatározásánál a kerékpáros már nemcsak a pulzus értékeire támaszkodhat, hanem a pedáltól jövő adatokból számított teljesítmény adatokra. Így a terhelés értéke lényegesen nagyobb pontossággal meghatározható. Más sportágaknál, ahol a kifejtett erő közvetlenül nem mérhető, csak jobb-rosszabb becslésre van lehetőség a leadott teljesítmény meghatározásának tekintetében, de ahogy a technika és a szoftverek fejlődnek egyre pontosabb rendszerek használatára nyílik lehetőség.

### A maximális teljesítmény az izomkontrakciók szemszögéből

A koncentrikus kontrakció tárgykörében a Hill törvény már említésre került. Abban az esetben, ha az izom kontrakciója közben az erő és a sebesség paraméterek mérésére is van lehetőség, akkor a teljesítmény is kiszámítható, mivel a teljesítmény az erő és a sebesség értékek szorzata. Szokás a kontrakciós sebesség-teljesítmény görbét felrajzolni, amely pontjai az adott sebességen megadják az izom által leadott pillanatnyi teljesítményt. A konkáv görbének zérus helye van a nulla és a maximális sebességű pontokban és rendelkezik egy maximum hellyel. Ha ezen ponthoz tartozó sebességértékkel történik a kontrakció, akkor lesz az izom által leadott teljesítmény maximális. Gyakorlati szempontból ez azt jelenti, hogy ha a kontrakció a maximális teljesítményértékhez tartozó sebességgel jön létra, akkor lesz a legnagyobb az izom által végzett munka. Vagyis akkor tud a legtöbb izommunka átalakulni például mozgási energiává egy kerékpáros vagy egy evezős számára, vagyis akkor lesznek a leggyorsabbak. Ez a kerékpár sportban azt eredményezi, hogy ha a sportoló a lehető legnagyobb teljesítményleadással akar hajtani, akkor egy meghatározott fordulatszámmal kell tekernie. A kerékpár esetén a váltónak pont az a funkciója, hogy az izomkontrakció szempontjából optimális fordulatszám tartományban tartsa a kerékpáros mozgását.

Amennyiben a maximális teljesítmény zónájához tartozó sebességgel szeretné a sportoló a mozgást végezni, akkor a maximális izometriás erőnek megfelelő (ez azt a súlyt jelenti, amit nem tud megemelni már, de tartani igen) terhelés 30-40%-ának megfelelő súlyokkal érdemes maximális intenzitással gyakorlatokat végeznie.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A mozgások létrehozásának energiaigénye van. Alapvető fizikai képletekkel kiszámítható, hogy egy adott mozgás végrehajtásának mekkora az energiaigénye. A számítás alapján a terhelés mértéke megbecsülhető. A teljesítményértékek további támpontot adnak a mozgás végrehajtása közben a terhelésről. Egyes esetekben lehetőség nyílik a maximális teljesítményhez tartozó erő és sebességértékek meghatározásához, ami alapján a sportmozgás közben a leadott teljesítmény maximalizálható.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Hogyan számoljuk ki az elvégzett munkát?

Hogyan határozható meg a helyzeti energia?

Milyen kapcsolat van a kinetikus energia és az elért sebesség között?

Az izom kontrakciójának hatásfokát milyen változók befolyásolják?

Miért igényel energiát az állandó sebességű futás?

Hogyan számítható ki a teljesítmény?

Miért fontos egy sportolónál a maximális teljesítményhez tartozó kinematikai paraméterek meghatározása?

Mekkora súlyt kell választani, hogy a mozgás a maximális teljesítményhez tartozó sebességgel történjen maximális intenzitást feltételezve?

# Mozgatórendszerre ható erők

## BEVEZETÉS

Az emberi testre, a mozgatórendszer különböző elemeire a külső és belső terhelés hatására erők hatnak. Ezen erők hatására a mozgatórendszer részei rugalmasan deformálódnak majd az erők növekedésével a sérülés bekövetkezésének valószínűsége egyre inkább megnő. A különböző terhelések ismerete elősegíti, hogy tisztában legyünk az adott mozgások kockázataival.

### Külső és belső erők

A mozgatórendszerre külső és belső erők is hatnak. Külső erő: gravitációs erő, ütközési erő, felhajtóerő, közegellenállási erő, súrlódás. Belső erő: aktív: izomerő. Passzív: inak, szalagok, porc, csont-ra ható erők. Az izomerő azért tekinthető aktív erőnek, mert az izom feszülése aktívan, akaratlagosan szabályozható. A passzív elemekben a feszülés az aktív elemek és a környezet kölcsönhatása eredményeképpen jön létre.

### Húzóerő

A húzóerő két azonos nagyságú, egy vonalon ható, de ellentétes irányú erő, amely a test részecskéi, illetve a test végei közötti távolságot növeli. A húzóerő párhuzamos a test hosszúsági tengelyével és merőleges a test transzverzális síkjára. Fontos megemlíteni, hogy a minden más paraméterében azonos, de kétszer olyan vastag tárgy hossza azonos erő hatására fele akkora mértékben növekszik meg. Az ízületeket rögzítő szalagokban, az inakban a nagymértékű húzóerő először részleges, majd az erő növekedésével komplett szakadást eredményez.

### Nyomóerő

A nyomóerő két azonos nagyságú, egy vonalon ható, egymás felé mutató erő, amely a test részecskéi, illetve a test végei közötti távolságot csökkenti. A nyomóerő párhuzamos a test hosszúsági tengelyével és merőleges a test transzverzális síkjára. Itt is igaz, hogy a minden más paraméterében azonos, de kétszer olyan vastag tárgy hossza azonos erő hatására fele akkora mértékben csökken. A túl nagy nyomóerő gyakran károsíthatja az ízületi felszíneket. Azért, hogy a nagy nyomóerő ne okozzon károsodást egyes ízületeknek olyan a kialakítása, például a térdízületnél a meniszkuszokra lehet gondolni, hogy az erő nagy felületen oszlik el, ezért az egységnyi ízületi felszínre ható nyomásérték kisebb. Az ízületi szalagokban, ínakban nyomóerő nem tud ébredni.

### Nyíróerő

A nyíróerő két azonos nagyságú, nem egy vonalon ható, egymás felé mutató erő, amely a test részecskéit, illetve végeit egymáson elcsúsztatja. A nyíróerő párhuzamos a test transzverzális síkjával és merőleges a test hosszúsági tengelyére. Az emberi csontok a húzó, nyomó, nyíróerő összehasonlításban a nyíró irányú erőhatásnak képesek legkevésbé ellenállni. Az ilyen, leggyakrabban a csont hossztengelyére merőleges erőhatások gyakran eredményeznek törést.

### Csavaróerő

A csavaróerő két azonos nagyságú, a test tengelye körül ható, egymás felé mutató erő, amely a test részecskéit, illetve végeit ellentétes irányban forgatja. A csavaróerő párhuzamos a test transzverzális síkjával és merőleges a test hosszúsági tengelyére, de nem megy át rajta. Kétszer olyan vastag test a csavaró erőhatásoknak 16-szor akkora mértékben tud ellenállni. Ezzel magyarázható, hogy számos emberi csont belül üreges, és így a nagyobb átmérő azonos erőhatásra kisebb deformációt eredményez. Ugyanez az oka, hogy a modern országúti kerékpárokat nagyobb átmérőjű, bár vékonyabb, csövekből készítik, így a csavaró irányú erőhatás eredményeképpen kisebb a deformáció és emiatt a veszteség.

### Hajlító erő

A hajlító erő egy (kettő) a test hosszúsági tengelyére merőlegesen ható erő, amely a test részecskéit az egyik oldalon közelíti, a másik oldalon távolítja. A hajlító erő merőleges a test hosszúsági tengelyére. Amikor például vízszintes alkarral tart egy személy egy súlyzót, az alkar csontjai ennek hatására deformálódnak, lehajlanak. Ha a csont kétszer olyan hosszú, azonos vastagság mellett a lehajlás nyolcszor akkora lesz.

### Az ízületeket érő erőhatások

Az ízületeket érő terhelés meghatározása azért kiemelt fontosságú, mert az ízületi felszíneknek a vér illetve tápanyagellátása minimális, emiatt a regenerálódási képesség is erősen korlátozott. Az ízületeket érő erőket felbonthatjuk nyomó és nyíróirányú erőkomponensekre. A nyomó irányú komponens az ízületi felszínre merőleges, a nyíróirányú az ízületi felszínnel párhuzamos komponens. Az ízületi diszlokációk, ficamok hátterében a túl nagy nyíróirányú komponens van.

### A feszülés-megnyúlás törvény, a Hooke törvény

A Hooke törvény kimondja, hogy a rugalmas testet érő erőhatás és a megnyúlás egyenesen arányosak. Egy test rugalmas tulajdonságairól az úgynevezett Young modulus ad felvilágosítást, amely egységnyi erőhatás esetén, egységnyi keresztmetszetnél méri a hosszváltozást. A nagyobb Young modulus olyan anyagot takar, amely az erőhatásra kisebb deformációval reagál.

Egy anyag külső erőhatásra bekövetkező deformációs tulajdonságait rugalmas tulajdonságait a feszülés-megnyúlás (stress-strain) görbén lehet jellemezni. Ezen a megnyúlás kezdetén az erő és a megnyúlás között lineáris kapcsolat fedezhető fel, F~l. Ezt nevezzük elasztikus fázisnak. Ebben a tartományban az erő megszűntével a test visszanyeri eredeti hosszát. Egy rövid úgynevezett átmeneti szakasz után a külső erő növekedésével a plasztikus szakasz következik. Itt a test még nem szakad el, de maradandó alakváltozást szenved, nem nyeri vissza eredeti hosszát. Ez következik be, amikor egy ízülei fej időlegesen vagy tartósan elhagyja az ízületi árkot, a szalagok nem szakadnak el, de maradandóan megnyúlnak, és emiatt az ízület stabilitása csökken. Amennyiben az erőhatás tovább növekszik elérjük a plasztikus szakasz végét és a test elszakad.

Egy sérülés után dinamométer és például ultrahang együttes alkalmazásával a feszülés-megnyúlás görbe meghatározható. Ezen adatok alapján az orvos vagy a rehabilitációs szakember döntést hozhat, hogy egy sérülés után a sportoló újra elkezdheti az edzéseket, visszatérhet-e a pályára, vagy túl nagy a kockázata a további sérüléseknek.

Az emberi mozgatórendszer meglepően nagy rugalmassággal rendelkezik. Ennek azért van nagy jelentősége, mert a testünket érő különböző erőhatások felvétele szempontjából nem mindegy milyen mértékben képes például az ütközések során megjelenő impakt erőket (itt lehet akár a futás során a sarokkal történő talajfogásra gondolni, vagy amikor valaki elesik) felvenni, elnyelni sérülés nélkül. Idős korban a csontok rugalmassága nagymértékben csökken és részben emiatt a külső erőkkel szembeni ellenállóképességük is. Emiatt ugyanaz az erőhatás ami még fiatal korban nem okoz maradandó változást, egy idős embernél csonttörést eredményezhet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberi mozgatórendszert különféle külső és belső erőhatások érik folyamatosan. A különböző erőhatások az egyes aktív és passzív elemekre eltérő módon hatnak. A húzó, nyomó, csavaró, nyíró és lehajló típusú erőhatások különböző deformációkat eredményeznek és különböző mértékben rejtenek kockázatokat a mozgatórendszer egyes elemeire. A feszülés-megnyúlás görbe és a Young modulus ismerete lehetővé teszi a adott test rugalmas tulajdonságainak meghatározását.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Milyen külső erőhatások léteznek?

Milyen aktív és passzív belső erők vannak?

Milyen irányúak az erők nyíróerőhatásnál?

A csavaróerővel szemben mennyivel nagyobb az ellenállás kétszer olyan vastag testnél?

Milyen ízületi erőkomponens következtében jön létre ízületi ficam?

Mit mond ki a Hooke törvény?

Az erő-megnyúlás görbének melyik tartománya eredményez maradandó alakváltozást?

Hogyan vizsgálhatók a sérült szalagok rugalmas tulajdonságai?

# Emelők szerepe a mozgatórendszerben

## BEVEZETÉS

Az emberi mozgatórendszerben a külső erőhatások, az ízületek, ezen belül az ízületi forgástengelyek, az izmok együttesen egyszerű mechanikai gépként, úgynevezett emelőként funkcionálnak. Az erők és az emelőben az erőkarok elhelyezkedése, aránya nagymértékben befolyásolja a mozgatórendszert érő terhelést. Még relatív értelemben kismértékű külső erőhatás is az emelőrendszeren belül óriási terhelést eredményezhet a mozgatórendszeren.

### Az emelők osztályozása

Az egyszerűség kedvéért legyen a rendszerben egy külső súly, egy izom és egy forgástengely, amelyen egy egyenes rúd tud elfordulni. Az emelőket a rúdra ható erők és a forgástengely elhelyezkedése alapján osztályozzuk.

### Első osztályú emelők

Azokat az emelőket nevezzük első osztályúaknak, amelyeknél a súly és az izom eredési vagy tapadási helye a rúdon a forgástengely átellenes pontján találhatóak. Ilyenkor egyensúlyi helyzetben a súlyerő és izomerő arányát a súlyerő és az izomerő erőkarjának aránya határozza meg. Amennyiben a súlyerő erőkarja nagyobb, mint az izom erőkarja, egyensúly esetén az izom feszülésének kell nagyobbnak lennie, mint a súlyerőnek.

### Másodosztályú emelők

A másodosztályú emelőknél a forgástengely azonos oldalán található a súly és az izom eredési vagy tapadási helye . A súly erőkarja kisebb, mint az izom erőkarja, így egyensúly esetén az izom feszülése kisebb, mint a súlyerő.

### Harmadosztályú emelők

A harmadosztályú emelőknél szintén a forgástengely azonos oldalán található a súly és az izom eredési vagy tapadási helye . A súly erőkarja nagyobb, mint az izom erőkarja, így egyensúly esetén az izom feszülése nagyobb, mint a súlyerő.

Az emberi mozgatórendszerben leggyakrabban első osztályú és harmadosztályú emelőkkel lehet találkozni. Az első osztályú emelőknél is leggyakrabban olyan az elrendezés, hogy az izom erőkarja kisebb és ezért az izomnál lényegesen nagyobb feszülést lehet mérni, mint a súlyerő. Ez a mozgatórendszer aktív és passzív elemeire (általában reakcióerőként) lényegesen nagyobb terhelést ad, mint a külső súlyerő.

### Miért található az emberi mozgatórendszerben sok harmadosztályú emelő?

Mint az előbb láttuk, a harmadosztályú erő felépítése miatt lényegesen nagyobb az aktív és a passzív elemekre ható erő, mint a külső erő. Felmerül a kérdés, hogy az emberi –és az állatvilágban is ez a gyakori – mozgatórendszer miért olyan felépítésű, hogy a rendszert felépítő komponensekre ható erők lényegesen nagyobbak, mint a külső erők. Nem lenne jobb másodosztályú emelőkből felépíteni a rendszert? Akkor a mozgatórendszerre ható erőhatások kisebbek, mint a külső erők.

A válasz az izom felépítésében keresendő. Az izomban található fehérjék, az aktin és miozin, kapcsolata hozza létre a feszülést és a rövidülést. Ennek a kémiai folyamatnak a sebessége illetve az izom rövidülése korlátozott, miközben adott egységnyi keresztmetszeten a feszülés nagysága igen nagy is lehet. Abban az esetben, ha másodosztályú emelőként kapcsolódna a csonthoz az izom, vagyis az izom csatlakozási pontja távol volna a forgástengelytől, akkor a korlátozott sebesség alacsony ízületi szögsebességet, a korlátozott rövidülés pedig korlátozott ízületi mozgástartományt eredményezne. Harmadosztályú emelőként viszont a felépítésből következően a korlátozott rövidülési sebesség és hosszváltozás eredményezhet nagy ízületi szögsebességet és nagy mozgástartományt. Ezért az ilyen emelőket gyorsemelőknek nevezzük.

### A reakcióerők szerepe

A mozgatórendszerben a külső erők és a belső aktív izomerők mellett passzív reakcióerők is megjelennek. Ezen erők a mozgatórendszer sajátosságai miatt, vagyis mert az izmoknál az erőkarok rövidek, például harmadosztályú emelőt feltételezve, igen nagyok is lehetnek. A passzív mozgatórendszerre hirtelen ható nagy reakcióerők magukban rejtik a sérülések kockázatát. A húzóerő az ízületi tok, a szalagok, vagy az inak, izmok sérülését eredményezheti. A nyomóerő, különösen, ha hirtelen jön létre károsítja az ízületi felszínt, a nyíróerő pedig ízületi diszlokációt, ficamot eredményezhet.

### Az ízületre ható forgatónyomaték és a szöggyorsulás kapcsolata

Amint láttuk a mozgatórendszer felépítésének sajátosságai, vagyis hogy nagyszámban található harmadosztályú emelő és első osztályú emelő, ahol az izom erőkaja rövid, azt eredményezik, hogy relatíve alacsony izom rövidülési sebesség nagy ízületi szögsebességet eredményezhet. Emiatt nemcsak abban az esetben érheti a mozgatórendszert nagy erőhatás, ha a külső erő nagy, hanem amikor a végtag mozgásában nagy szöggyorsulás vagy lassulás jön létre, miközben a végtag súlyán kívül plusz külső erőhatás nem éri a szegmenst. Erre jó példa, hogy sprintereknél gyakori a combhajlítók sérülése, de ez abban az esetben fordulhat elő, amikor a láb nem támaszkodik a talajon, hanem a repülő fázisban a térdízület nagy sebességű nyújtásának megállítása során a szegmens tehetetlensége miatt a hamstring izmokban, amelyek az izom fáradása, helyi görcs miatt nem tudnak ellazulni, emiatt nagy feszülése következik be és adott esetben a túlterhelés sérüléshez vezet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberi mozgatórendszert első és harmadosztályú emelők építik fel, és csak kisebb részben másodosztályú emelők. Az izmok erőkarja rövid a mozgatórendszerben az izomzat rövidülési tulajdonságainak eredményeképpen. Ennek viszont az a következménye, hogy a mozgatórendszert érő erőhatások lényegesen nagyobb lehetnek, mint a külső erők.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Első osztályú emelőnél a forgástengely melyik oldalán helyezkedik e súlyerő és az izomerő?

Másodosztályú emelőnél melyik erő nagyobb, a súlyerő vagy az izomerő?

A harmadosztályú emelőnél melyik erőkar kisebb, az izomerő, vagy a súlyerő erőkarja?

Miért hívjuk a harmadosztályú emelőket gyorsemelőknek?

Milyen sérülést eredményez a nyíróirányú reakcióerő az ízületeknél?

Melyik erőhatás károsítja nagyobb mértékben az ízületi felszínt, a húzó vagy a nyomóerő?

Miért eredményez nagy reakcióerőt az ízületeknél a harmadosztályú emelő?

Miért eredményezhet sérülést a nagy ízületi szöggyorsulás és szögsebesség?

# Tömegközéppont meghatározása statikus és dinamikus helyzetben, mozgáselemzés

## BEVEZETÉS

A vizsgálati személy tömegközéppontja pillanatnyi helyzetének meghatározása alapján következtetni lehet az egyensúlyozó képességre és a testre ható eredő erőre. A mozgások dinamikai elemzése során ez az egyik megközelítés, vagyis amikor a vizsgálatban résztvevő személyre ható eredő erőket határozzuk meg. Már önmagában ez az információ is rengeteg adatot szolgáltat a mozgás során aktív főbb izomcsoportok együttes erőkifejtéséről. Ahhoz, hogy az eredő erő kiszámítható legyen meg kell határozni a test tömegközéppontját mind statikus, mind dinamikus körülmények között.

### A tömegközéppont definíciója

A kiterjedt test egy idealizált, elméletileg meghatározott pontja, amelyben a testszegmensek súlyerejének forgatónyomatéka nulla. A TKP-ban a testet felfüggesztve bármely helyzetben egyensúlyban marad.

Mivel az emberi test nem homogén egyénenként is változó anyageloszlású, ezért a tömegközéppont meghatározása pusztán geometriai módszerekkel nem lehetséges. A meghatározáshoz mindenképpen mérésekre van szükség.

### A tömegközéppont helyének meghatározása statikus helyzetben

Statikus helyzetben, vagyis amikor nincs mozgás, a tömegközéppont meghatározására bevált, bár napjainkban egyre kevésbé alkalmazott eljárás, a palló-mérleg módszer. Az eljáráshoz kell egy hosszú palló, amely elbírja a személy súlyát, egy mérleg és egy mérleggel azonos magasságú másik alátámasztási felület (például könyvek). A személy úgy helyezkedik el a pallón, hogy a palló egyik vége a mérlegen van alátámasztva, a másik vége a mérleggel azonos magasságú alátámasztási felületen. Erre az alátámasztási felületre, mint forgástengelyre felírva a rendszerre ható erők forgatónyomatékait, a forgatónyomatékok összege nulla. Mivel a palló súlya, a palló tömegközéppontjának helyzete ismert, a mérlegnél ható reakcióerő leolvasható, a vizsgálati személy súlya is ismert, az egyetlen ismeretlen, de a többi adat ismeretében kiszámolható változó a személy tömegközéppontjának függőleges vetülete –a nyomásközéppont helyzete- és az alátámasztási felület távolsága. Ez a távolság pontosan meghatározza a tömegközéppont függőleges vetületének helyét.

Az palló-mérleg módszert egyre inkább felváltják a digitális stabilometriai platformok. Ezen rendszerek függőlegesen állva pontosan meghatározzák a nyomásközéppont helyzetét és elmozdulását az időben a test transzverzális síkjában. Amikor viszont fekvő helyzetben kell meghatározni a tömegközéppont helyzetét, a palló-mérleg módszer továbbra is gyakran kerül használatra, ugyanis olyan méretű digitális stabilomtriai platform nem nagyon elérhető, amely akkora méretű, hogy egy személy teljes testhosszával rá tudjon feküdni.

### A tömegközéppont helyének meghatározása mozgás közben

Amennyiben a vizsgálati személy mozog, nyilvánvaló, hogy a palló-mérleg módszer nem alkalmazható. Ebben az esetben –amely a sportágak vizsgálata esetén nagyon gyakran előfordul - a szegmentációs módszert használják. Az eljárás lényege, hogy a testet egy testmodell alapján szegmensekre bontjuk, majd az egyes szegmensek résztömegközéppontját külön-külön határozzuk meg a helyét és a résztömegközéppontok helyének ismeretében a teljes test tömegközéppont kinematikai paraméterei kiszámolhatóak.

A testszegmensek tömegét, a résztömegközéppontok elhelyezkedését jó közelítéssel táblázatból kikereshetjük, de a palló-mérleg módszerrel, vízbemerítéses eljárással vagy MR vagy CT használatával pontosabb képet kapunk. Leginkább azért, mert a táblázatok csak a vizsgált minta átlagait tartalmazzák, nyilvánvalóan egy sportoló esetén, ahol kialakult a sportágspecifikus izomzat, a szegmensek tömegei a teljes testhez viszonyítva komoly eltérést mutatnak a minta átlagához képest. Ilyenkor a pontos adatokhoz egyéni mérésekre van szükség.

### Testmodellek

Amennyiben nincs lehetőség a vizsgálati személy esetén a testszegmensek tömegének egyéni meghatározására, testmodellekből, egy széles populációt alapul vevő majd a keresett értékek átlagát meghatározó táblázatokból lehet dolgozni. Ezen modellek, mint például a Dempster modell a testet szegmensekre bontják, a szegmensek testtömeggel arányos tömegszázalékát és a résztömegközéppont távolságát a szegmens proximális és disztális végétől. A résztömegközéppont elhelyezkedése a végtagok esetén a proximális véghez közelebb helyezkedik el. A törzs esetén táblázatokból lehet becsülni a résztömegközéppont elhelyezkedését, azonban amennyiben a vizsgált mozgás nagymértékű törzs elmozdulással történik, például torna esetén, érdemes olyan modellt választani, ahol a törzs több szegmensre van bontva. Mint említettük a szegmensek résztömegközéppontjának helyzetét lehet táblázatok és testmodellek alapján becsülni, de például MR vizsgálattal, a szegmenst szeletekre bontva a résztömegközéppont nagy pontossággal meghatározható. Ezen módszernél a szeleteket henger vagy csonkagúla alaknak megfelelő testekkel közelítve a szeletek tömegeinek értékei megadják a szegmens tömegét és a résztömegközéppont helyzetét. Amennyiben összetettebb a mozgás, több szegmenst tartalmazó modell is használható, de ez természetesen a számításokat hosszadalmasabbá teszi. Amennyiben a vizsgálat lehetővé teszi érdemesebb olyan modellt választani, amely a mozgás elemzését leegyszerűsíti. Ezzel egyszerűbbé válik a vizsgálat, hanem gyakran idő spórolható meg.

### A mozgáselemzés menete

A mozgáselemzés egyes lépéseit az első fejezetben részletesen említettük. Röviden összefoglalva a kamerák elhelyezése, a világítás beállítása, a referenciarács vagy rúdról felvétel készítése a vizsgálati személy jelenléte nélkül is megoldható. Előzetes tervezés alapján a megfelelő testmodell kiválasztása után a testmodell alapján az anatómiai és funkcionális markerek elhelyezésre kerülnek. Ezután a vizsgálandó mozgás végrehajtása és a felvétel rögzítése történik meg. A kész felvételeken a számítógép határozza meg a referenciarács vagy rúd alapján a megadott vonatkoztatási rendszerben a markerek és a résztömegközéppontok helyét. A résztömegközéppontok helyének ismeretében a test tömegközéppontjának pillanatnyi helyzetét a résztömegközéppontok helyzetéből a szegmensek tömegének súlyozott arányával átlagolva a megfelelő szoftver kiszámolja.

Amennyiben a test tömegközéppontjának pillanatnyi helyzete a vonatkoztatási rendszerben ismert, akkor az adott koordinátarendszerben az x-y-z koordinátákra külön az út, sebesség és gyorsulás-idő függvények meghatározhatóak. Amennyiben a gyorsulás és a test tömege is ismert, a testre ható eredő erők is kiszámíthatóak. A fejlettebb mozgáselemző rendszereknél az egyes szegmensekre ható erők is kiszámíthatóak, illetve az ízületekre ható erők és forgatónyomatékok. Ezen adatok ismeretében a biomechanikai szakember és az edző, vagy a rehabilitációs szakember együttesen tud dönteni a további feladatokról.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tömegközéppont kinematikai adatainak ismeretében a vizsgálati személyegyensúlyozó képességéről és a testre ható eredő erőkről is információkhoz tudunk jutni. Az előbbi esetén a palló-mérleg módszer, illetve egyre gyakrabban stabilometriai platformokat szoktak alkalmazni, a utóbbinál pedig leginkább a kamerafelvételeken alapuló mozgáselemzés az elterjedt módszer. Mindkét esetben az alapelv a test tömegközéppont helyzetének meghatározásán alapul akár nyugalmi helyzetben, akár mozgás közben.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Mekkora a TKP-ban a testszegmensek súlyerejének forgatónyomatéka?

Milyen anyageloszlás nem jellemző az emberi testre?

Lehet-e mozgás közben meghatározni a TKP helyzetét palló-mérleg módszerrel?

A palló-mérleg módszer milyen fizikai mennyiség meghatározásán alapul egyensúlyi helyzetben?

Milyen változókat határoznak meg a testmodellek?

Hogyan határozható meg egy szegmens tömege?

Mire szolgálnak a markerek?

Hogyan határozható meg a TKP helyzete a résztömegközéppontok ismeretében?

# Egyensúly, állásstabilitás. Stabilometria.

## BEVEZETÉS

Az emberi mozgások végrehajtásánál az egyensúlyozó képességnek jelentős szerepe van. A mozgások kivitelezésénél gyakran a kezdeti és a végállapotok egyensúlyi helyzetben vannak. Ezen egyensúlyi helyzetek minél gyorsabb felvétele elősegíti a pontos mozgások végrehajtását. A stabilitás fejlesztését célzó gyakorlatokkal az egyensúlyozásban fontos szerepet kapó receptoroktól, mint a vesztibuláris rendszer, a látás, a nyaki proprioceptorok és a talpi nyomás érző receptoroktól illetve az izmokban és ízületekben található receptorokból jövő ingerek feldolgozása fejleszthető. Emiatt a stabilitás, az egyensúlyozó képesség mérése, számszerűsíthetővé tétele lényeges eleme a biomechanikai vizsgálatoknak.

### Egyensúlyi helyzetek

Egy test egyensúlyban van, ha a rá ható erők hatására egyhelyben marad, nem mozdul el. Statikus egyensúlyi helyzetben ennek a feltétele, hogy a test tömegközéppontjára ható erők eredője nulla, és a testre ható erők forgatónyomatéka a test bármely pontjára mint forgástengelyre nulla. Az egyensúlyi helyzetek azonban nagyon eltérőek lehetnek. Alapvetően négyféle egyensúlyi helyzetet különböztetünk meg: stabil, instabil, közömbös, metastabil. Az egyszerűség kedvéért és gyakorlati szempontok miatt a továbbiakban az egyensúlyi helyzetek vizsgálatánál a Föld felszínén elhelyezkedő testet feltételezünk, amelyre állandó gravitációs erő hat.

### Stabil egyensúlyi helyzet.

Stabil egyensúlyi helyzetben van egy test abban az esetben, amennyiben az egyensúlyi helyzetből kitérítjük, magától visszatér az egyensúlyi helyzetbe. Például ha egy ferde falú völgy vagy tál alján van egy golyó, azt kitérítve visszagurul a legalsó helyzetbe. Vagy ha egy rudat a TKP-ja fölött függesztünk fel, kitérítve az egyensúlyi helyzetből, oda visszatér.

Stabil egyensúlyi helyzetben amennyiben kitérítjük a testet, a helyzeti energiája megnő. Az energiaminimumra való törekvés ebben az esetben azt eredményezi, hogy a test magától visszatér a minimális helyzeti energiával jellemezhető helyzetbe. Általánosan elmondható, hogy a stabil egyensúlyi helyzetre az jellemző, hogy a TKP a felfüggesztési pont (forgáspont) alatt helyezkedik el.

### Instabil egyensúlyi helyzet

Instabil egyensúlyi helyzetben amennyiben kitérítjük a testet az egyensúlyi helyzetből, oda nem tér vissza. Például egy tollat a hegyével lefelé le lehet egy asztalra helyezni, de a legkisebb kitérésre le fog dőlni. Általánosan elmondható, hogy a TKP a támaszpont felett helyezkedik el.

Instabil egyensúlyi helyzetben a rendszer tömegközéppontja lokálisan maximális. Kitérítve a helyzeti energiája csökken, és amennyiben a rendszerhez kívülről nem adunk plusz energiát, magától a maximális helyzeti energiájú állapotot nem tudja újra elérni.

### Közömbös egyensúlyi helyzet

Közömbös egyensúlyi helyzetben a testet kitérítve a helyzeti energiájának értéke nem változik, ezért ismételten egyensúlyi helyzetbe kerül kitérítés után, azonos helyzeti energia értékkel. Ha például egy golyót egy vízszintes asztallapon elgurítunk, az asztallap bármely pontjában tekinthető egyensúlyi állapotnak a golyó helyzete. Közömbös egyensúlyi helyzetben a forgáspont és a TKP azonos pontban helyezkedik el.

### Metastabil egyensúlyi helyzet

Metastabil egyensúlyi helyzetben kezdetben a test stabil egyensúlyi helyzetben van, olyan helyzetben, ahol lokálisan a potenciális energiája minimális. A test kismértékű kitérítés esetén megnő a helyzeti-potenciális energiája, azonban magára hagyva visszatér a stabil egyensúlyi helyzetbe, azonban amennyiben a kitérítés nagyobb mértékű, vagyis a helyzeti energia lokális maximum értékén, egy instabil egyensúlyi helyzet elérésén túl a test nem tér vissza az eredeti egyensúlyi helyzetébe, hanem egy másik stabil egyensúlyi helyzetbe, egy másik minimális helyzeti energiájú állapotba, vagy egy stabilitás szempontjából közömbös állapotba jut.

A mechanika, de a természetben található rengeteg helyzet, folyamat olyan, hogy a rendszer metastabil egyensúlyi helyzetnek megfelelően viselkedik. Vagyis a rendszer lokálisan egy olyan állapotban helyezkedik el, ahol a potenciális energiája minimális. Ha a rendszer potenciális energiája megnő, és elér egy lokális potenciális energiamaximum helyzetbe, ott egy instabil egyensúlyi helyzet található. Ebből a helyzetből vagy visszatér a rendszer az eredeti állapotba, vagy új egyensúlyi helyzetbe kerül. Amikor egy ember egyenesen áll, az az állapot is tekinthető metastabil egyensúlyi helyzetnek, Kismértékű kitérítés után vissza tud a személy térni az egyensúlyi állapotába, de ha a kitérítés nagymértékű, ellépés nélkül a személy el fog dőlni.

### Az egyensúly feltétele, állásstabilitás

Amennyiben egy test a talajon helyezkedik el az alátámasztási felülettel érintkező pontok egy konvex alakzatot határoznak meg. Például ha egy személy egy lábon áll, ez az alakzat a talpa lesz, de ha két lábbal áll a talajon, akkor a két talp és a közöttük levő terület együttesen. Amennyiben statikus helyzetben a test tömegközéppontjának függőleges vetülete ezen területrészen vagy alakzaton belül marad, a test nem fog eldőlni, hanem megtartja vagy visszatér metastabil egyensúlyi helyzetébe. Amennyiben a tömegközéppont függőleges vetülete a területrész határvonalán kívül kerül, a test felborul.

Hogyan lehet tehát javítani egy személy állásstabilitását? Egyrészt lejjebb kell vinni a tömegközéppontját, másrészt meg kell növelni a két talp által meghatározott és közöttük elhelyezkedő területet. Nem véletlen, hogy a cselgáncsozók miközben egymással szemben állnak, egymásba kapaszkodnak, egyrészt lehajolnak, másrészt széles terpeszben állnak.

### Állásnyomaték, billentőnyomaték

Amikor egy testet megpróbálunk kibillenteni az egyensúlyi helyzetéből, a test alátámasztási felületének szélső pontja körül el tud fordulni. Erre a szélső pontra fel lehet írni az állás és a billentőnyomatékokat. A állásnyomaték és a billentőnyomaték hányadosa meghatározza, hogy a test fel fog-e egy adott erővel billenni, vagy sem. Amennyiben az érték nagyobb, mint 1, a test nem fog felbillenni. Minél nagyobb tehát ez az arányszám, az állásbiztonság annál nagyobb. A billentőnyomatékot úgy is lehet növelni, ha megnöveljük az erőhatást, de úgy is, ha az erőkart növeljük meg. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a testet a felszínhez képest magasabb ponton próbáljuk kibillenteni.

### Ízületi stabilitás

Az ízületeket az ízületi tok, a szalagok, az izmok, és az ízületi felszínek alapvető felépítése stabilizálja. Az instabil ízületben az ízületi felszínek eltávolodnak egymástól, az ízület a normálistól eltérő irányú és tengelyű mozgásokat is végez, szélsőséges esetben pedig az ízületi fej kimozdul az ízületi árokból tartósan vagy időlegesen.. Más szavakkal az ízületi felszínek afiziolológiás módon eltávolodnak egymástól, létrejön az ízületi ficam. Az ízületi ficam oka, hogy az ízületet érő erőhatások –és itt leginkább nyíróirányú erőhatásra kell gondolni- eredményeként az ízületi fej elmozdulása az ízületi vápa peremét meghaladja. Mivel az ízületet tekinthetjük egy metastabil egyensúlyi helyzetben levő rendszernek, értelmezhető úgy a rendszer, hogy a metastabil helyzetben az instabil helyzetnek az ízületi vápa pereme fele meg. Így minél mélyebben (természetesen átvitt értelemben) tud az ízület az instabil helyzethez képest elhelyezkedni, annál stabilabbnak tekinthető az ízület, annál nagyobb erőhatást képes ízületi ficam kialakulása nélkül elviselni. Például a csípőízület lényegesen stabilabb, mint a vállízület, ami azért van, mert az ízületi vápa a csípőízület esetén lényegesen nagyobb arányban öleli körül az ízületi fejet.

### Stabilometria

Az egyensúlyozóképesség mérését stabilometriának nevezik. A stabilometria mérése általában valamilyen egyensúlymérő platformon történik. Ezen platform segítségével lehet mérni a nyomásközéppont elmozdulását. Ez egy erőplató, amelynek a vízszintes erőértékeiből kerül meghatározásra a nyomásközéppont helye. Tehát a stabilométer ebben az esetben egy erőplatóból, egy erősítőből és kijelzőből, továbbá egy számítógépre írt programból áll. Meg szokták különböztetni az előre-hátra (anterior-posterior), az oldalirányú (lateromediális) elmozdulást és a tömegközéppont által bejárt teljes utat.

A stabilometriai mérésekkel numerikusan meghatározható az egyensúlyozóképesség. Az egyensúlyozóképességet nagymértékben meghatározzák az optikai receptorok, a vesztibuláris rendszer statikus és dinamikus receptorai, a talpi és a nyaki proprioreceptorok. A receptorok jelei a felszálló ágakon és a thalamuson keresztül a központi idegrendszeri egyensúlyozást vezérlő központokba például a kisagyba jutnak. innen az efferens pályákon parancsok jutnak el az izmokhoz (álló helyzetben dominánsan az antigravitációs izmokhoz), amely lehetővé teszi az egyensúlyi helyzet megtartását.

Az egyensúlyozó képesség alapvető, de összetett emberi képesség, amely az egyes mozgások során újra tanulandó (pl. kerékpározás, síelés, korcsolya, vagy sérülések). Megfelelő tesztekkel, például az optikai vagy a vesztibuláris receptorok megzavarásával vagy kiiktatásával lehetővé válik az egyes receptoroktól jövő szabályozó mechanizmusok külön történő vizsgálata. Emiatt gyakran a teszteket nemcsak nyitott, hanem csukott szemmel is elvégzik. Például kimutatható, hogy olyan mozgásformák rendszeres gyakorlóinál (jégtánc, balett), ahol gyakoriak a nagysebességű forgások, a vesztibuláris rendszer megzavarása kevésbé befolyásolja az egyensúlyozó képességet, mint ilyen mozgásformákat nem végzőknél, vagyis az előbbi esetben a gyakori forgások félrevezetnék a vesztibuláris rendszeről jövő jeleket, ezért ezeket a központi idegrendszer valószínűleg kisebb mértékben veszi figyelembe az egyensúlyozánál.

Az egyensúlyozó képesség fejlettsége nagymértékben befolyásolja a mozgások végrehajtásának pontosságát. Emiatt a sportolók felkészítésében egyre nagyobb szerepet kapnak olyan gyakorlatok, amelyek fejlesztik a receptorokból jövő információk feldolgozásának képességét.

A méréseket nagymértékben befolyásolja, hogy mezítláb, vagy cipőben, egy vagy két lábon állva, nyitott vagy csukott szemmel történnek. A mérések időtartama is fontos, általában 20, 30 másodpercet, vagy egy percet szoktak alkalmazni. A stabilometriai mérésekre számos általánosan elfogadott protokoll létezik, például a Romberg teszt, amelyekben a vizsgált paraméterek, a testtartás, a kivitelezés módja pontosan szabályozva van.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberi mozgások kivitelezésénél a mozgás megkezdésekor, a mozgás befejezésekor a test egyensúlyi helyzetekben van. A test stabil, instabil, metastabil, vagy közömbös egyensúlyi helyzeteket vehet fel. Egyenes állás esetén metastabil egyensúlyi helyzet valósul meg, amely során a tömegközéppont elmozdulásának mértékét, az egyensúlyozó képességet a stabilometria mérési eljárásaival számszerűsíteni lehet. Ezen adatok nemcsak a statikus feladatok végrehajtása szempontjából, fontosak, hanem mivel a jó egyensúlyozó képesség hatással van a mozgások végrehajtására is, a dinamikus mozgások pontos, precíz végrehajtásához kapcsolódóan is fontos jelentőséggel bírnak.

## ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK

Mit lehet tudni egyensúly esetén a testre ható erőkről?

Milyen egyensúlyi helyzeteket ismer?

Instabil egyensúlyi helyzetből kitérítés után nő vagy csökken a helyzeti energia?

Az emberi két lábon állás milyen egyensúlyi helyzetnek felel meg?

Befolyásolja-e a látás az egyensúlyozó képességet?

Növeli-e az állásstabilitást, ha a tömegközéppontot lejjebb helyezzük?

Hogyan növelhető a billentőnyomaték?

Milyen irányú erőhatás felelős az ízületi ficamért?

# Válaszok az ellenőrző kérdésekre

# Mérőeszközök, mérési eljárások, vizsgálati módszerek a biomechanikában

Milyen mérőeszközzel lehet a sportoló sebességét regisztrálni?

Fénykapukkal, encoderrrel, GPS elemző rendszerekkel.

Milyen haszna van a sérülések diagnosztikájában a goniométernek?

Meghatározható a csökkent mozgásterjedelem.

Milyen esetekben alkalmazna erőplatót?

Például függőleges felugrás emelkedési magasság, maximális erő, RTD mérésénél.

A szorítóerőmérés milyen esetekben nem ad releváns eredményt?

Olyan sportok esetén például, ahol döntően az alsó végtag erőkifejtésének meghatározása a cél.

Milyen markereket különböztetünk meg?

Anatómiai és funkcionális markerek.

A telemetriai rendszerek milyen alapadatokat regisztrálnak?

A rendszer regisztrálja a sportoló pillanatnyi helyzetét, sebességét, gyorsulását,pulzusát.

Milyen vizsgálatoknál használható az EMG?

Ahol egy izom vagy izomcsoportot aktiváló elektromos impulzusok meghatározása fontos.

Mik az előnyei az ultrahang berendezéseknek az MR-rel szemben?

Dinamikus körülmények között, terhelés során is kivitelezhető a mérés.

# Kinematika

Hol legyen a vonatkoztatási rendszer középpontja?

A vonatkoztatási rendszer megadása általában önkényes, a vizsgálat vezetőjétől függ.

Mire lehet következtetni a sebesség-idő grafikon meredekségéből?

A gyorsulásra, az eredő erőre.

Miért eltérő a kidobási szög súlylökésnél és diszkoszvetésnél?

Diszkoszvetésnél figyelembe kell venni a felhajtóerőt is.

Függőleges felugrás vizsgálatánál mikor és miért lényeges, hogy a karok csípőn legyenek?

Amennyiben csak az alsó végtagok izomzatának vizsgálata a cél.

Milyen függőleges felugrás típusokat ismer?

Squat jump, countermovement jump, drop jump.

Vízszintes hajításnál hogyan bontható fel a test mozgása?

Egy vízszintes és egy függőleges komponensre.

Milyen anatómiai feltételnek kell teljesülnie, hogy jó legyen az úszó vízfekvése?

A felhajtóerő és a gravitációs erő hatásvonala minél közelebb legyen egymáshoz.

Milyen elmozdulások eredményezik a legnagyobb mértékű kopást az ízületi felszíneknél?

Ahol súrlódás lép fel. Külön transzláció és rotáció esetén.

# Dinamika

Mit mond ki a dinamika alapegyenlete?

A testre ható erők eredője egyenlő a test tömegének és gyorsulásának szorzatával

Milyen mozgást végez a test, ha a rá ható erők eredője nulla?

Nyugalomban van vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást.

Milyen változó határozható meg a test gyorsulásának és tömegének ismeretében?

A test gyorsulása.

Mit mond ki a Hill törvény?

Egy súly mozgatása közben a súly nagysága és a kontrakció során az izom rövidülésének sebessége között fordított arányosság figyelhető meg.

Forgó mozgásnál az erő helyett milyen mennyiséggel számolunk?

A forgatónyomatékkal

Milyen következménnyel jár a mozgatórendszerre, hogy az izom erőkarja kicsi?

Nagy erők jelennek meg az izmoknál és nagy reakcióerők az ízületeknél.

Mit jelent az excentrikus kontrakció?

Az izom aktív állapota közben a hossza megnő.

Hogyan módosul az erőhatás SSC-nél a koncentrikus kontrakcióval összehasonlítva?

Nagyobb erőt, teljesítményt lehet mérni a koncentrikus fázisban.

# Energiaviszonyok mozgások közben. Teljesítmény

Hogyan számoljuk ki az elvégzett munkát?

Össze kall szorozni az erő értéket az erő irányába mutató elmozdulással.

Hogyan határozható meg a helyzeti energia?

Ehelyzeti = mgh.

Milyen kapcsolat van a kinetikus energia és az elért sebesség között?

A kinetikus energia az elért sebesség négyzetével arányos.

Az izom kontrakciójának hatásfokát milyen változók befolyásolják?

Leginkább a termelt hő mennyisége és a mechanikai veszteség.

Miért igényel energiát az állandó sebességű futás?

A végtagok folyamatos gyorsuló-lassuló mozgást végeznek.

Hogyan számítható ki a teljesítmény?

P=Fv.

Miért fontos egy sportolónál a maximális teljesítményhez tartozó kinematikai paraméterek meghatározása?

Ebben a tartományban lehet a legtöbb energiát átalakítani mozgási energiává 1 másodperc alatt.

Mekkora súlyt kell választani, hogy a mozgás a maximális teljesítményhez tartozó sebességgel történjen maximális intenzitást feltételezve?

A maximális izometriás erőnek megfelelő terhelés 30-40%-ával érdemes maximális intenzitással gyakorlatokat végezni.

# Mozgatórendszerre ható erők

Milyen külső erőhatások léteznek?

Gravitációs erő, ütközési erő, felhajtóerő, közegellenállási erő, súrlódás.

Milyen aktív és passzív belső erők vannak?

Aktív: izomerő. Passzív: inak, szalagok, porc, csont-ra ható erők.

Milyen irányúak az erők nyíróerőhatásnál?

Két azonos nagyságú, nem egy vonalon ható, egymás felé mutató erő.

A csavaróerővel szemben mennyivel nagyobb az ellenállás kétszer olyan vastag testnél?

16-szor akkora.

Milyen ízületi erőkomponens következtében jön létre ízületi ficam?

Nyíróerő esetén.

Mit mond ki a Hooke törvény?

A rugalmas testet érő erőhatás és a megnyúlás egyenesen arányosak.

Az erő-megnyúlás görbének melyik tartománya eredményez maradandó alakváltozást?

Az átmeneti és a plasztikus tartomány.

Hogyan vizsgálhatók a sérült szalagok rugalmas tulajdonságai?

Például ultrahanggal és dinamométerrel együttesen.

# Emelők szerepe a mozgatórendszerben

Első osztályú emelőnél a forgástengely melyik oldalán helyezkedik e súlyerő és az izomerő?

A forgástengely két egymással szemben levő oldalán.

Másodosztályú emelőnél melyik erő nagyobb, a súlyerő vagy az izomerő?

A súlyerő nagyobb.

A harmadosztályú emelőnél melyik erőkar kisebb, az izomerő, vagy a súlyerő erőkarja?

Az izomerő karja kisebb.

Miért hívjuk a harmadosztályú emelőket gyorsemelőknek?

Mert a korlátozott rövidülési sebesség és hosszváltozás eredményezhet nagy ízületi szögsebességet.

Milyen sérülést eredményez a nyíróirányú reakcióerő az ízületeknél?

Az ízületi tok sérülését és ízületi ficamot.

Melyik erőhatás károsítja nagyobb mértékben az ízületi felszínt, a húzó vagy a nyomóerő?

A nyomóerő.

Miért eredményez nagy reakcióerőt az ízületeknél a harmadosztályú emelő?

Mert az izmoknál az erőkar kicsi és ezért az izom feszülése nagy

Miért eredményezhet sérülést a nagy ízületi szöggyorsulás és szögsebesség?

A mozgás megállítása közben a szegmens tehetetlensége miatt az izmok nagy feszülése következik be.

# Tömegközéppont meghatározása statikus és dinamikus helyzetben, mozgáselemzés

Mekkora a TKP-ban a testszegmensek súlyerejének forgatónyomatéka?

Nulla.

Milyen anyageloszlás nem jellemző az emberi testre?

Az emberi test nem homogén anyageloszlású.

Lehet-e mozgás közben meghatározni a TKP helyzetét palló-mérleg módszerrel?

Nem.

A palló-mérleg módszer milyen fizikai mennyiség meghatározásán alapul egyensúlyi helyzetben?

A forgatónyomatékok összege egyensúly esetén nulla.

Milyen változókat határoznak meg a testmodellek?

A szegmensek tömegarányát a testhez viszonyítva, a szegmens résztömegközéppontjának helyzetét.

Hogyan határozható meg egy szegmens tömege?

Palló-mérleg módszerrel, vízbemerítéses eljárással vagy MR vagy CT használatával.

Mire szolgálnak a markerek?

A választott testmodell alapján a szegmensek helyzetének követését.

Hogyan határozható meg a TKP helyzete a résztömegközéppontok ismeretében?

A résztömegközéppontok helyzetéből a szegmensek tömegének súlyozott arányával átlagolva a megfelelő szoftver kiszámolja.

# Egyensúly, állásstabilitás. Stabilometria.

Mit lehet tudni egyensúly esetén a testre ható erőkről?

Az erők eredője nulla.

Milyen egyensúlyi helyzeteket ismer?

Stabil, instabil, metastabil, közömbös.

Instabil egyensúlyi helyzetből kitérítés után nő vagy csökken a helyzeti energia?

Csökken.

Az emberi két lábon.állás milyen egyensúlyi helyzetnek felel meg?

Metastabil helyzetnek.

Befolyásolja-e a látás az egyensúlyozó képességet?

Igen.

Növeli-e az állásstabilitást, ha a tömegközéppontot lejjebb helyezzük?

Az állásstabilitás megnő.

Hogyan növelhető a billentőnyomaték?

Vagy az erőt kell növelni, vagy a billenés forgástengelyéhez képest az erőkart növelni.

Milyen irányú erőhatás felelős az ízületi ficamért?

Nyíróirányú.

# Irodalomjegyzék

Adrian J.M. Cooper, J.M.: Biomechanics of Human Movement, Benchmark kiadó,1989.

Bálint M.: Az izomműködés molekuláris alapjai. Medicina kiadó, 1978.

Barabás A. Fábián Gy.: Biomechanics in Sports XII. ISBS (International Symposium on Biomechanics in Sports) Proceeding, Budapest, ITC Plantin kiadó, 1995.

Barton J.: Biomechanika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.

Budó Á.: Kísérleti fizika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.

Budo Á.: Mechanika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.

Cavanagh, P.R. Biomechanics of distance running, Human Kinetics kiadó, 1990.

Chapman. A. C.: Biomechanical analysis of fundamental human movements. Humankinetics 2008.

Dainty, A.D., Norman, R.W.: Standardizing biomechanical testing is sport,Human Kinetics kiadó, 1987.

Enoka, R.M.: Neuromechanical basis of Kinesiology. Human Kinetics kiadó, 1988.

Gardiner, Ph.F.: Neuromuscular aspects of physical activity. Human Kinetics kiadó, 2001

Grabiner, M.D. (Ed.): Current Issues in Biomechanics. Human Kinetics kiadó, 1993.

Hall, S.J. : Basic biomechanics. Mosby kiadó, 1995

Hay,J.G.: The Biomechanics of Sports Technique, Prentice Hall kiadó. 1994

Holics L.: Fizikai összefoglaló. Muszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.

Horváth G., Juhász A., Tasnádi P.: Mindennapok fizikája. ELTE TTK, Budapest, 1989.

Illyés Árpád (Szerk.) - Kiss Rita - Kocsis László. Mozgásszervek biomechanikája. Terc. 2007.

Jólesz F.: A sportmozgások biomechanikájaTF, Tankönyvkiadó, 1985

Jones, N.L. McCartney N. and McComas A.: Human muscle power. Human Kinetics kiadó, 1986.

Kreighbaum, E. Bartels, K.M.: Biomechanics, A Qualitative Approach for Studying Human Movement, Allyn and Bacon kiadó 1996.

Latash, M.L. and Yatsiorsky, V.M. (Szerk.): Classics in Movement Science. Human Kinetics kiadó, 2001.

Latash, M.L.: Control of Human Movement, Human Kinetics kiadó, 1993.

Luttgens, K. Hamilton, N.: Kinesiology. Brown and Benchmark kiadó 1997.

McGinnis, P.M.: Biomechanics of sport and exercise. Human Kinetics kiadó, 1999.

Miltényi Márta. A sportmozgások anatómiai alapjai. Sport könyvkiadó 1980.

Nigg, B.M., MacIntosh, B.R., Mester, J.: Biomechanics and biology of human movement. Human Kinetics kiadó, 2000.

Sparrow, W.A. Energetics of human activity. Human Kinetics kiadó, 2000.

Tasnádi P., Juhász A., Horváth G.: Fizika körülöttünk, Reál kiadó, 1999.