

A motoros egységek aktivitásának változása a biceps brachii izomban különböző intenzitású izometriás terhelések hatására

Hegedüs Ádám ■ Kopper Bence Ádám dr.

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem, Budapest

Bevezetés: Daganatos betegeknél az izomtömeg csökkenése számos esetben és daganattípusnál megfigyelhető. Ennek hatására a beteg életminősége drasztikusan romolhat, képtelenné válhat az önellátásra. Napjainkban a daganat primer kezelése mellett előtérbe került a betegek fizikális edzése is, hogy életminőségüket fenntarthassák. Ehhez egy kulcs lehet a hirtelen izomvesztést megelőzni képes ellenállásos edzés, amelyet a primer kezelés mellett képes végezni a beteg, s erre egy lehetőség lehet az izometriás edzés.

Célkitűzés: Célunk az volt, hogy mérjük a biceps brachii izom aktivációs frekvenciájának karakterisztikáit alanyainkban egy fárasztási protokoll során, miközben állandó kontrollált izometriás feszülést hozunk létre az izomban.

Módszer: Vizsgálatunkban 19 egészséges egyetemi hallgató vett részt. A domináns oldal meghatározása után felmértük az alanyok egyismétléses maximumát a GymAware RS eszközzel, majd ennek kiszámítottuk a 65%-át és a 85%-át. Elektrodákat helyeztünk a biceps brachii izomra, és a hallgatóknak teljes kifáradásig kellett tartaniuk 65%-on és 85%-on a súlyt. Közvetlenül ezután izometriás maximális kontrakciót (Imax) hajtottak végre az alanyok. A mért elektromiográfias regisztrátumot 3 egyenlő részre osztottuk, s az első, a középső és az utolsó 3 mp-et (W1, W2, W3) elemeztük.

Eredmények: Eredményeink azt mutatják, hogy a fáradással összhangban mind 1RM 65%-os, mind 1RM 85%-os terhelésnél nő az alacsony frekvenciájú motoros egységek aktivitása, míg a magas frekvenciájú motoros egységek aktivációja csökken.

Megbeszélés: A jelen kutatás összhangban van korábbi vizsgálatunkkal.

Következtetés: Vizsgálati protokollunk nem alkalmas a magas frekvenciájú motoros egységek hosszan tartó aktivációjára, mert az idő múlásával csökken a nagy motoros egységek aktivitása.

Orv Hetil. 2023; 164(10): 376–382.

Kulcsszavak: elektromiográfia, fizioterápia, biomechanika, motorosegység-toborzás

Changes in motor unit activity in the biceps brachii muscle under different intensities of isometric loading

Introduction: In patients with cancer, loss of muscle mass is observed in many cases and tumour types. This can lead to a drastic deterioration in the patient's quality of life, with the inability to support themselves. Nowadays, in addition to primary treatment of the tumour, physical training of patients has become a priority in order to maintain their quality of life. One key to this is resistance training to prevent sudden muscle loss, which the patient can do alongside primary treatment, and isometric training may be one option.

Objective: Our aim was to measure the activation frequency characteristics of the biceps brachii muscle in our subjects during a fatigue protocol while creating a constant controlled isometric tension in the muscle.

Method: 19 healthy university students participated in our study. After determining the dominant side, the subjects' single repetition maximum was assessed using the GymAware RS tool and then 65% and 85% of this was calculated. We placed electrodes on the biceps brachii muscle and had them hold the weight at 65% and 85% until full fatigue. Immediately afterwards, subjects performed an isometric maximal contraction (Imax). The measured electromyography recordings were divided into 3 equal parts, then the first, middle and last 3 s (W1, W2, W3) were analyzed.

Results: Our results show that, consistent with fatigue, at both 1RM 65% and 1RM 85% load, the activity of the low-frequency motor units increases, while the activation of the high-frequency motor units decreases.

Discussion: The present study is consistent with our previous study.

Conclusion: Our test protocol is not suitable for prolonged activation of high-frequency motor units because the activity of high-frequency motor units decreases over time.

Keywords: electromyography, physiotherapy, biomechanics, motor unit recruitment

Hegedüs Á, Kopper B.Á. [Changes in motor unit activity in the biceps brachii muscle under different intensities of isometric loading]. *Orv Hetil.* 2023; 164(10): 376–382.

(Beérkezett: 2022. december 16.; elfogadva: 2023. január 21.)

Rövidítések

IRM = egyismétléses maximum; COVID-19 = coronavirus disease 2019) koronavírus-betegség 2019; EKG = elektrokardiográfia; EMG = elektromiográfia; SENIAM = (surface EMG for non-invasive assessment of muscles) felületi EMG az izmok noninvaszív értékeléséhez; sEMG = (surface electromyography) felületi elektromiográfia

Hazánkban a daganatos betegségek felelősek az egyik legnagyobb arányban a halálozásért. A daganatos megbetegedésben szenvedőknek izomatrófiával és gyors testtömegvesztéssel kell szembenéznük, aminek következménye lesz az életminőség romlása, a betegség előrehaladásának gyorsulása, ezzel összefüggésben pedig a gyógyulás lehetőségének csökkenése [1–4].

Daganatos betegeknél az izomtömeg csökkenését nagyon sok esetben megfigyelhetjük, de tudásunk erről a folyamatról jelenleg még hiányos. Néhány publikációban az olvasható, hogy az izomtömegvesztés a daganatos betegség direkt következménye, más vélemények szerint alkalmazott kezelések is kiválthatnak izomatrófiát [5, 6]. Korábban a folyamat kezelése, lassítása a primer daganat kezelése mellett nem kapott különösebb figyelmet, de napjainkban a fejlettebb ellátórendszerekben az izomtömegvesztés ellensúlyozására komplex terápiát alkalmaznak, amely magában foglalja a speciális étrend kialakítását, táplálékkiegészítők fogyasztását és edzéstervek végrehajtását is [7, 8]. A különféle fizikális edzésformák különböző hatást fognak eredményezni a betegeknél. Az állóképességi edzés az oxidatív metabolizmusra lesz jótékony hatással, viszont az izomtömeg megtartására vagy növelésére nem alkalmas, ezzel szemben az ellenállásos edzés bizonyos terjedelmi és intenzitási zónákban képes izom-hipertrófiát előidézni [9, 10]. Ezek a terjedelmi és intenzitási zónák azonban megkövetelnek bizonyos fokú erőnlétet, ami daganatos betegek esetében korlátozó tényező lehet, ugyanis a betegeknél kialakulhat krónikus fáradtság, kardiológiai problémák, sok esetben a motiváció radikális csökkenése, amely hatások korlátozni fogják mozgásképességüket, így a javallott terápiát is. Ezért általában mérsékelt intenzitású ellenállásos edzéseket (külső terhelés ellenében végzett testmozgás, például súlyozós gyakorlatok) alkalmaznak az atrófia – amelynek következménye lehet az önálló képesség elvesztése, annak pedig a kényszerhospitalizáció – megelőzésére, így

viszont csak mérsékelt izomaktivációt lehet elérni, amely általában nem elegendő az izom-hipertrófia kiváltásához [11]. Az izom-hipertrófia kiváltásához ugyanis az aktiválás és a terhelés meghatározott nagysága kulcsfontosságú, mivel a mérsékelt edzésterhelés csak a lassú izomrostokat stimulálja, de a gyors izomrostokat nem [12]. Azért lényeges szempont, hogy izom-hipertrófia létrejön-e, és nemcsak a lassú I-es, hanem a gyors IIa és IIx típusú rostokban, mert a betegek mobilizációja, alapszintű otthoni önellátása – ágyból felkelés, székéből felállás – szempontjából a gyors, nagy feszülés létrehozására képes izomcsoportoknak komoly szerepük van. Emiatt is különösen nagy annak jelentősége, hogy a gyors rostok fejlesztése is szerepet kapjon a fizioterápiás tréningekben, és a mobilizáció fennmaradjon. Az izom-hipertrófia mértékének megállapításához elengedhetetlen, hogy a különböző típusú izomrostokat és edzésmodszereket elkülönítsük egymástól. Kis neuralis tüzelési frekvencián aktiválódó izmok az I-es típusú, más szóval lassú izomrostok. Ezeknél a rostoknál az erőfelfutás meredeksége alacsony, és kis erő kifejtésre képesek, de nagymértékben ellenállnak a fáradásnak. A nagy frekvencián aktiválódó izomrostok a IIa és IIx típusú gyors izomrostok. Ezekben a rostokban az erőfelfutás meredeksége nagy, nagy erő kifejtésre képesek, de ezek a rostok hajlamosak a gyors fáradásra, az általuk kifejtett erőt nem tudják hosszú ideig fenntartani.

A méretelv jelentős tényező az erő kifejtés szabályozásában [12]. A méretelv szerint természetes körülmények között az erő kifejtés növekedésével több izomrost és ezzel egyidejűleg magasabb frekvenciájú izomrostok is bekapcsolódnak [12–19], viszont az erő kifejtés nagyságának növelésére van egy másik idegrendszeri stratégia is. Abban az esetben, ha a központi idegrendszer már nem tud több izomrostot aktivációra bírni, a már bekapcsolt izmokhoz küldött ingerek frekvenciáját fogja változtatni [20]. Ha a terhelés nagy intenzitású, következésképpen az izomaktiváció szintje is nagy, a legtöbb rost aktív. Ha a terhelést ugyanazon a nagy intenzitású szinten tartjuk, elméletileg az összehúzódás kezdete után nem lenne látható jelentős változás az izomaktiváció nagyságában és mintázatában. Mivel azonban izomfáradás következik be, feltételezhető, hogy amíg az idegi aktiváció állandó marad, nem minden izomrost lesz képes az összehúzódást ugyanazon a szinten tartani. Ezért az is feltételezhető, hogy – különösen izometrikus körülmények között

vagy ellenállásos gyakorlatoknál – az idegi rendszer kompenzálná, hogy az izomban ugyanazt az összehúzódsági szintet tartsa fenn, amely a nagy terhelés további megtartásához szükséges, következésképpen megemelné az idegi inger aktiválási szintjét, és növelné a jel frekvenciáját is az új rostok aktiválása érdekében. Nagyobb mértékű hipertrófia érhető el a II-es típusú izomrostok direkt stimulálásával, ahhoz viszont, hogy ezek a rostok bekapcsolódjanak a munkavégzésbe, a külső terhelésben kifejezett edzésintenzitásnak is el kell érnie a bekapcsoláshoz szükséges igen magas küszöbértéket [12].

A tradicionális ellenállásos edzés mellett lehetőségünk van izometriás edzést is alkalmazni. Az izometriás edzés igen hatékonyan alkalmas az izomtömeg növelésére, ezenkívül bizonyos esetekben neuromuscularis adaptációt is megfigyelhetünk. Az egyetlen negatívum, amelyet említhetünk az izometriás edzéssel kapcsolatban, hogy dinamikus gyakorlatok végrehajtása közben az izometriás edzéssel szerzett izomerő nehezen transzferálható, ha viszont ezt a módszert célzottan az izomtömeg megtartására, növelésére használjuk, s ennek köszönhetően javul a betegek életminősége és prognózisa, s mellette végeznek más jellegű fizikális aktivitást is, úgy a pozitív hatások felülírják ezt az egy negatívumot [21]. A legújabb vizsgálatok szerint ezenkívül figyelembe kell vennünk azt a jelenséget, miszerint a daganatos betegeknél megfigyelhető az izomtömeg csökkenésével párhuzamosan a lassú izomrostoktól a gyors izomrostok felé történő eltolódás [22]. A gyors fáradás és az edzésintolerancia hátterében a fáradásnak ellenálló I-es típusú rostok tömegének csökkenése állhat. Ez azt jelenti, hogy a II-es típusú izomrostok specifikus edzésének és aktiválásának, valamint az izomsorvadás csökkentésének rendkívüli jelentősége van, amikor a cél a betegek általános életminőségének és mobilitásának javítása, fenntartása.

Következésképpen amikor a nagy intenzitású edzés nem alkalmazható a daganatos betegek esetében, felmerülhet a kérdés, hogy a mérsékelt terheléssel hosszabb időtartamig végzett gyakorlatok során megjelenő fáradás eredményeképpen a központi idegrendszer aktiválja-e a II-es típusú izomrostokat, és ezáltal csökkenthető-e az izomtömeg-veszteség. Kutatásunkban megvizsgáljuk, hogy a mérsékelt terheléssel végzett ellenállásos edzés során az I-es típusú rostok aktivitása mellett, amikor ezek az izomrostok kifáradnak, de az edzés folytatódik, milyen mértékben változik a IIa és IIx típusú rostok aktiválása, vagyis a gyors izomrángású rostok átvehetik-e a szerepet a terhelés megtartásában, és aktívvá válnak-e, vagyis mérsékelt terhelésintenzitás mellett létrejöhet-e bennük izom-hipertrófia.

Célkitűzés

A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy hogyan változik a biceps brachii izom aktivációs szintje, miközben az izom nagy és közepes szintű izometriás terheléssel teljesen kifáradt állapotba kerül. A különböző frek-

venciájú izomrostok aktivációs szintjének meghatározásához kiszámítottuk az elektromiográfias (EMG-) adatok teljesítményspektrum-tartalmát 20 Hz széles frekvenciaintervallumokra. A felületi elektródákkal rögzíthető EMG-jel egy komplex jel, amely kisebb és nagyobb frekvenciájú részek szuperpozíciójából áll össze. Az általunk alkalmazott EMG-rendszer szoftvere és a Fourier-analízis segítségével különböző frekvenciájú komponensek szétválaszthatók, és kiszámítható a kisebb és nagyobb frekvenciájú jelek amplitúdója, következésképpen intenzitása, és ennek eredményeként meghatározható a kisebb és nagyobb frekvenciájú, lassú és gyors izomrostok aktivációs szintje. Közepes (egyismétlése maximum [1RM] = 65%) terhelést alkalmazva feltételezhető, hogy az összehúzódság kezdetén a kis frekvenciájú motoros egységek aktivitása lesz nagy, a protokoll végén pedig azt feltételezzük, hogy a nagy frekvenciájú motoros egységek aktivitása nőni fog, így kompenzálva a fáradást, míg nagyobb (1RM = 85%) terhelést alkalmazva feltételezhető, hogy az összehúzódság kezdetén a nagy frekvenciájú motoros egységek aktivitása is nagy, míg a kis frekvenciájú motoros egységek aktivitása kicsi lesz, a protokoll végén pedig emelkedik mind a kis, mind a nagy frekvenciájú motoros egységek aktivitása, hogy a külső ellenállással szemben ellen tudjon állni az izom. A nagy frekvenciájú rostok aktivitásának növekedése azt jelezni, hogy mivel a teljes kifáradás következtében egyre kevesebb kis frekvenciájú rost vesz részt az izom feszülésének fenntartásában, egyre több nagy frekvenciájú rost venné át a terhelést. Következésképpen feltételezésünk szerint a daganatos betegek fizikális rehabilitációjában az ellenállásos gyakorlatokban közepes terhelést alkalmazva megfelelő protokoll mellett a gyors izomrostok is aktiválódnak, melyek jobban hipertrofizálhatók, és így segítenek fenntartani a mindennapi élethez szükséges kontrakciós szinteket, és emiatt javítanak a betegek életminőségén, illetve az otthoni ellátást lehetővé téve a kórházi ágyak leterheltségét képesek csökkenteni. Ezért célunk az volt, hogy mérjük a biceps brachii izom aktivációs frekvenciájának jellemzőit alanyainkban egy fárasztási protokoll során, miközben állandó kontrollált izometriás feszülést hozunk létre az izomban.

Módszer

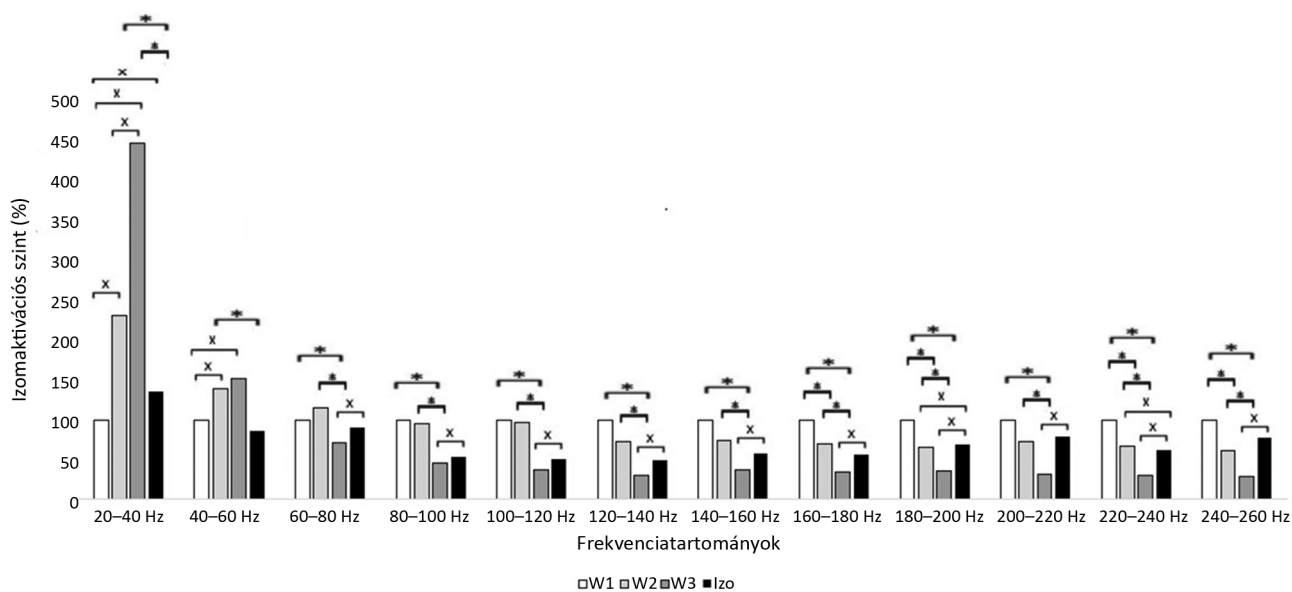
Vizsgálatunkban összesen 19 egészséges felnőtt egyetemi hallgató vett részt (24,09 ± 4,66 év, 176,3 ± 8,79 cm, 69,52 ± 9,78 kg). A vizsgált személyek egészségesek és jó fizikális kondícióban voltak; kiválasztásuknál fontos szempont volt, hogy legalább heti 150 perc testmozgást végezzenek, és felső végtagjaik nem sérültek az elmúlt egy évben. A vizsgálat első lépéseként felmértük az 1RM-et – a legnagyobb külső terhelés, amellyel szabályosan végre tudja hajtani a gyakorlatot az alany – a domináns oldali felső végtagon minden vizsgálati személynél. A felméréshez GymAware RS „linear encoder”-t (Mitchell, Ausztrália) használtunk. A felmérés során a vizsgálati

személyeknek az volt a feladatuk, hogy teljesen extendált könyökízületi helyzetből maximális sebességű, teljes mozgástartományú flexiót hozzanak létre, miközben a külső terhelést minden ismétlés után emeltük. A külső terhelést 5–20 kg közötti kézi súlyzók jelentették, 2,5 kg-os lépcsőzetes emeléssel. Az ismétlések között 5 perc szünetet tartottunk, hogy elkerüljük a fáradásból adódó becslési hibát. A külső terhelést egészen addig növeltük, amíg az átlagsebesség 0,51 m/s alá nem esett [23]. A mérés során alkalmazott statikus terhelési szinteket az 1RM-nél dinamikus körülmények között előzőleg számított teher súlyának 65%-ában és 85%-ában határoztuk meg, ami a külső terhelést jelentette a két fárasztási protokollban. A felmérést követő 3. napon sor került a fárasztási protokollra. Az eltelt 3 napban a résztvevőknek tartózkodniuk kellett az edzéstől, hogy kipihenten érkezzenek a vizsgálatra. A protokoll során a domináns biceps brachii és triceps brachii izmok felszíni EMG (sEMG)-jeleit rögzítettük Noraxon myoRESEARCH Master Edition EMG-készülékkel (Scottsdale, AZ, USA). A vizsgálat megkezdése előtt a bőrt elő kellett készíteni a jobb sEMG-felvétel elérése érdekében, az elektródák közötti egyensúlyhiány és a zaj kockázatának csökkentéséhez. Ezért a bőrfelületről borotvával eltávolítottuk a szőrszálakat, a felső hámréteget pedig csiszolópapírral tisztítottuk, végül a bőrt alkohollal lemostuk [24]. Két unipoláris Skintact F-55 EKG-elektrodát (Leonhard Lang GmbH, Innsbruck, Ausztria) helyeztünk az izomhasra, az ín és a motoros pont közé, a SENIAM ajánlásának megfelelően a biceps brachii izomra, 20 mm elektródatávolsággal, a földelektrodát pedig az olecranonra [25]. Az sEMG-jelek detektálására és az adatok feldolgozására a Noraxon myoRESEARCH Master Edition szoftvert használtuk. A külső terhelés pontos beállításához egykezes súlyzórudat és súlytárcsákat vettünk

igénybe. Az alanyokat arra kértük, hogy az 1RM 85%-ával ellátott rudat 90°-os könyökízületi flexió mellett tartásuk teljes kifáradásig, miközben végig rögzítettük az EMG-értékeket. A fárasztási protokoll után a résztvevőknek el kellett végezniük egy maximális izometriás kontrakciót, amelyen rögzítettük az EMG (I_{max})-jeleket.

Az sEMG-adatok feldolgozásához a Noraxon myoRESEARCH Master Edition 1.08.27 szoftvert használtuk. A szoftverrel 5 Hz alatti és 350 Hz feletti frekvenciatartományoknál felül-, valamint aluláteresztő szűrőt és 50–60 Hz-es frekvenciatartományban sávzáro szűrőt alkalmaztunk. A vizsgálat során rögzített jelekből három ablakot vágtunk ki, melyek a következők voltak: az első 3 s (W1), a középső 3 s (W2) és az utolsó 3 s (W3). A 0 Hz és 260 Hz közötti frekvenciaspektrum intenzitáseloszlását 20 Hz-es frekvenciasávokra osztottuk. A Noraxon szoftverének segítségével a frekvenciaelemzéshez a frekvenciasávokban Fourier-transzformációval kiszámítottuk a frekvenciaspektrum eloszlását. A vizsgálatot a Helsinki Nyilatkozattal összhangban folytattuk, amit a Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem Etikai Bizottsága jóváhagyott (az etikai engedély száma: TE-KEB/No06/2018).

Az alapadatokat átlagokkal és standard eltérésekkel jellemeztük. A minta nagysága miatt és a megfelelő statisztikai eljárás kiválasztására Shapiro–Wilk-féle *W*-tesztet számoltunk az adatok normális eloszlásának ellenőrzésére. Az adatok normális eloszlásúak voltak, és a különböző időpontokban az azonos minták esetében a különbségek összehasonlítására egymintás *t*-próbát, a csoportok közötti különbségek összehasonlítására kétmintás *t*-próbát alkalmaztunk. A statisztikai elemzéshez a Statistica 13.2 programot (StatSoft Europe GmbH, Hamburg, Németország) használtuk, a szignifikanciaszint $p < 0,05$ volt.



1. ábra

Az izomaktivitás alakulása 1RM 65%-on. A W1 az első, a W2 a második és a W3 az utolsó 3 s intervallumú időablak. Izo az izometriás maximumot jelöli. Minden frekvenciatartományban az értékek a W1-hez mint 100%-hoz lettek viszonyítva. A csillag a szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelöli

1RM = egyismétléses maximum

Eredmények

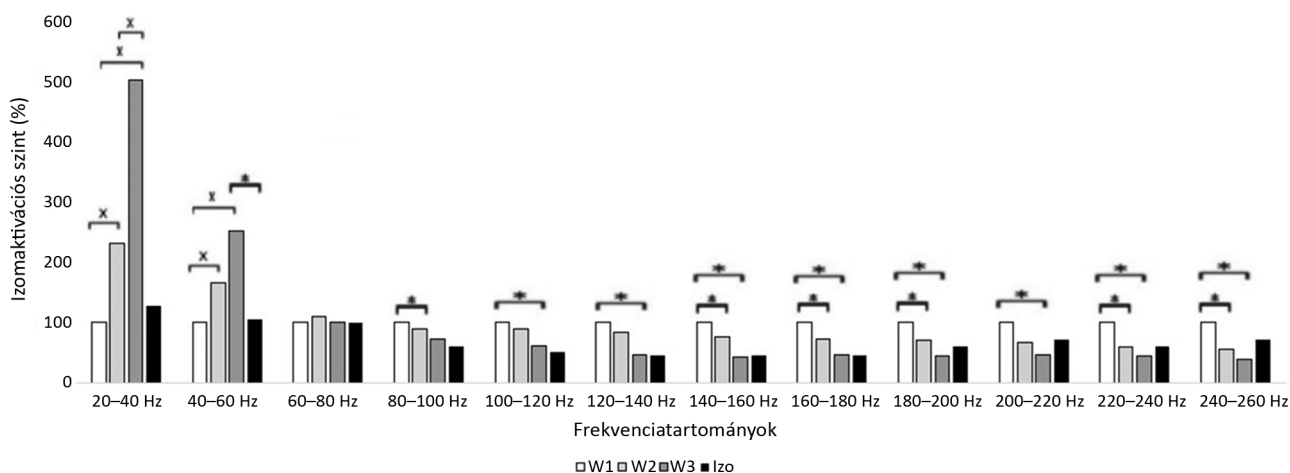
Szignifikáns különbséget találtunk 1RM 65%-on a W1 és a W2 között a 20–40, 40–60, 160–180, 180–200, 220–240 és 240–260 Hz frekvenciatartományokban, a W1 és a W3 között a 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–120, 120–140, 140–160, 160–180, 180–200, 200–220, 220–240 és 240–260 Hz frekvenciatartományokban, valamint a W2 és a W3 között a 20–40, 40–60, 60–80, 80–100, 100–120, 120–140, 140–160, 160–180, 180–200, 200–220, 220–240, 240–260 Hz frekvenciatartományokban (1. ábra). Szignifikáns különbséget találtunk 1RM 85%-on a W1 és a W2 között a 20–40, 40–60, 80–100, 140–160, 160–180, 180–200, 220–240 és 240–260 Hz frekvenciatartományokban, a W1 és a W3 között 20–40, 40–60, 100–120, 120–140, 140–160, 160–180, 180–200, 200–220, 220–240 és 240–260 Hz frekvenciatartományokban, valamint a W2 és a W3 között a 20–40, 140–160 és 180–200 Hz frekvenciatartományokban (2. ábra).

Megbeszélés

Korábbi vizsgálatunkban 65%-os terhelésnél már vizsgáltuk a jelenséget. Akkor arra a következtetésre jutottunk, hogy a maximális izometriás kontrakció 65%-a nem elegendő izometriás terhelés ahhoz, hogy a gyors izomrostok hipertrófiája megtörténjen [26]. Korábbi eredményeinkkel összehasonlítva, ha nagyobb a terhelés (65% és 85%), akkor hasonló tendenciát láthatunk. 85%-os terhelésnél meglepő az eredmény, ilyen terhelési szintnél ugyanis már várható, hogy a gyors IIa és IIx típusú rostok aktivációja megnő. Közvetlenül a fárasztási protokoll után megmértük az izom aktivációs szintjét a vizsgálati személyek által hirtelen maximális kontrakciót létrehozva. Megfigyelhető, hogy kisebb frekvenciáknál az I_{max} jelentősen alacsonyabb, mint a W3 értéke, ami – figye-

lembe véve, hogy a rapid maximális izometriás kontrakció a nagy tüzelési frekvenciákon aktiválja először a gyors, nagy erő kifejtésre képes komponenseket – összhangban van a korábbi megfigyelésekkel. Számos esetben azonban – és különösen szembetűnően a nagy frekvenciaszinteknél – az I_{max} értéke szignifikánsan magasabb volt, mint a vele összehasonlított W3 értéke. Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy a maximális kontrakcióra a fáradási protokoll után azonnal került sor. Csak ezt az eredményt önmagában figyelembe véve nehezen feltételezhető, hogy a központi idegrendszer fáradása állhat a W1-től W3-ig a nagy frekvenciákon megfigyelhető aktiváció csökkenése mögött. Árnyalja a képet, hogy ciklikus maximális intenzitást megkövetelő mozgásformáknál (Wingate-teszt, Bosco függőleges felugrási teszt, sprint futószámok), amikor dominánsan az izomzat ciklikusan maximális intenzitással megfeszül és elernyed, gyors egymásutánban a maximális teljesítmény 35–40 másodpercig fenntartható [27, 28]. Ám ha például a szorítóerő mérésekor törekszünk maximális erő kifejtésre izometriás körülmények között folyamatosan hosszabb időtartamig, a maximális feszülés megközelítőleg 5 másodpercig tartható fenn, majd a mért erő értéke jelentős mértékben csökken [29]. Ezen megfigyelések azt feltételezik, hogy amennyiben a terhelés izometriás jellegű, az idegi okokra visszavezethető fáradási hatások nem hanyagolhatók el. Részben ezen jelenség figyelembevételével magyarázható, hogy a nagy frekvenciák esetén a W1 és az I_{max} miatt közel azonos, majd a W3 mérési értékek lényegesen alacsonyabbak a W3-mal összehasonlítva.

Vizsgálatunk egyik limitáló tényezője volt, hogy fiatal, egészséges, sportmúlttal rendelkező személyeken végeztük a kísérletet. Ennek három oka volt. A vizsgálatok kivitelezésekor a COVID-19-pandémia miatt daganatos betegek bevonása nem volt megoldható. Másrészt a legújabb kutatások azt mutatják, hogy a daganatos betegségek előfordulása a fiatalabb korosztálynál exponenciá-



2. ábra

Az izomaktivitás alakulása 1RM 85%-on. A W1 az első, a W2 a második és a W3 az utolsó 3 s intervallumú időablak. Izo az izometriás maximumot jelöli. Minden frekvenciatartományban az értékek a W1-hez mint 100%-hoz lettek viszonyítva. A csillag a szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) jelöli

1RM = egyismétléses maximum

lisan növekszik [30]. Ennek azért van kutatásunk szempontjából különös jelentősége, mert a fiatalabb betegeknel a maximálisához közeli terhelés beépítése a fizioterápiába nagyobb mértékben kivitelezhető, mint az idős betegeknel, emiatt a fiatalabbaknál a gyors rostok specifikus hipertrófiája és a hospitalizáció elkerülése nagyobb esélyű. Harmadrészt a sportmúttal rendelkező személyeknél szintén feltételezhető, hogy a maximálisához közeli terhelés könnyebben kivitelezhető és beépíthető a fizioterápiába. Ennek különösen azért lehet jelentősége, mert számos vizsgálat kimutatta, hogy egyes daganatos betegségek előfordulási gyakorisága a magas szintű sportmúttal rendelkezők körében lényegesen nagyobb, mint az átlagpopulációban [31–36].

Következtetés

A vizsgálat eredményei alapján arra a következtetésre kellett jutnunk, hogy közepes vagy nagy (IRM 65%, 85%) terhelést alkalmazva a nagy frekvenciájú motoros egységek aktivitása a fárasztási protokollal összhangban a protokoll végére hasonló tendenciát mutatva mindkét esetben csökken. Következésképpen megdőlt az a feltételezésünk, hogy közepes izometriás terhelés során, amennyiben a protokoll elég hosszú időtartamú, a gyors izomcsoportok aktivációja megnő, és így jelentős hipertrófia várható a IIa és IIx típusú rostokban. Emiatt, amennyiben a cél a gyors rostok edzése, a protokoll szempontjából véleményünk szerint mindenképpen érdemes olyan gyakorlatokat is alkalmazni, amelyek során a maximális intenzitást – még ha csak rövid ideig is – eléri az izomaktiváció.

Anyagi támogatás: A közlemény megírása, illetve a kapcsolódó kutatómunka anyagi támogatásban nem részesült.

Szerzői munkamegosztás: A mérési protokoll megalkotása: H. Á., K. B. Á. A méréseket H. Á. végezte. A kézirat írása, szerkesztése: H. Á., K. B. Á. Statisztikai elemzés: H. Á., K. B. Á. Az ábrákat H. Á. készítette. A cikk végleges változatát mindkét szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: Az első szerző doktori fokozatának megszerzéséhez szükséges publikációk részei a dolgozatnak. A másik szerzőnek nincsenek érdekltségei.

Irodalom

- [1] Muscaritoli M, Molino A, Gioia G, et al. The “parallel pathway”: a novel nutritional and metabolic approach to cancer patients. *Intern Emerg Med*. 2011; 6: 105–112.
- [2] Fearon K, Strasser F, Anker SD, et al. Definition and classification of cancer cachexia: an international consensus. *Lancet Oncol*. 2011; 12: 489–495.
- [3] Prado CM, Baracos VE, McCargar LJ, et al. Sarcopenia as a determinant of chemotherapy toxicity and time to tumor progression in metastatic breast cancer patients receiving capecitabine treatment. *Clin Cancer Res*. 2009; 15: 2920–2926.
- [4] Tisdale MJ. Cancer cachexia. *Curr Opin Gastroenterol*. 2010; 26: 146–151.
- [5] Jackson W, Alexander N, Schipper M, et al. Characterization of changes in total body composition for patients with head and neck cancer undergoing chemoradiotherapy using dual-energy x-ray absorptiometry. *Head Neck* 2014; 36: 1356–1362.
- [6] Antoun S, Birdsell L, Sawyer MB, et al. Association of skeletal muscle wasting with treatment with sorafenib in patients with advanced renal cell carcinoma: results from a placebo-controlled study. *J Clin Oncol*. 2010; 28: 1054–1060.
- [7] Muscaritoli M, Bossola M, Aversa Z, et al. Prevention and treatment of cancer cachexia: new insights into an old problem. *Eur J Cancer* 2006; 42: 31–41.
- [8] Muscaritoli M, Molino A, Lucia S, et al. Cachexia: a preventable comorbidity of cancer. A T.A.R.G.E.T. approach. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2015; 94: 251–259.
- [9] Segal RJ, Reid RD, Courneya KS, et al. Resistance exercise in men receiving androgen deprivation therapy for prostate cancer. *J Clin Oncol*. 2003; 21: 1653–1659.
- [10] Camera DM, Smiles WJ, Hawley JA. Exercise-induced skeletal muscle signaling pathways and human athletic performance. *Free Radic Biol Med*. 2016; 98: 131–143.
- [11] Argilés JM, Busquets S, López-Soriano FJ, et al. Are there any benefits of exercise training in cancer cachexia? *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 2012; 3: 73–76.
- [12] Enoka RM. *Neuromechanical basis of kinesiology*. Human Kinetics, Leeds, 2015.
- [13] Luff AR, Atwood HL. Membrane properties and contraction of single muscle fibers in the mouse. *Am J Physiol*. 1972; 222: 1435–1440.
- [14] Sale D. Neural adaptation to strength training. In: Komi PV. (ed.) *Strength and power in sport*. Blackwell Scientific Publications, London, 2003; pp 249–265.
- [15] Gerdl B, Karlsson S, Crenshaw AG, et al. The influences of muscle fibre proportions and areas upon EMG during maximal dynamic knee extensions. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 81: 2–10.
- [16] Farina D, Fosci M, Merletti R. Motor unit recruitment strategies investigated by surface EMG variables. *J Appl Physiol*. 2002; 92: 235–247.
- [17] Wakeling JM, Syme DA. Wave properties of action potential from fast and slow motor units. *Muscle Nerve* 2002; 26: 659–668.
- [18] Hodson-Tole EF, Wakeling JM. Variations in motor unit recruitment patterns occur within and between muscles in the running rat (*Rattus norvegicus*). *J Exp Biol*. 2007; 210: 2333–2345.
- [19] Lee SS, de Boef Miara M, Arnold AS, et al. EMG analysis tuned for determining the timing and level of activation in different motor units. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011; 21: 557–565.
- [20] Latash ML, Lestienne F. *Motor control and learning*. Springer, New York, NY, 2006.
- [21] Oranchuk DJ, Storey AG, Nelson AR, et al. Isometric training and long-term adaptations. Effects of muscle length, intensity, and intent: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 2019; 29: 484–503.
- [22] Toth MJ, Callahan DM, Miller MS, et al. Skeletal muscle fiber size and fiber type distribution in human cancer: effects of weight loss and relationship to physical function. *Clin Nutr*. 2016; 35: 1359–1365.
- [23] Thompson SW, Rogerson D, Ruddock A, et al. A novel approach to IRM prediction using the load-velocity profile: a comparison of models. *Sports (Basel)* 2021; 9: 88.
- [24] Horváth M, Fazekas G. Assessment of motor impairment with electromyography – the kinesiological EMG. [Mozgáskárosodás felmérése elektromiográfiával – a kineziológiai EMG.] *Ideggyógy Szle*. 2003; 56: 360–369. [Hungarian]

- [25] Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, et al. SENIAM 8. European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy. Results of the SENIAM project. Roessingh Research and Development, Enschede, 1999.
- [26] Hegedűs A, Trzaskoma L, Soldos P, et al. Adaptation of fatigue affected changes in muscle EMG frequency characteristics for the determination of training load in physical therapy for cancer patients. *Pathol Oncol Res.* 2020; 26: 1129–1135.
- [27] Bosco C, Komi PV, Tihanyi J, et al. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol.* 1983; 51: 129–135.
- [28] McNeal JR, Sands WA, Stone MH. Effects of fatigue on kinetic and kinematic variables during a 60-second repeated jumps test. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010; 5: 218–229.
- [29] Tuttle WW, Janney CD, Thompson CW. Relation of maximum grip strength to grip strength endurance. *J Appl Physiol.* 1950; 2: 663–670.
- [30] White MC, Holman DM, Boehm JE, et al. Age and cancer risk: a potentially modifiable relationship. *Am J Prev Med.* 2014; 46(3 Suppl 1): S7–S15.
- [31] Ju D. On the etiology of cancer of the lower lip. *Plast Reconstr Surg.* 1973; 52: 151–154.
- [32] Pukkala E, Kaprio J, Koskenvuo M, et al. Cancer incidence among Finnish world class male athletes. *Int J Sports Med.* 2000; 21: 216–220.
- [33] Tentori L, Graziani G. Doping with growth hormone/IGF-1, anabolic steroids or erythropoietin: is there a cancer risk? *Pharmacol Res.* 2007; 55: 359–369.
- [34] Moehrle M. Outdoor sports and skin cancer. *Clin Dermatol.* 2008; 26: 12–15.
- [35] Røsbjerg TE, Hestvik UE, Veierød MB, et al. Cancer risk in Norwegian world class athletes. *Cancer Causes Control.* 2010; 21: 1711–1719.
- [36] De Castro-Maqueda G, Gutierrez-Manzanedo JV, Lagares-Franco C, et al. Sun exposure during water sports: do elite athletes adequately protect their skin against skin cancer? *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 800.

(Hegedűs Ádám,
Budapest, Kohász u. 18., 1214;
e-mail: adam.hegedus.tf@gmail.com)

„Homo qui in homine calamitoso est misericors meminit sui.”
(Saját bajára emlékezik, kinek szíve megesik a bajban lévő emberen.)