

A maximális erő és a reaktíverő mechanikai komponenseinek összefüggései

A kutatás lezárása: 2024. 10. 03.

Bevezetés

A futás, ugrás, vagy akár a nagy sebességű járás része is az úgynevezett nyújtásos-rövidülési kontrakció. Ez az izom megnyúlását követő reaktív összehúzódás. Az erőfajta neve is innen ered, az ilyen módon kifejtett erőt reaktíverőnek nevezzük. Ez a képesség jelentős érdeklődést váltott ki a kutatók körében, tekintettel annak fontosságára a sportolók teljesítményében és eredményességében. 2024. 03. 07-én pontosan 9200 találatot kaptunk a <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> weboldal keresőjébe beütött „reactive strength” kulcsszavakra, amelyekből az oldal nyilvántartása szerint 5621 az elmúlt 10 évben jelent meg. Ez tehát jól mutatja az érdeklődés aktualitását. Minél nagyobb reaktíverővel rendelkezik egy sportoló, annál nagyobb tud ugrani, gyorsabban tud futni, gyorsabban tud irányt váltani futás közben. A reaktíverőt, mint kondicionális képességet számtalan tudományos munkában összefüggésbe hozták az izometriás erővel, vizsgálták fejleszthetőségét különböző edzés módszerekkel, és összességében elmondható, hogy a reaktíverő jelentősen meghatározza a felugrás magasságát, a reflexgyorsaságot, az irányváltások gyorsaságát. Jelen kutatásban bemutatásra kerül a reaktíverő és a maximális izometriás erő kapcsolata. Mindez azért fontos, mert amennyiben összefügg a maximális izometriás erő és a reaktíverő, elképzelhető, hogy az edzések egy részében kiválthatóak a pliometrikus gyakorlatok maximális erőt fejlesztő gyakorlatokra, amik lényegesen kisebb fáradást idéznek elő a szövetekben. Ezáltal csökkenthetjük a fáradásos sérülések kialakulásának lehetőségét.

A nyújtásos – rövidülési ciklus egy olyan kontrakció sorozat, amelyben egy gyors excentrikus fázis vagy nyújtás után egy rövid izometriás átmenet, majd egy koncentrikus fázis következik⁽¹⁾. Ahhoz, hogy az excentrikus szakasz is kontrakció legyen, szükséges az izom erő kifejtése, de a rá ható erő nagyobb, mint amit az izom meg tud tartani, így az eredési és tapadási pont egymástól távolodik. Amikor a külső erő megegyezik az izom által kifejtett erővel, létrejön a fordulópont, egy pillanatnyi izometriás szakasz. Ezt követően indul a koncentrikus szakasz. Az excentrikus szakasz során létrejön az izomban egy preaktivált állapot, ami a koncentrikus szakasz kezdetén növeli az erő kifejtést⁽²⁾⁽³⁾. Ezzel párhuzamosan létrejön a nyújtási reflex, aminek hatására az izom mechanikus energia tárolására képes. Ezt az energiát

a koncentrikus szakaszban képes hasznosítani, ha a mozgás megfelelő sebességgel játszódik le⁽⁴⁾.

A reaktív erő kifejtés tipikusan minden pliometrikus mozgás része. Eredetileg Oroszországban alakult ki⁽⁷⁾, és sokk edzésnek hívták. Atlétikában terjedt először, ahol a fel- és elugrásoknál, illetve a futó versenyszámokban is nagy szerepe van. Mostanra azonban nagyon sok sportágban egyre több módon alkalmazzák. Minden olyan mozgásban hatékony teljesítményjavításra, ahol folyamatos excentrikus – koncentrikus mozgások váltják egymást. Így például a vívásban⁽⁸⁾, a gyorskorcsolyában⁽⁹⁾, minden csapatsportban, ahol megjelenik a futás, ugrás⁽¹⁰⁾. Ebben az edzésformában edzésenként 40 talajkontakt fölötti ismétlésszámot találtak hatékonynak⁽¹¹⁾.

A reaktíverő fejlesztésére alkalmas gyakorlatok nem csupán erre a képességre hatnak. Az edzésmódszer járulékos hatásait is számos kutatás vizsgálta. Ezekben a kutatásokban megállapították, hogy izomerőt és sebességet hatékonyan fejleszt^{(17) (18)}, valamint a maximális erő és a mechanikai teljesítmény fejlesztésében is hatékony⁽¹⁹⁾.

A fenti tanulmányok limitációja, hogy többízületos mozgásokban vizsgálták a pliometrikus erő kifejtést. Mi a Multicont II. dinamométerrel egy ízületben tudunk nyújtásos – rövidülési kontrakciót vizsgálni, így pontos képet kaptunk az itt kialakuló forgatónyomatékról, illetve az izmok által kifejtett mechanikai munkáról. Egy második limitáció, hogy ezekben a kutatásokban csupán szabadsúlyokkal végzett gyakorlatokból tudtak maximális erőt számolni, ami nem tudja a legmagasabb erő kifejtést pontosan mérni, csupán nagyon közeli becsléseket adni. Mi a dinamométerrel több ízületi szögben is, pontos maximális erőt tudunk mérni.

A pliometrikus edzés bár nagyon hatásos, az izomra ható nagy terhelés miatt nagy mennyiségű mikrosérülést eredményez⁽²⁰⁾. Az izom magas terhelése miatt hosszú regenerálódási idő és pihenés is szükséges az edzés után⁽²¹⁾. Sok esetben verseny időszakban is fenntartják a sok pozitív hatása miatt, viszont a magas kockázat miatt, ha lehetséges, célszerű lenne kiváltani egy alacsonyabb behatású gyakorlattal. A maximális erő fejlesztés módszere például lehetővé teszi az alacsony terjedelem és minimális fáradás melletti fejlődést az idegrendszer alkalmazkodásával. A maximális erő az izom pillanatnyi erő kifejtésének maximális értéke, ami függ az izom keresztmetszetétől, illetve az egyidőben aktiválható izomrostoktól is. Ezt például maximális akaratlagos izometriás kontrakcióval vizsgálták különböző ízületi szögekben⁽²²⁾.

Tekintettel arra, hogy mind a maximális erő, mind a reaktív erő kifejtés során nagyon magas izomaktivitás jön létre, azt feltételezhetjük, hogy a maximális erő és a nyújtásos – rövidülési kontrakció egyes mechanikai összetevői között összefüggés lehet. Számos kutatásban vizsgálták a nyújtásos – rövidülési kontrakció és a reaktíverő, sprintfutás, felugrások, irányváltási képességek összefüggését, jelen kutatás előnye azonban az, hogy egyrészt egyízületes mozgás közben, vélhetően pontosabban vizsgáltuk a nyújtásos-rövidülési kontrakció egyes komponenseit, másrészt a maximális erő mérésénél egyedi szöghelyzeteket alkalmaztunk, mivel a vizsgálati személyek a nyújtásos-rövidülési kontrakciókat egymástól eltérő mozgástartománnyal voltak képesek megvalósítani.

Célkitűzés és hipotézisek

Ezeket összegezve tehát ennek a kutatásnak célja az, hogy a maximális erő és a nyújtásos – rövidülési kontrakció kvantitatív mutatói közötti összefüggéseket feltárja.

Hipotézis I.

A maximális izometriás akaratlagos erő kifejtés összefüggésben van a nyújtásos – rövidülési kontrakció excentrikus fázisában kifejtett mechanikai munka koncentrikus szakaszban történő hasznosulásával (tehát a koncentrikus/excentrikus munkavégzés arányával).

Hipotézis II.

A maximális izometriás akaratlagos erő kifejtés összefüggésben van a nyújtásos – rövidülési kontrakció excentrikus és koncentrikus fázisában kifejtett mechanikai munkával.

Hipotézis III.

A maximális izometriás akaratlagos erő kifejtés összefüggésben van a nyújtásos – rövidülési kontrakció excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartamával.

Anyag és módszer:

Vizsgálati személyek

Vizsgálatunkban 15 fizikailag aktív férfi vett részt (életkor: $22,4 \pm 2,4$ év, testmagasság: $182,3 \pm 6,5$ cm, sportolással töltött évek száma: $7 \pm 5,5$, heti edzésidő: $4,9 \pm 3,4$ óra/hét, ezenfelül átlagosan $2,1 \pm 1,2$ órányi gyakorlati sportórán vettek részt hetente). A vizsgálati személyek elsősorban sportszakos hallgatók voltak, akik saját sportágukban nem tartoztak a nemzeti élvonalhoz, tehát nem élsportolók. Az erőfejlesztésben mindenki jártas volt, de nagy szórás

mutatkozott a hobbiszintű alkalmi edzésektől kezdve az évek óta rendszeresen űzött súlyozós erőfejlesztésig. A vizsgálatot megelőző három hónapban a vizsgálati személyek több mint fele nem végzett rendszeres és szisztematikus erőedzést a térdfesztető izomcsoportokra. A vizsgálatnál kizáró ok volt a térdízület sérülése, illetve az alsó végtagi műtét. A vizsgálati személyeket minden esetben tájékoztattuk a kutatás menetéről, annak esetleges kockázatáról és a beleegyezésüket nyilatkozatban rögzítettük.

Vizsgálati protokoll

A vizsgálat egy mérési alkalomból állt. Egy standardizált bemelegítés után a vizsgálati személyeket egy számítógép által vezérelt dinamométer (Multicont II., mintavételi frekvencia: 1000 Hz) segítségével mértük föl. A kalibráció során a gép a karra ható gravitációs erőt kompenzálta, azt a végső adatokból levonta. A vizsgálati személyek lábát a bokánál hevederrel a gép karjához rögzítettük, a térd képzelt forgástengelye és a motor forgástengelye egybe esett. A mérés során összesen 10 maximális erő kifejtést igénylő kontrakciót hajtottak végre, amelyek között 1 perces pihenőt tartottunk.

A bemelegítés egy nyolc percig tartó egyéni tempóban történő kerékpár-ergométeres hajtással kezdődött. Ezután a térdet hajlító, illetve fesztető izomcsoportra ható dinamikus nyújtó gyakorlatokat végeztek mindkét lábra. Ezeket követően támadólépéseket végeztek előre és hátra kilépéssel, mindkét lábbal. A következő gyakorlat a guggolás volt, itt kritériumként azt határoztuk meg, hogy a vizsgálati személyek legalább derékszögig hajlítsák a térdüket. Ezután a mérés mozgásaiban antagonistaként működő izmokat is bemelegítettük, ezzel is csökkentve a sérülések esélyét. Hanyatt fekvésben végeztek csípőemeléseket két lábon, illetve egy lábon. Ezután vállhídból „kisétálást” végeztek közel nyújtott helyzetig és vissza. Ezt követően az idegrendszer fokozott aktiválása érdekében szökdeléseket végeztek. Először kereszt irányba, majd felhívtuk a figyelmüket, hogy nyújtott térdrel csak bokából történő gyors, apró szökdeléseket végezzenek, és fokozatosan emeltük a magasságot, a frekvencia csökkentésével.

A fenti bemelegítési blokk végeztével a vizsgálati személyek már a vizsgálati eszközön egy három koncentrikus térdfesztető kontrakcióból álló bemelegítő programot hajtottak végre. A kontrakciók között 15 másodperces pihenő volt. A kar 80°-os ízületi szöghelyzetből indult, és állandó 60 °/s-os sebességgel mozgott 20°-ig. A vizsgálati személyek feladata az volt, hogy minden alkalommal fokozatosan egyre erősebben fejtse ki az erőt. Az instrukció az volt, hogy az első ismétlés legyen a becsült maximális erő kifejtésének 50%-a, a második 75%-os, a harmadik pedig 90%-os erő kifejtés.

Maximális akaratlagos izometriás kontrakció I.

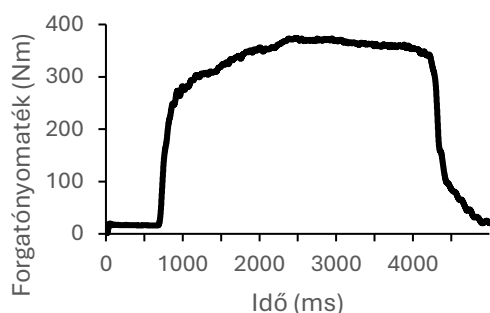
Teszt rövidítése:

IK₃₀, ahol a 30 a térdízületi szöghelyzetre utal.

Mért változó rövidítése:

M_{IK30}, ami az IK30 alatt mért csúcsnyomatékot jelöli.

A vizsgálati személyeknél 30 fokos térdízületi szöghelyzetben mértünk maximális akaratlagos izometriás forgatónyomatékot. A kontrakció 5 másodpercig tartott, az 5 másodperces időszámban mért legmagasabb forgatónyomaték értéket (M_{IK30}) a program automatikusan rögzítette. Ennek a nyomatékkifejtésnek az idő szerinti görbéje az 1. ábrán látható. Ennek a csúcsnyomatéknak vettük a 60%-át, és ezt az értéket használtuk a nyújtásos – rövidülési kontrakció indulási küszöbértékének (trigger threshold), vagyis az a nyomaték, amely elérésekor a nyújtásos-rövidülési kontrakció excentrikus fázisába indul a kar (a későbbiekben kerül részletes kifejtésre). Ezzel az volt a célunk, hogy a nyújtásos-rövidülési kontrakciónál a preaktiváció mértéke mindenkinek személyre szabott legyen.



1. ábra. A forgatónyomaték változása az idő függvényében maximális akaratlagos izometriás kontrakció alatt.

Nyújtásos – rövidülési kontrakció

Teszt rövidítése:

NyRK₁₂₀, ahol a 120 arra az energiára utal, amit a nyújtásos – rövidülési kontrakció előtt betápláltunk a motorokba.

Mért változók rövidítése:

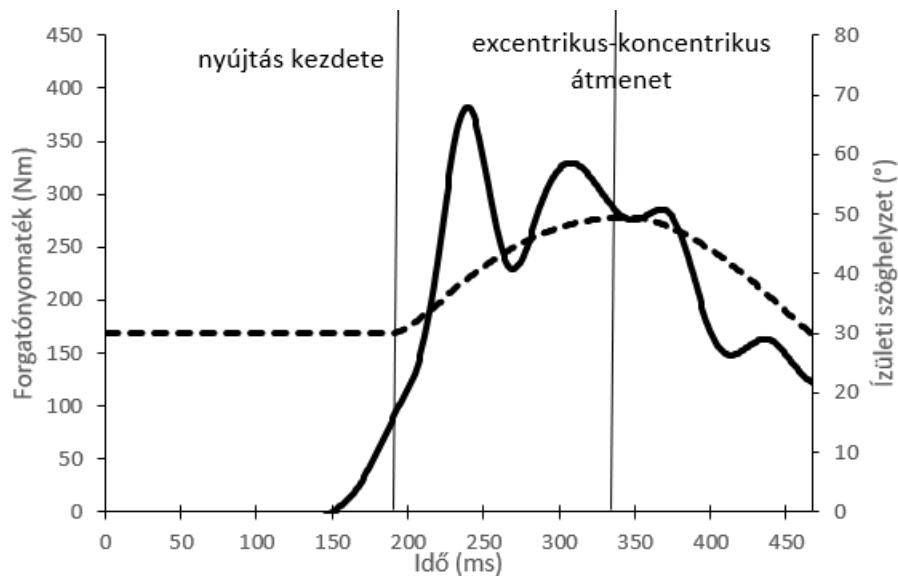
$W_{NyRK120}$, a $NyRK_{120}$ -ból számolt munka. Megkülönböztetünk pozitív ($W_{NyRK120+}$) mechanikai munkát, amit a koncentrikus szakaszban mértünk, illetve negatív ($W_{NyRK120-}$) mechanikai munkát, amit az excentrikus szakaszban mértünk.

T_{tr120} , a $NyRK_{120}$ -hoz tartozó excentrikus-koncentrikus átmeneti (tranzíciós) időtartam.

A kart 30° -ba állította a gép. Az IK_{30} -ban megállapított indulási küszöbérték elérésekor a kart a dynamó méter szervomotorja 120 Joule energiával és $300^\circ/s$ kezdeti szögsebességgel elindította, a vizsgálati személyeknek ezt kellett a lehető leggyorsabban lefékezniük, majd minél robbanékonyabban visszajuttatni a kiindulópóztba. Ezt követően az adatokat excel táblázatba konvertáltuk, és Origin 2018 programmal offline elemeztük. Az excentrikus szakaszban kifejtett mechanikai munkát neveztük negatív munkának (W_{NyRK-}), a koncentrikus szakaszban kifejtett munkát pedig pozitívnak (W_{NyRK+}). A munkát integrálszámítással számoltuk az alábbi egyenlet alapján:

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_n} M_\theta * d\theta$$

ahol M a forgatónyomaték, $d\theta$ a pillanatnyi szögsebesség, θ_1 és θ_n pedig az első és utolsó térdízületi szöghelyzetet jelöli a forgatónyomaték-idő görbén. A három $NyRK_{120}$ kontrakció közül, csak annak adatait elemeztük, amelynél a vizsgálati személynek a legkisebb mozgástartománnyal sikerült a dynamó méter mozgó karját megállítani. Az excentrikus-koncentrikus átmeneti időtartamot úgy határoztuk meg, hogy az excentrikus fázis végszöghelyzete előtti 1 fok és utáni 1 fokhoz legközelebbi pillanatok között eltelt időt jegyeztük föl milliszekundumban. A 2. ábrán látható a forgatónyomaték-idő-szöghelyzet függvény.



2. ábra. A 120 Joule kezdési energiájú nyújtásos – rövidülési kontrakció forgatónyomaték (folytonos) és ízületi szöghelyzet (szaggatott) változásai az idő függvényében.

Maximális akaratlagos izometriás kontrakció II.

Teszt rövidítése:

IK₁₂₀, amely azt a maximális izometriás kontrakció tesztet jelenti, amelyet abban a szöghelyzetben végeztünk el, amelynél a 120 Joule kezdőenergiájú NyRK alatt az adott vizsgálati személy megállította a kart, vagyis ahol az excentrikus-koncentrikus átmenet bekövetkezett.

Mért változó rövidítése:

M_{IK120} az IK₁₂₀-ban mért csúcspanomatékot jelöli.

Miután a 120 J energiával történő nyújtásos – rövidülési kontrakcióban megállapítottuk az excentrikus-koncentrikus átmenet szöghelyzetét (mely értelemszerűen a vizsgálati személyek között eltérő volt), ebben a szöghelyzetben külön megmértük a vizsgálati személyek térdízületének maximális izometriás forgatónyomatékát a „maximális izometriás kontrakció I” fejezetben leírtakkal megegyező módon.

Maximális koncentrikus kontrakció

Teszt rövidítése:

KK₁₂₀, amely azt a maximális izometriás kontrakció tesztet jelenti, amelyet abban a szöghelyzetben végeztünk el, amelynél a 120 Joule kezdőenergiájú NyRK alatt az adott

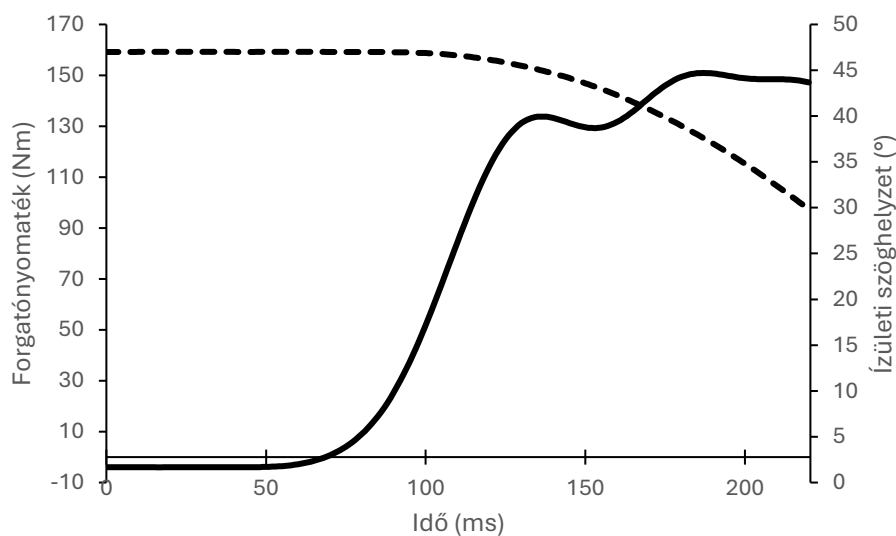
vizsgálati személy megállította a kart, vagyis ahol az excentrikus-koncentrikus átmenet bekövetkezett.

Mért változók rövidítése:

W_{KK120} , ami a KK_{120} alatt kifejtett mechanikai munka.

$W_{NyRK/KK120}$, ami a $NyRK$ pozitív munkájának és a hozzá tartozó KK -nak arányszáma.

A KK_{120} mérést abból a szöghelyzetből indítottuk, ahol a $NyRK_{120}$ excentrikus – koncentrikus átmenet bekövetkezett. A gép a kart erre a szögre állította be. Innen kellett a lehető leggyorsabban térdnyújtással föltolni a kart 0 fokig, ahol egy fizikai akadály megállította a mozgást. A gép csak 30°-ig rögzítette az adatokat, így tehát a $NyRK_{120}$ -ban mért pozitív munkával megegyező mozgástartományt vettük figyelembe (ahogy a 3. ábrán is látható). A $NyRK_{120}$ -nál a quadricepsben raktározott energia hasznosulását a nyújtásos rövidüléssel kontrakció pozitív szakaszában kifejtett munka ($W_{NyRK120}^{+}$) és a koncentrikus kontrakcióban mért munka (W_{KK120}) arányával jellemeztük ($W_{NyRK120}^{+} / W_{KK120}$).



3. ábra. A koncentrikus kontrakció alatt kifejtett forgatónyomaték (folytonos) és az ízületi szöghelyzet (szaggatott) változása az idő függvényében.

Adatfeldolgozás, statisztikai elemzések

Valamennyi változó esetében átlagot és szórást számoltunk. A kapott adatsorokat normalitásvizsgálattal megvizsgálva azt kaptuk, hogy az izometriás kontrakciókban mért

maximális forgatónyomaték (M_{IK30} , M_{IK120}), a nyújtásos – rövidüléses kontrakció koncentrikus szakaszában mért mechanikai munka ($W_{NyRK120+}$), illetve a $W_{NyRK120+}$ és W_{KK120} közötti arány ($W_{NyRK+/KK120}$) eloszlása felel meg normál eloszlásnak, így ezeknél a Pearson korrelációanalízist, a nem normál eloszlásúaknál pedig Spearman korrelációanalízist alkalmaztuk. A statisztikai szignifikanciát $p < 0,05$ értékben határoztuk meg.

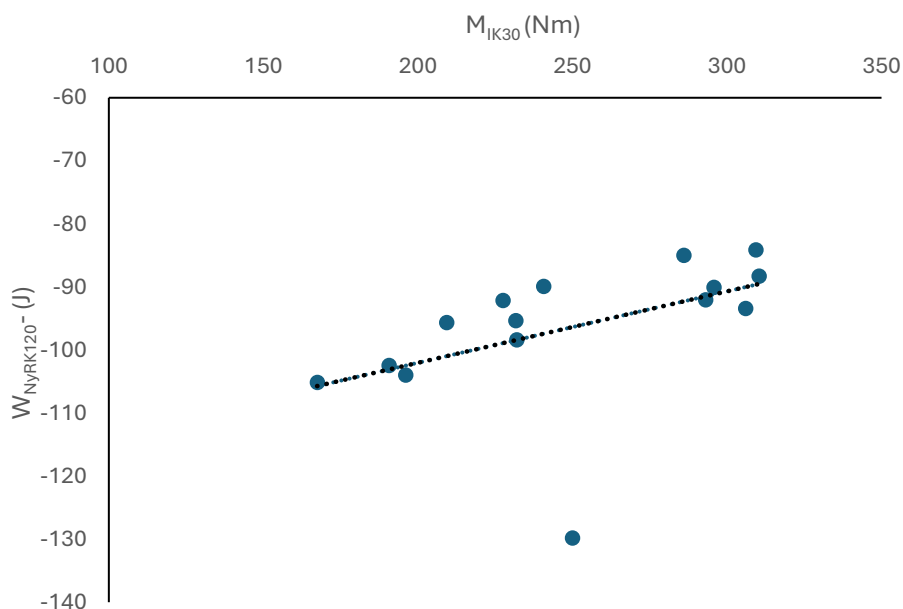
Eredmények

Az izometriás erő, valamint a NyRK excentrikus munkavégzés koncentrikus hasznosulása közötti kapcsolat (1. hipotézis)

Azt tapasztaltuk, hogy M_{IK30} és $W_{NyRK120/KK120}$ között nem volt szignifikáns összefüggés. M_{IK120} és $W_{NyRK120/KK120}$ között szintén nem tudtunk összefüggést bizonyítani. Az eredmények alapján tehát az első hipotézist elvetjük.

Az izometriás erő és a NyRK excentrikus és koncentrikus fázisában kifejtett mechanikai munka kapcsolata (2. hipotézis)

M_{IK30} és $W_{NyRK120-}$ között erős korrelációt találtunk ($p=0,003$) (4. ábra).



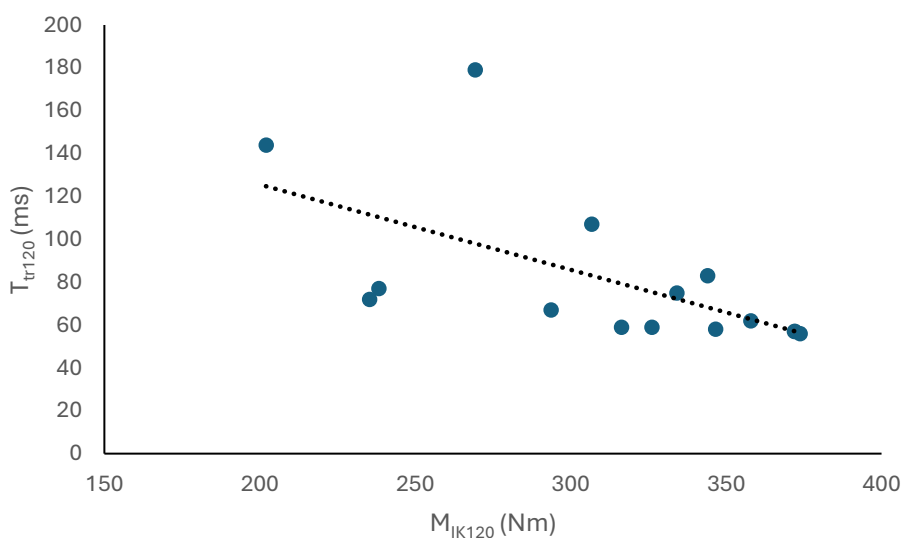
4. ábra. M_{IK30} és $W_{NyRK120-}$ közötti összefüggés.

M_{IK30} és $W_{NyRK120+}$ között nem találtunk összefüggést. M_{IK120} és $W_{NyRK120-}$ között közepes erősségű korrelációt találtunk ($p=0,024$), míg M_{IK120} és $W_{NyRK120+}$ között nem találtunk összefüggést.

Hipotézisünket az adatok részben igazolják, tehát a negatív munka és az izometriás forgatónyomaték közötti összefüggést elfogadjuk.

Az izometriás erő és a NyRK excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartamának összefüggése (3. hipotézis)

M_{IK30} és T_{tr120} között erős negatív korrelációt kaptunk ($p=0,003$). M_{IK120} és T_{tr120} között erős negatív korreláció volt ($p=0,0009$) amit az 5. ábra mutat.



5. ábra. T_{tr120} és M_{IK120} összefüggése.

Egyéb, hipotézisekhez nem köthető eredmények

M_{IK30} és M_{IK120} között erős pozitív korrelációt kaptunk.

$W_{NyRK/KK120}$ és $W_{NyRK120+}$ között közepesen erős korrelációt találtunk ($p=0,003$). $W_{NyRK120-}$ és W_{KK120} között erős korrelációt találtunk ($p=0,0001$). W_{KK120} erős korrelációt mutatott T_{tr120} -szal ($p=0,0008$).

Megbeszélés

A kutatás célja az volt, hogy feltárja az összefüggéseket a maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés és a nyújtásos – rövidülésszerű kontrakció különböző kvantitatív mutatói között. Azt

vártuk, hogy az excentrikus szakaszban előfeszített izom energiaraktározó képessége kihat a koncentrikus szakaszban nyújtott munkavégzésre is. Ezt el kellett vetnünk, nem találtunk összefüggést az izometriás maximális forgatónyomaték és a nyújtásos-rövidüléssel történő hasznosulása között. Viszont a nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció során mért excentrikus munka összefüggést mutatott az izometriás erővel, a nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció excentrikus – koncentrikus átmeneti idejével és a tisztán koncentrikus kontrakció alatt mért mechanikai munkával. Ugyanúgy korrelációt találtunk az izometriás erő és az excentrikus – koncentrikus átmeneti idő között.

I. hipotézis. Az izometriás erő és az izom elasztikus energiatárolásának összefüggése.

Az első hipotézisünk az volt, hogy a maximális erő összefüggésben van a nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció excentrikus fázisában történő munka koncentrikus szakaszban történő hasznosulásával. A 30 fokon – ahonnan a méréseket indítottuk – mért izometriás forgatónyomaték nem mutatott korrelációt a nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció során számolt hasznosulással. Nem találtunk továbbá összefüggést az excentrikus – koncentrikus átmeneti szöghelyzetben mért izometriás forgatónyomaték és az excentrikus munka hasznosulása között sem. Így tehát ezt a hipotézist elvetjük. Thomas és munkatársai is azt az eredményt kapták, hogy az izometriás erőnél jobb indikátor ha dinamikus erőt mérnek⁽²³⁾. Mi is azt mondhatjuk el, hogy az izometriás erő kifejtés statikus mivolta miatt nem tükrözi a nyújtásos rövidüléssel történő kontrakcióra jellemző dinamizmust, így nem tudja jól tükrözni a gyors mozgásban kifejtett erőt.

II. hipotézis. Az izometriás erő és a nyújtásos rövidüléssel történő kontrakcióban kifejtett excentrikus, valamint koncentrikus munkavégzés összefüggése.

Második hipotézisünk az volt, hogy az izometriás erő a nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció során kifejtett excentrikus munkával és koncentrikus munkával is összefüggésben áll. A nyújtásos – rövidüléssel történő kontrakció során kifejtett negatív munka esetében azt tapasztaltuk, hogy a 30 fokban mért izometriás erő kifejtés és a nyújtásos – rövidüléssel történő mérés excentrikus szakaszában kifejtett mechanikai munka között erős korreláció van. Ugyanígy az excentrikus – koncentrikus átmeneti szöghelyzetben mért izometriás erő kifejtés is korrelációt mutatott az excentrikus szakaszban kifejtett munkával. A nyújtásos rövidüléssel történő kontrakció koncentrikus szakaszában kifejtett mechanikai munka és az izometriás erő kifejtés között egyik szöghelyzetben sem találtunk kapcsolatot. Tehát a hipotézisünket részben cáfoltuk. A koncentrikus szakaszról tett állítást elvetettük, viszont az excentrikus szakaszban volt korreláció az izometriás erővel, így ezt a részt nem tudjuk teljes mértékben cáfolni.

III. hipotézis. Az izometriás erő kifejtés és a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartamának összefüggése

A harmadik hipotézisünkben azt vizsgáltuk, hogy a maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés milyen összefüggésben áll a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartam hosszával. A mérések indulási szöghelyzeténél (30°) mért maximális akaratlagos izometriás forgatónyomaték és a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció során számolt tranzíciós idő is korrelációt mutatott. Mivel az excentrikus – koncentrikus átmenet szöghelyzete közel volt a mérés kiinduló szöghelyzetéhez, a negatív korreláció értelemszerű, minél nagyobb erőt tudtak közölni a karral, annál rövidebb idő alatt sikerült megfordítani a mozgás irányát. Ezt a tendenciát figyelték meg mások is^(3,24).

A nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus – koncentrikus átmeneti szöghelyzetében mért maximális izometriás forgatónyomaték és ehhez a nyújtásos rövidüléssel kontrahációhoz kapcsolódó excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartam között is erős negatív korrelációt tapasztaltunk, ami valószínűleg a nyújtási reflex aktiválásához megfelelő szintű terhelésnek köszönhető, így tökéletesen meg tudott valósulni az elasztikusan raktározott energia felhasználása.

Az összefüggés a maximális izometriás erő kifejtés és a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartamában tehát jelen van, a hipotézisünket igazoltuk.

Egyéb járulékos eredmények

A 30° -ban – a nyújtásos-rövidüléssel kontraháció kiindulási szöghelyzetében – mért maximális izometriás forgatónyomaték és a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus – koncentrikus átmeneti szöghelyzetéből indított tisztán koncentrikus kontrahációban mért mechanikai munka között nagyon erős negatív korrelációt találtunk. Valószínűleg azért alakult így, mert az izometriás erő kifejtésben volt idő fölépíteni az izom maximális erő kifejtését, a koncentrikus kontraháció során viszont nem volt számottevő ellenállás a karnak (csupán a súrlódás, amit a kompenzációs algoritmus aztán kiegyenlített), mivel a robbanékony erő által kifejtett mechanikai munkát kívántuk mérni. Ezért nem volt lehetősége a maximális forgatónyomatékot elérni az izomnak. Ez azt eredményezi, hogy akinél alacsonyabb izometriás forgatónyomatékot mértünk, a koncentrikus munka arányaiban magasabb értéknek számított, mint akinél magas volt az izometriás forgatónyomaték érték.

Összefüggést találtunk a nyújtásos – rövidüléssel kontraháció excentrikus szakaszában kifejtett mechanikai munka koncentrikus szakaszban történő hasznosulása és a tisztán koncentrikus

kontrakcióban kifejtett munka között is. Ez tehát arra enged következtetni, hogy sokkal meghatározóbb szerepe van a koncentrikus kontrakcióban kifejtett munkában az excentrikus szakaszból raktározott energiának, mint a maximális izometriás forgatónyomatéknak. Erre az eredményre jutottak Kosterina és munkatársai is⁽²⁵⁾.

Ugyanígy összefüggést találtunk a nyújtásos – rövidüléssel kontrakció excentrikus szakaszában kifejtett mechanikai munka és a tisztán koncentrikus kontrakcióban kifejtett munka között, ami szintén az előző bekezdésben tárgyalt jelenséget támasztja alá, tehát az excentrikus szakaszban kifejtett mechanikai munka jobb indikátora a koncentrikus munkavégzésnek, mint az izometriás forgatónyomaték.

Erős pozitív korrelációt találtunk még a nyújtásos – rövidüléssel kontrakció mozgástartományában mért tisztán koncentrikus kontrakcióban kifejtett mechanikai munka és a nyújtásos – rövidüléssel kontrakció excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartama között. A koncentrikus munkavégzés mérése során az erő kifejtés robbanékonyasága meghatározó faktor volt, így ez az összefüggés várható volt, hiszen a robbanékonyaság a mozdulat elindításának sebességére utal és az átmeneti időtartam mérése is ezt vizsgálta. Ezt az eredményt kapták más kutatók is⁽²⁶⁾.

Összefoglalás

Összefoglalva tehát a bemutatott adatok alapján azt tudjuk mondani, hogy a maximális izometriás akaratlagos erő kifejtés nincs összefüggésben a nyújtásos – rövidüléssel kontrakció excentrikus szakaszában kifejtett mechanikai munka koncentrikus szakaszban történő hasznosulásával, sem a koncentrikus szakaszban kifejtett mechanikai munkával. Találtunk azonban összefüggést az izometriás forgatónyomaték és az excentrikus szakaszban kifejtett munka között, illetve elmondhatjuk, hogy az izometriás forgatónyomaték és a nyújtásos – rövidüléssel ciklus excentrikus – koncentrikus átmeneti időtartama között szintén korrelációt találtunk.

A járulékos eredmények alapján arra tudunk következtetni, hogy az izometriás maximális erő helyett sokkal jelentősebb szerepe van a nyújtásos – rövidüléssel kontrakcióban a dinamikus mechanikai munkának mind az excentrikus, mind a koncentrikus kontrakciók során.

Tehát azt tudjuk mondani, hogy a maximális akaratlagos izometriás erő kifejtés növelése nem segíti a nyújtásos – rövidüléssel kontrakcióra épülő mozgások sikerességét, a kettő között nem

találtunk összefüggést. Az izometriás gyakorlatok helyett hatékonyabb módszer a dinamikus gyakorlatok alkalmazása.

Irodalomjegyzék

1. Turner AN, Jeffreys I. The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength Cond J* [Internet]. 2010 Aug;32(4):87–99. Available from: <https://journals.lww.com/00126548-201008000-00010>
2. Fukutani A, Misaki J, Isaka T. Effect of Preactivation on Torque Enhancement by the Stretch-Shortening Cycle in Knee Extensors. Csernoch L, editor. *PLoS One* [Internet]. 2016 Jul 14;11(7):e0159058. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0159058>
3. McCarthy JP, Wood DS, Bolding MS, Roy JLP, Hunter GR. Potentiation of Concentric Force and Acceleration Only Occurs Early During the Stretch-Shortening Cycle. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2012 Sep;26(9):2345–55. Available from: <https://journals.lww.com/00124278-201209000-00006>
4. Davies G, Riemann BL, Manske R. CURRENT CONCEPTS OF PLYOMETRIC EXERCISE. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2015 Nov;10(6):760–86. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26618058><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4637913>
5. Beattie K, Carson BP, Lyons M, Kenny IC. The Relationship Between Maximal Strength and Reactive Strength. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2017 Apr;12(4):548–53. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/12/4/article-p548.xml>
6. Young W, McLean B, Ardagna J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* [Internet]. 1995 Mar;35(1):13–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7474987>
7. Thibadeau C. Theory and Application of Modern Strength and Power Methods. 2004;160. Available from: [http://www.filesavr.com/storage/premiumuploads/w/N/p/wNpg9bQ2nelNDi06/Christia n Thibaudeau - Theory and Application of Modern Strength and Power Methods](http://www.filesavr.com/storage/premiumuploads/w/N/p/wNpg9bQ2nelNDi06/Christian%20Thibadeau%20-%20Theory%20and%20Application%20of%20Modern%20Strength%20and%20Power%20Methods.pdf)

(2004).pdf

8. Turner A, Miller S, Stewart P, Cree J, Ingram R, Dimitriou L, et al. Strength and Conditioning for Fencing. *Strength Cond J* [Internet]. 2013 Feb;35(1):1–9. Available from: <https://journals.lww.com/00126548-201302000-00001>
9. Perrey S, Millet G, Candau R, Rouillon JD. Stretch-shortening cycle in roller ski skating: Effects of speed. *J Appl Biomech*. 2000;16(3):264–75.
10. Gheller RG, Kons RL, Dal Pupo J, Detanico D. Methods to calculate lower-body stretch–shortening cycle utilization in the vertical jump: Which is the best for athletes of different sports? *Sci Sport* [Internet]. 2023;38(5–6):626–30. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2022.10.004>
11. de Villarreal ESS, Requena B, Newton RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2010;13(5):513–22.
12. Dymond C, Flanagan EP, Turner AP. The Relationship Between Maximal Strength and Plyometric Ability in Rugby Players. *Int Conf Biomech Sport*. 2011;11:77–80.
13. Falch HN, Rædergård HG, van den Tillaar R. Association of strength and plyometric exercises with change of direction performances. *PLoS One*. 2020;15(9 September):1–16.
14. Rahimi R, Behpur N. the Effects of Plyometric , Weight and Plyometric-Weight Training on Anaerobic Power and Muscular Strength. *Facta Univ Phys Educ Sport* [Internet]. 2005;3(1):pp.81–91. Available from: <http://scindeks.nb.rs/article.aspx?artid=0354-47450501081R>
15. Adams K, O’Shea JP, L.O’Shea K, Climstein M. The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *J Strength Cond Res*. 1992;6(1):36–41.
16. Meszler B, Atlasz T, Misovics B, Botka B, Szabó E, Váczi M. Combined strength and plyometric exercise training improves running economy and muscle elastic energy storage and re-use in young untrained women. *Eur J Integr Med* [Internet]. 2019;28(November 2018):86–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2019.05.004>
17. Bouguezzi R, Chaabene H, Negra Y, Moran J, Sammoud S, Ramirez-Campillo R, et al.

- Effects of jump exercises with and without stretch-shortening cycle actions on components of physical fitness in prepubertal male soccer players. *Sport Sci Health* [Internet]. 2020 Jun 18;16(2):297–304. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11332-019-00605-6>
18. Ramírez-Campillo R, Izquierdo M, Andrade DC. Effects of Plyometric Training Volume and. 2013;23(2):2714–22.
 19. Vissing K, Brink M, Lønborg S, Sørensen H, Overgaard K, Danborg K, et al. Muscle Adaptations to Plyometric vs. Resistance Training in Untrained Young Men. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2008 Nov;22(6):1799–810. Available from: https://journals.lww.com/nsca-jscr/fulltext/2008/11000/Muscle_Adaptations_to_Plyometric_vs_Resistance.12.aspx
 20. Vácz M, Rácz L, Hortobágyi T, Tihanyi J. Dynamic Contractility and Efficiency Impairments in Stretch-Shortening Cycle Are Stretch-Load-Dependent After Training-Induced Muscle Damage. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2013 Aug;27(8):2171–9. Available from: <https://journals.lww.com/00124278-201308000-00017>
 21. Paavo.V. K. Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. 2000;33:1197–206.
 22. Warneke K, Wagner C-M, Keiner M, Hillebrecht M, Schiemann S, Behm DG, et al. Maximal strength measurement: A critical evaluation of common methods—a narrative review. *Front Sport Act Living* [Internet]. 2023 Feb 17;5(February):32–5. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2023.1105201/full>
 23. Thomas C, Jones PA, Rothwell J, Chiang CY, Comfort P. An Investigation Into the Relationship Between Maximum Isometric Strength and Vertical Jump Performance. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2015 Aug;29(8):2176–85. Available from: <https://journals.lww.com/00124278-201508000-00013>
 24. Komi P V., Gollhofer A. Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement during SSC Exercise. *J Appl Biomech* [Internet]. 1997 Nov;13(4):451–60. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jab/13/4/article-p451.xml>
 25. Kosterina N, Westerblad H, Lännergren J, Eriksson A. Muscular force production after concentric contraction. *J Biomech*. 2008;41(11):2422–9.

26. Santos EJAM, Janeira MAAS. Effects of Complex Training on Explosive Strength in Adolescent Male Basketball Players. J Strength Cond Res [Internet]. 2008 May;22(3):903–9. Available from: http://journals.lww.com/nsca-jscr/Abstract/2008/05000/Effects_of_Complex_Training_on_Explosive_Strength.36.aspx