

Excentrikus és nyújtásos-rövidüléssel edzés okozta mechanikai és morfológiai változások az
öregedő izomban

Ambrus Mária

Bevezetés

Az életkor előrehaladtával az emberi testben változások következnek be. Az izmok ereje és működése is csökken (Hakkinen és mtsai, 1996). Ennek több oka is lehet. Az egyik a keresztmetszet csökkenés (sarcopenia) (Rogers és Evans, 1993), a másik az idegi tényezők nem megfelelő működése (csökkenő elektromos aktivitás). A vizsgálatunk során a keresztmetszet változásának megfigyelésére fektettünk nagy hangsúlyt.

Bizonyított, hogy az excentrikus kontrakcióval végzett erőedzés (EXC) során növekszik a keresztmetszet (Higbie és mtsai, 1996), ebből arra következtettek, hogy a kontrakció során az izom nagymértékben megfeszül. A nyújtásos-rövidülési (NYR) kontrakcióval végzett edzés pozitív hatása fiataloknál már igazolt, azonban idős személyekre gyakorolt hatásáról kevés adat áll rendelkezésünkre. Ezen adatok nem laboratóriumi körülmények között jöttek létre. Rövid távú (8 hetes) NYR edzés hatására erő és izomkeresztmetszet növekedés jött létre az alsó végtag izmaiban (Malisoux és mtsai, 2006). A NYR kontrakció fontos lehet és pozitív hatást is eredményezhet nem csak fiataloknál, hanem idős embereknél egyaránt, segíthetne redukálni illetve befolyásolni az izmok erejének csökkenését és esetleg keresztmetszet növekedést eredményezni. A NYR kontrakció a legtermészetesebb kontrakció típus. A kontrakció során az izom aktív állapotban megnyúlik, majd rövidülés jön létre, mint a ciklikus mozgásoknál (járás, futás). Ez a fajta kontrakció a laboratóriumban jól helyettesíti a plyometriás gyakorlatokat, melyeket edzésen gyakran használunk, mint például a mélybeugrást. Az EXC kontrakcióval szemben magasabb izomfeszülés érhető el.

A szakirodalmak alapján az EXC edzés keresztmetszet-növelő hatással bír, feltételezzük, hogy a NYR kontrakcióval végzett edzés komplexen fejti ki hatását az emberi szervezetre, mely felelős az izom megfelelő működésének megtartásáért idős korban.

A vizsgálat célja EXC, vagy NYR kontrakcióval végzett térdfesztő edzés mechanikai és morfológiai vizsgálata idősödő embereknél. Feltételeztük, hogy az edzést végző csoportoknál mért paraméterekben az edzés után változás fog bekövetkezni, valamint, hogy a létrejött változás eltérő lesz az EXC és a NYR edzés következtében.

Ellenben az eddigi kutatásokkal, laboratóriumi körülmények között, specifikusan egy izomcsoport edzését és vizsgálatát végeztük el különböző mechanikai paraméterek (szögsebesség, szögtartomány, nyújtási energia) változtatásával, a pontosabb eredmények reményében. Vizsgálatunk során a laboratóriumban a természeteshez hasonló NYR kontrakciót vagyunk képesek szimulálni. Ez a fajta kontrakció során be tudjuk állítani a

nyújtási energiát, melynek nagysága egyén függő, valamint a kezdeti szöghelyzetet és a szögsebesség mértékét is.

Módszerek

Vizsgálati személyek

A vizsgálatban 50-70 éves, rekreációs tevékenységet (tenisz, futás, gyaloglás) végző önkéntes férfiak kerültek besorolásra két csoportba: excentrikus edzést végző (EXC, $n = 8$), és nyújtásos-rövidüléssel edzést végző (NYR, $n = 8$) csoport. Az EXC csoport átlag életkora 64 év, a NYR csoport átlag életkora 65 év. A személyek a mérések megkezdése előtt írásos beleegyező nyilatkozatot tettek, hogy a vizsgálatban való részvételre önként vállalkoznak. A kiválasztás úgy zajlott, hogy a vizsgálati személyek részt vettek egy orvosi szűrésen, és ha normális nyugalmi vérnyomással valamint EKG-val rendelkeztek és nem volt semmilyen izom, vagy térdízületi sérülésük sem, akkor részt vehettek a vizsgálatban.

Vizsgálati protokoll

A vizsgálat előtt a vizsgálati személyek tájékoztatást kaptak a vizsgálat céljáról, és annak menetéről. A vizsgálati személyek egy héttel a dinamometriai tesztek előtt egy próbán vettek részt, ahol megismerkedtek a vizsgálatban alkalmazott térdfeszítő kontrakciókkal. Maga a vizsgálat bemelegítéssel kezdődött, amely három perc aerob jellegű kerékpározást és a térdfeszítésben résztvevő izmok nyújtását foglalta magába. Bemelegítés után a vizsgálati személyek helyet foglaltak a dinamométer székében, majd ülő helyzetben a jobb végtaggal maximális erejű térdfeszítést végeztek négy-féle módon: izometriás (70°), izokinetikus excentrikus (szögtartomány: 30° - 80° , szögsebesség: $30^\circ/\text{s}$), izokinetikus koncentrikus (szögtartomány: 80° - 30° , szögsebesség: $180^\circ/\text{s}$) és nyújtásos-rövidüléssel (kezdeti szöghelyzet: 30° , nyújtási energia: a maximális izometriás nyomaték fele, kezdeti szögsebesség: $300^\circ/\text{s}$) kontrakciók mellett. A NYR kontrakció esetén az előfeszített izmot hirtelen megnyújtjuk, a vizsgálati személyeknek ellen kell állnia a nyújtásnak, ám a nyújtás során a térdízület behajlik és azt vissza kell nyújtani a kiindulási szöghelyzetbe (Váczai és mtsai 2011). A vizsgálati személyek verbális buzdítást, és vizuális visszajelzést kaptak a mérés során. A vizuális feedback (Melléklet 1) a projektor segítségével volt megoldható, így az erő kifejtését, valamint az eredményeket is nyomon tudták követni a vizsgálati személyek. A vizuális visszajelzés segíthet a nagyobb erő kifejtés véghezviteléhez, mivel az eredmények láttán egyre nagyobb erő kifejtést, jobb eredményeket szeretnének teljesíteni a személyek.

Vizsgálati eszköz

Vizsgálati eszközként a Multicont II számítógép vezérlésű dinamométer (Mediagnost, Budapest és Mechatronic Kft, Szeged) szolgált a térdfesztők izommechanikai mutatóinak meghatározásához az edzésprogram előtt és után (Vácsi és mtsai 2011). A vizsgálati személyek a felmérés alatt ülő helyzetben voltak (Melléklet 2). A háttámla és az ülőfelület közötti szög 110 fok volt. A mozgást végző alsó végtag lábszárát boka felett a szervomotor (MA-10, Mavilors AC, Spain; maximális sebesség: 6000 rpm, maximális folyamatos nyomaték: 5.8 Nm, rövid idejű nyomaték: 40.7 Nm) karjához lábtartó segítségével rögzítettük. A csípőt övvel stabilizáltuk, hogy az erő kifejtés során ne emelkedjen meg és elkerüljük a pontatlan méréseket, mivel a csípő megemelkedésével több izomcsoport is bekapcsolódhat a munkába és nagyobb erő kifejtés jöhetne létre. A motor forgástengelye egybe esett a térd feltételezett forgásközéppontjának tengelyével. A forgatónyomatékot idő függvényében mértük. Valamennyi kontrakciónál a számítógép által rögzített forgatónyomaték-idő görbékből (1000Hz) meghatározzuk a maximális forgatónyomatékot.

Edzésprotokoll

Az EXC és NYR edzésen résztvevő személyek 10 héten keresztül, heti három alkalommal (Melléklet 3) végeztek térdfesztő edzéseket a Multicon II dinamométeren. Az EXC csoport egy edzés során 4x7-13 excentrikus kontrakciót végzett 30-80° szögtartományban, 30°/s szögsebességgel. A NYR csoport 4x7-13 nyújtásos-rövidülési kontrakciót végzett 30° kezdeti szöghelyzetben, a nyújtási energia a maximális izometriás nyomaték fele volt, valamint a kezdeti szögsebesség: 300°/s. Az edzésprogram periodizált volt, a sorozatszámot emeltük, valamint csökkentettük, így váltogatva a kis és nagy terjedelmű edzés leheteket (Kraemer és mtsai 1999), ezáltal biztosítottuk a megfelelő regenerációt és optimális feltételeket, hogy a vizsgálati személyek szervezete, izomzata alkalmazkodni tudjon az edzéshez.

Mérési paraméterek

Maximális izometriás forgatónyomaték

A vizsgálati személyek 70 fokos térdízületi szöghelyzetben (0° = teljesen nyújtott térdízület), maximális izometriás kontrakciót hajtottak végre. A kontrakciót gyorsan kellett kifejtetni a dinamométer karjára, ebből RTD-t számoltunk. A számítógép által kimutatott nyomaték-idő görbékről leolvastuk a maximális izometriás forgatónyomatékot.

Koncentrikus impulzus

A vizsgálati személyek a koncentrikus kontrakciót 80° és 30° közötti ízületi szögtartományban hajtották végre. A dinamométer karjára maximális erőt kellett kifejteni, és amikor a kifejtett forgatónyomaték elérte a 20Nm-es küszöbértéket a térdfesztők által, a kar elindult a koncentrikus irányba és a vizsgálati személyeknek a lehető legnagyobb erővel térdnyújtást kellett végezniük. Ennél a kontrakció típusnál $180^\circ \cdot s^{-1}$ szögsebesség mellett mértük meg a maximális forgatónyomatékokot.

Maximális excentrikus forgatónyomaték

A vizsgálati személyek maximális erejű excentrikus kontrakciót hajtottak végre. A kontrakció 30° -os térdízületi szöghelyzetben kezdődött és 80° -os szöghelyzetben végződött. A dinamométer karjára maximális erőt kellett kifejteni, és amikor a kifejtett forgatónyomaték elérte a 20Nm-es küszöbértéket a térdfesztők által, a kar elindult és a vizsgálati személyeknek maximális erővel ellen kellett állni a térdhajlításnak. Izokinetikus körülmények között zajlott a kontrakció, $60^\circ \cdot s^{-1}$ szögsebességgel. A kontrakció alatt meghatároztuk a maximális excentrikus forgatónyomatékokot.

Nyújtásos-rövidülésszerű kontrakció

A motorokban előre beprogramozott és tárolt energiamennyiséget használtuk fel az izmok megnyújtására. A térdfesztő izmok nyújtása 30° fokos ízületi hajlásszögben kezdődött. Itt a vizsgálati személyek a lehető leggyorsabban erőt fejtettek ki a rögzített karra, majd amikor elérték a 30° fokos szögben megmért maximális izometriás nyomaték 60%-át, a motor automatikusan megkezdte a térdízület behajlítását a betáplált energiamennyiséggel. A nyújtásnak maximális erővel ellen kellett állni, és a lehető legrövidebb idő alatt lefékezni a kart (excentrikus fázis), és a térdnyújtás során a lehető legnagyobb erővel és sebességgel visszajuttatni az eredeti 30° fokos szöghelyzetbe (koncentrikus fázis), a dinamométer itt kezdte a mérést és itt is fejezte be. A nyújtáshoz a vizsgálati személyeknél 80-140 J nyújtási energiát alkalmaztunk. Az energia a kezdeti munkavégzést jelenti, amellyel a szervomotor a térdízületet elkezdte behajlítani. A nyújtási energia erőfüggő. Az EXC csoport személyeinek volt egy hozzárendelt párja a NYR csoportból, ha az EXC személy munkavégzése megváltozott egyik edzésről a másikra, akkor megváltoztattuk a hozzá párosított NYR személy nyújtási energiáját.

Morfológia

A quadriceps femoris izom keresztmetszetének méréséhez a femur hossz tengelyére merőleges síkban anatómiai tájékozódási pontok alapján reprodukálható lokalizációban végeztünk MR méréseket (Melléklet 4). Az MR mérések alapján (T1 súlyozott axiális térkép) (Melléklet 5) az izom keresztmetszet morфомetriai paramétereit (távolságok, területek) meghatároztuk a quadriceps femoris egyes izmaira vonatkozóan.

Statisztikai elemzés

Kétutas, ismétléses varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztuk a statisztikai elemzés során. A vizsgálati személyek két csoportjával (EXC, NYR) dolgozunk, ez az egyik faktor, és az idő (edzés előtt, után) a másik faktor. Elsődleges cél a csoportok munkavégzésének összehasonlítása az idő függvényében. Post Hoc tesztet is végeztünk, ahol a Tukey módszert alkalmaztuk.

Eredmények

Míg az izometriás forgatónyomaték az edzés hatására egyformán növekedett (nem fedeztünk fel szignifikáns eltérést), az EXC csoportnál nagyobb excentrikus erőnövekedés, és izomkeresztmetszet-növekedés (Melléklet 6) következett be. Az EXC csoport quadriceps femorisának keresztmetszete az edzések előtt 14172,43 mm² volt, utána 14843,86 mm²-re növekedett. Ellenben a NYR csoportban edzés előtt 13659,75 mm²-t mértünk, edzés után pedig 13927,5 mm²-t. A NYR csoportban a nyújtásos-rövidülési kontrakció ideje nagyobb mértékben csökkent ($p < 0,05$), és a koncentrikus gyorsuló ($p < 0,05$), valamint a nyomatékkifejlődési meredekség (Melléklet 7) nagyobb mértékben fejlődött. Az RTD során 30 ms és 50 ms alatt szignifikáns különbséget fedeztünk fel ($p < 0,05$) a két csoport között, ám a 100 ms során nem.

Megbeszélés

A vizsgálat célja az volt, hogy megvizsgáljuk az EXC vagy NYR kontrakcióval végzett térd fesztítő edzés mechanikai és morфомetriai paramétereit idősödő embereknél. Feltételeztük, hogy a két különböző edzést végző csoportoknál mért adatokban az edzés után változás fog bekövetkezni, és hogy ez a változás eltérő lesz az EXC és a NYR edzés következtében. A mérések során bebizonyosodott a feltevésünk, hiszen mindkét csoport esetén az edzés után változás következett be a mért paraméterekben, továbbá ez a változás eltérő volt a két csoport esetén. A vizsgált személyek erejében és az izomkeresztmetszetükben is javulás tapasztalható

az erőedzések hatására. A szakirodalmak alapján fiataloknál igazolták a NYR kontrakcióval végzett edzés pozitív hatását (Chelly és mtsai, 2010), ám idős személyekre gyakorolt hatásáról korlátozott, elsősorban nem laboratóriumi adat áll rendelkezésre (Sáez Sáez de Villareal és mtsai, 2010). Chelly és munkatársai (2010) 8 hetes plyometriás edzés hatását vizsgálták az alsó végtagot tekintve labdarúgóknál. Vizsgálatuk során megállapították, hogy a plyometriás tréning kedvező hatással van az izom növekedésre. Sáez Sáez de Villareal és munkatársai (2010) pozitív hatást figyeltek meg a plyometriás edzés- mely a NYR kontrakció természetes formája- hatására, mely során jelentős maximális erő-növekedést tapasztaltak. Vizsgálatunk azonban széleskörűen tanulmányozza a NYR kontrakció hatását idős embereknel. Kraemer és munkatársai (1999) is bebizonyították, hogy erőedzés következtében pozitív változás következik be az öregedő izomban, a mi vizsgálati eredményeink is alátámasztják ezt a megállapítást. A NYR edzés hatására keresztmetszet növekedés jött létre, összhangban a szakirodalommal, Malisoux és munkatársai (2006) 8 hetes NYR tréning során izomkeresztmetszet növekedést észleltek 8 egészséges férfinál.

Az izometriás erő kifejtés során nem találtunk deficitet a két kontrakció típus (EXC, NYR) között. Ebből arra következtethetünk, hogy mivel az egyik csoport az EXC a másik pedig a NYR kontrakcióval edzett, így ez a két kontrakció típus nincs különösebb hatással az izometriás erő kifejtésre.

Az excentrikus erő kifejtés során az EXC csoportnál nagyobb excentrikus erő növekedés következett be. Mivel 10 héten keresztül EXC edzést végeztek, az izomzatuk ehhez a kontrakció típushoz adaptálódott jobban. A vizsgálatunk során továbbá az is bebizonyosodott, hogy az EXC edzés során izomkeresztmetszet-növekedés következik be, összhangban a szakirodalommal (Higbie és mtsai, 1996), a keresztmetszet növekedő hatást annak tulajdonítják, hogy az izom nagyfokú feszülésének van kitéve. Azonban a vizsgálatunk során az is bebizonyosodott, hogy a NYR edzésnek köszönhetően is izomkeresztmetszet növekedés tapasztalható, mint az EXC edzés hatására. Ahogy már az előbbiekben említettem az EXC edzés keresztmetszet növekedő hatását az izom nagyfokú feszülésének tulajdonították, a szakirodalom alapján az EXC kontrakcióval szemben magasabb izomfeszülés érhető el NYR edzés hatására, tehát valószínű a NYR edzés okozta izomkeresztmetszet növekedés a magas izomfeszülésnek köszönhető. Az izomkeresztmetszet növekedést befolyásolja a kontrakció időtartalma, valamint az erőssége. Valószínűnek tartjuk, hogy az EXC kontrakció során az izom összehúzódás hosszabb időtartama okozta a keresztmetszet növekedést. Azonban a NYR kontrakció során az izom összehúzódás időtartama ugyan kisebb, mint az EXC alatt, de a kontrakció erőssége nagyobb, így ez hozta létre a keresztmetszet növekedést.

A NYR csoportban a nyújtásos-rövidülési kontrakció ideje nagyobb mértékben csökkent. A csoport 10 héten keresztül ezzel a típusú kontrakcióval edzett, izomzatuk ehhez a kontrakció típushoz adaptálódott jobban, ezáltal csökkent a végrehajtás ideje, így már egyre gazdaságosabban tudták végrehajtani a kontrakciót. A koncentrikus gyorserő, valamint a nyomatékfejlődési meredekség nagyobb mértékben fejlődött a NYR kontrakció során, tehát a gyors rostok nagyobb mértékben kapcsolódtak be a NYR kontrakció alatt, mint az EXC során. A hirtelen gyors megnyúlás, majd a kiindulóhelyzetbe való visszajuttatás hatására fejlődtek a gyors rostok, és a mozgás terjedelme is nagyobb lett kevesebb idő alatt, így gazdaságosabb működés jött létre. A NYR edzés kedvezően befolyásolhatja a gyors izomfunkciókat.

Összességében úgy gondoljuk, hogy vizsgálatunk újszerű módszertani lehetőségeket mutat be, melyek a további kutatómunkák végzésekor hasznosak lehetnek.

Következtetések

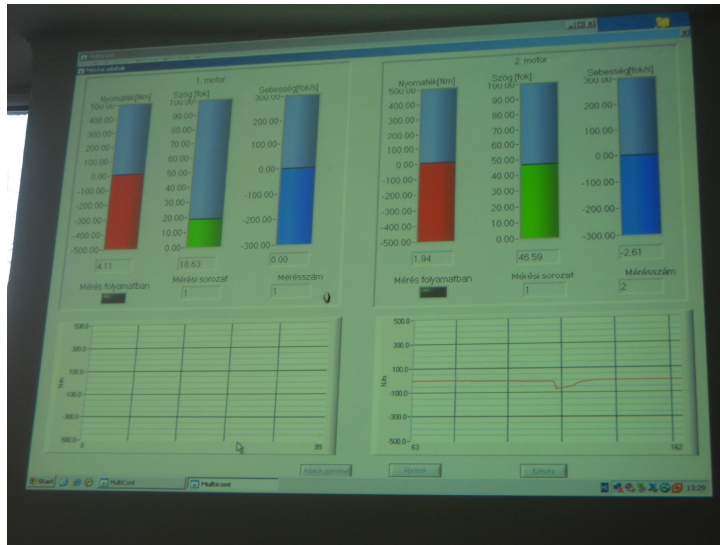
Mivel a társadalom egyre idősödik, Magyarországon sem jobb a helyzet, ezért fontosnak találjuk az olyan kutatásokat, melyek az öregedő ideg-izom- és mozgatórendszer funkciójának megtartásában vagy javulásában segíthetnek. Munkánk során olyan edzés módszer teljeskörű hatását kívántuk vizsgálni, mely sportolóknál bizonyított, ám idős emberekre vonatkozóan kevesebb információ áll rendelkezésünkre. Az edzés módszer hatékonyságának igazolásával, és az edzés gyakorlatban való használatával lehetővé válhat az öregedő izomzat mind mechanikai, mind pedig morfometriai eredetű funkciójának megtartása. Segítségével hozzájárulhat a fájdalom és balesetmentes időskori életvitelhez. Az NYR edzés kedvezően befolyásolhatja a gyors izomfunkciókat, az EXC edzés pedig jelentős keresztmetszet javulást eredményezhet.

Irodalomjegyzék

- Cavagna, G. A., Dusman, B., Margaria, R. (1968): Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, **24(1)**:21-32.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., Shephard, R. J. (2010): Effects of in-Season Short-Term Plyometric Training Program on Leg Power, Jump- and Sprint Performance of Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, **24(10)**: 2670-2676.
- Grabiner, M. D., Owings, T. M., George, M. R., Enoka, R. M. (1995): Eccentric contractions are specified a priori by the CNS. *Proc. Congress International Society Biomechanics*. Jyväskylä, Finland July 2–6, 338–339.
- Grabiner, M. D., Owings, T. M. (2002): EMG differences between concentric and eccentric maximum voluntary contractions are evident prior to movement onset. *Experimental Brain Research*, **145**: 505–511.
- Higbie, E. J., Cuerton, K. J., Warren 3rd, G. L., Prior, B. M. (1996): Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, **81(5)**: 2173-2181.
- John, E. B., Liu, W., Gregory, R. W. (2009): Biomechanics of Muscular Effort: Age -Related Changes. *Medicine and Science in Sports Exercise*, **41(2)**: 418–425.
- Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., Gotshalk, L. A., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Campbell, W. W., Putukian, M., Evans, W. J. (1999): Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *Journal of Applied Physiology*, **87(3)**: 982-992.
- Lanza, I. R., Towse, T. F., Caldwell, G. E., Wigmore, D. M., Kent-Braun, J. A. (2003): Effects of age on human muscle torque, velocity and power in two muscle groups. *Journal of Applied Physiology*, **95**: 2361-2369.
- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., Theisen, D. (2006): Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, **100**: 771-779.
- Rogers, M. A., Evans, W., J. (1993): Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **21**:65-102.
- Romano, C., Schieppati, M. (1987): Reflex excitability of soleus motoneurons during voluntary shortening or lengthening contractions. *Journal of Physiology*, **390**: 271-284.

- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., Arampatzi, F., Salonikidis, K. (2010): Effect of plyometric training on chair-rise, jumping and sprinting performance in three age groups of women. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **50(2)**:166-173.
- Sáez-Sáez de Villarreal, E., Requena, B., Newton RU. (2010): Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **13**: 513–522.
- Vácz, M., Tihanyi, J., Hortobágyi, T., Rácz, L., Csenge, Zs., Costa, A., Pucsok, J. (2011): Mechanical, biochemical, and EMG responses to short-term eccentric-concentric knee extensor training in humans. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **25**: 922-932.

Melléklet

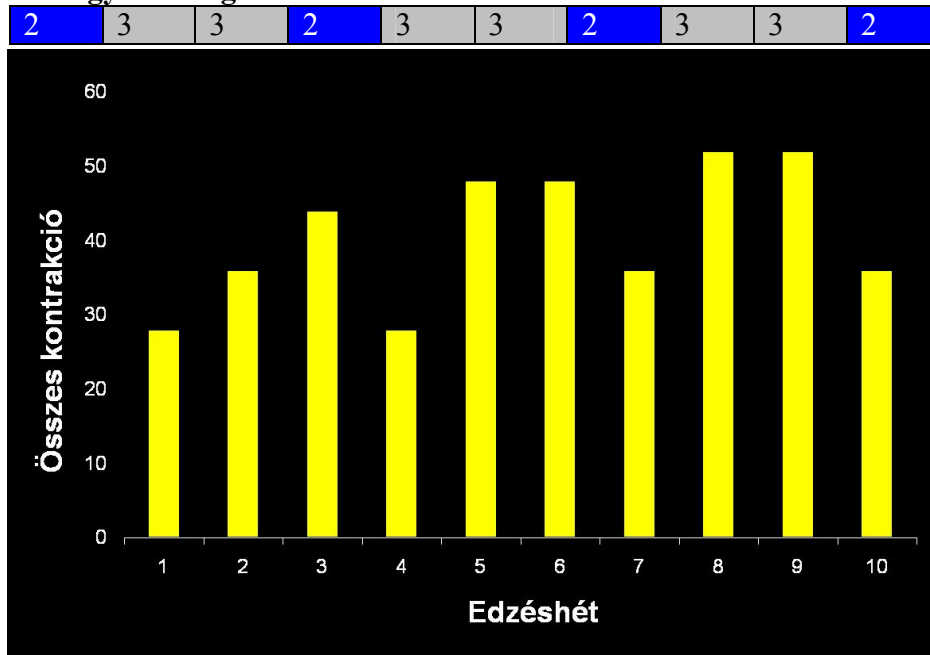


1. Vizuális feed back, projektor segítségével.



2. Multicont II számítógép vezérlésű dinamométer a térdfesztők által kifejtett forgatónyomaték méréséhez.

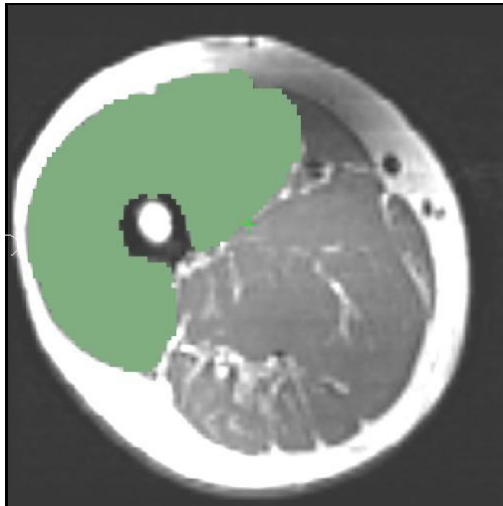
Edzésgyakoriság / hét:



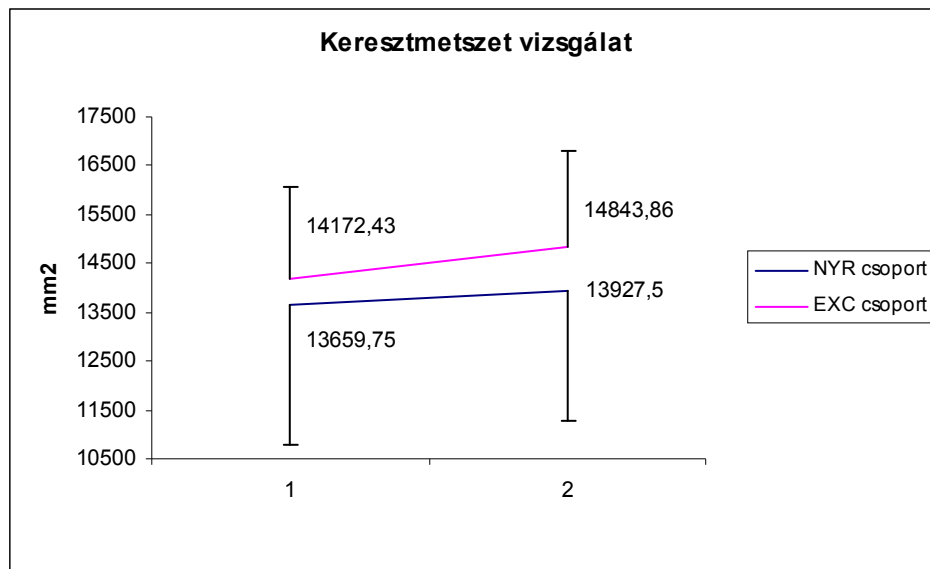
3. Az EXC és NYR edzésen résztvevő személyek 10 héten keresztül, heti három alkalommal végeztek térdfeszítő edzéseket.



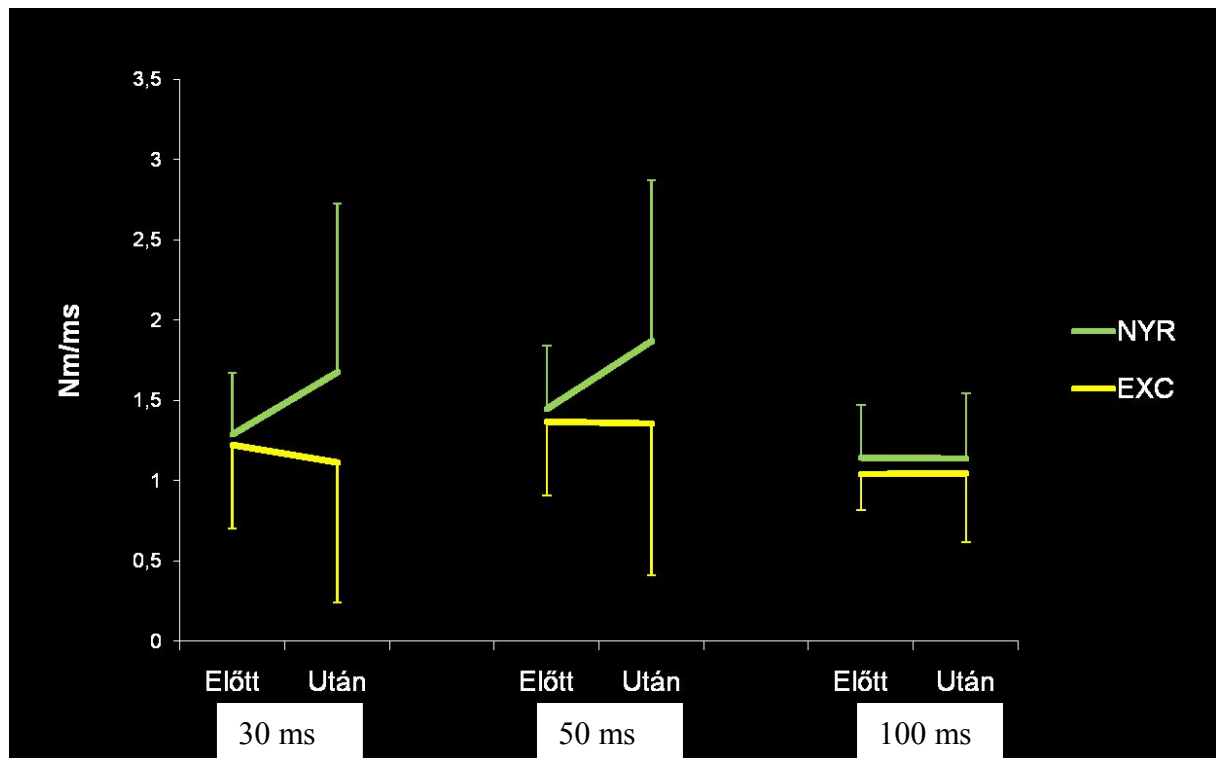
4. A femur hossz tengelyének merőleges síkja.



5. T1 súlyozott axiális térkép.



6. Az EXC és NYR csoport quadriceps femorisának keresztmetszet vizsgálata.



7. Nyomatékkifejlődési meredekség a két csoportnál, 30 ms, 50 ms és 100 ms során.