

# Az izomműködés tanulmányozása elektromiográfia segítségével

## Bevezetés

Az emberi vázizmok izomrostokból épülnek fel, melyeket kötőszövet kapcsol egybe. A vázizomzat működése a szomatikus motoros neuronok (motoneuronok) által irányított folyamat, mely során az agytörzsben vagy a gerincvelő mellső szarvában elhelyezkedő motoneuronok kisülései az általuk beidegzett izomrostok összehúzódását okozzák. Minden egyes izomrostot csak egy neuron idegez be, ugyanakkor egy motoneuron több izomrosttal is kialakíthat neuromuszkuláris kapcsolatot. Egy motoneuron az általa beidegzett izomrostokkal funkcionális egységet, ún. **motoros egységet** alkot. Ha a szomatikus motoneuron aktiválódik, az akciós potenciál kialakulása és az izomrost összehúzódása minden általa beidegzett izomrostban bekövetkezik.

Az izom motoros egységeinek mérete az adott izom mozgásokban betöltött funkciójától és elhelyezkedésétől függ. A kis méretű (10-20 izomrost/neuron) motoros egységekből felépülő izmokban (pl. szemmozgató izmok, mimikai izmok) az izomműködés finom szabályozásáért nagy számú motoneuron felel. Ugyanakkor a törzs axiális izomzata igen nagy motoros egységeket (több ezer izomrost/neuron) tartalmaz, hiszen az izom-összehúzódsok precíz szabályozása ez esetben nem annyira szükséges. A fiziológiás működés során a vázizomzat összehúzódsának mértéke, azaz a kifejtett izomerő (i) a motoneuronok tüzelési frekvenciájával és (ii) az aktív motoros egységek számának változtatásával szabályozható. Ez utóbbi folyamatot, amikor a kifejtett izomerő fokozása miatt egyre több motoros egység lesz aktív az adott izomban, **toborzásnak** (recruitment) nevezzük. A motoros egységek állandóan fennálló, kismértékű, alternáló aktivációja hozza létre az izom tónusát.

Mivel izom-összehúzódsakor az izomrostokat ellátó erek összepréselődnek, a szövet oxigénellátása gyakorlatilag megszűnik, egyes izomrostok anaerob metabolizmusra térnek át. Ezért, ha a vázizom ismétlődően akut maximális, vagy krónikus szubmaximális munkát végez, kontrakciós ereje fokozatosan csökken (elfárad). A legtöbb esetben az izomfáradásért az izomrostokban felhalmozódó anaerob metabolitok, a szövet oxigénhiánya, vagyis az oxidatív foszforiláció elégtelensége a felelős. A hosszabb, kitartó munkára képes izmok (vörös izmok) oxigéntároló képességük miatt (mioglobinn tartalom) azonban még ebben az esetben is képesek aerob anyagcsere fenntartására. Az izomfáradás az ún. fáradási idővel

jellemezhető, vagyis azzal az időtartammal, amíg az izomkontrakció nagysága a maximálisról a felére csökken. Egyes neuromuszkuláris betegségekben (pl. myasthenia gravis) az izom fáradási ideje jelentősen lerövidül.

Az izmokban lezajló folyamatok nyomon követésének egyik módja az izmok elektromos aktivitásának mérése. Az elektromiográfia (EMG) az izomban lezajló elektromos tevékenységeket regisztrálja. A test térfogati vezető képessége miatt az izomrostok plazmamembránján (szarkolemma) lejátszódó töltésmozgások az izomrostok közül és az izmok feletti testfelszínről is elvezethetőek. A bőrfelszínre ragasztott felszíni elektródák alkalmazásával sok motoros egység együttes aktivitását vezethetjük el. Az izomrostok közé (és nem a rostokba) szúrt koncentrikus tű elektródák használatával 5-10 izomrost működéséről tudhatunk meg többet. A felvett EMG jelek egyenirányításával nyert integrált EMG jel az izom-összehúzódkor kifejtett erővel arányos és a gyakorlatban jól használható paraméter. Az integrált EMG jel amplitúdója végső soron arányos az aktivált motoros egységek számával. Az izomerő fokozásakor egyre több motoros egység aktiválódik (toborzás), így az EMG jel amplitúdója is nő. Az amplitúdó növekedésének mértéke az izom edzettségétől függ. Az edzett izom egyes izomrostjaiban több miofilamentum található, tehát nem csak az egész izom, hanem az izomrostok is erősebbek. (Edzés hatására tehát a motoros egységek száma nem, csak az izom térfogata változik!) Így edzett személyben ugyanakkora erő kifejtéséhez kevesebb izomrost, kevesebb motoros egység aktiválása is elegendő, mint kevésbé edzett személyben, ezért a mért EMG jel kisebb lesz.

Az EMG-t a klinikai gyakorlatban leginkább az izmok ismeretlen eredetű gyengeségének felderítésére alkalmazzák, annak eldöntésére, hogy az izomgyengeség oka az idegekben (neuropátia), az izmokban (miopátia), vagy a neuromuszkuláris kapcsolatban keresendő. Az egyes betegségekben az izmokból jellegzetes elektromos aktivitásformákat lehet rögzíteni a műszer segítségével. Nyugalomban az ép izomban alacsony szintű elektromos tevékenység regisztrálható. Gyenge izomtevékenységre jellemző izom-összehúzódkor néhány motoros egység aktivitásmintája látható, míg maximális összehúzódkor egymástól már nem elkülöníthető elektromos jeleket láthatunk. Összehúzódkor alkalmával összehangolt, egységes jelek észlelhetők. A beidegzését frissen elvesztett izomban az izomrostok működése nincs összehangolva, és az egyes izomrostcsoportokban egymástól függetlenül alakulnak ki spontán izomrángások<sup>1</sup>.

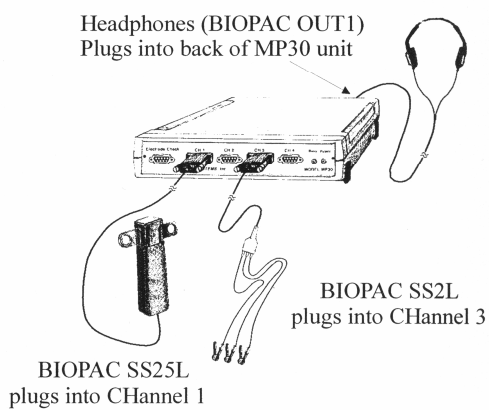
---

<sup>1</sup> Denervációt követően az izomrostra az ún. juvenilis  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  és  $\text{Cl}^-$  csatornák megjelenése jellemző. Az ioncsatorna készlet változása a nyugalmi membránpotenciál instabilitásához és ún. fibrillációs potenciál kialakulásához vezet, ami két héttel az idegsérülést követően már EMG-vel kimutatható.

Felismerhető az az állapot is, ha az idegrostok részleges pusztulása után az épen maradt idegrostok több izomrostot idegeznek be (nő a motoros egység mérete). Ha izomgyengeség esetén idegkárosodásra gyanakszik az orvos, az ideg elektromos vezetési sebességének mérése igazíthatja el. Elektromos árammal ingerelve a kérdéses ideget, az izomösszehúzódást regisztrálva az eltelt idő, valamint a két ingerlési pont közti távolság ismeretében kiszámítható a vezetési sebesség. Minthogy a regisztráláskor az elvezetődött ingerület amplitúdója is mérhető, kevesebb aktív rost esetén az amplitúdó kisebb lesz. A vezetési sebesség csökkenése a velőshüvely károsodását jelzi. Az izmokat érintő betegségekben (miopátia) az elektromos jelek egészséges mintázatúak, de kisebb amplitúdójúak. Előfordul, hogy az idegről izomra terjedő idegingerület folyamatában történik károsodás. Erre utal például az, hogy az egymást követő izomösszehúzódások egyre gyengébbek, s a beteg nagyon hamar elfárad.

Mivel az EMG csak az izmok elektromos és nem a mechanikai aktivitásával arányos, így a gyakorlatban az EMG jel mellett a kifejtett erőt is figyelemmel kísérik. A dinamométer (dino = erő, meter = mérés) segítségével a kifejtett erő és a mért EMG jel közötti korreláció tanulmányozható. A gyakorlaton az alkar izmainak dinamométeres és elektromiográfias vizsgálatát végezzük el, emellett a két kar izmainak edzettségét is összehasonlítjuk.

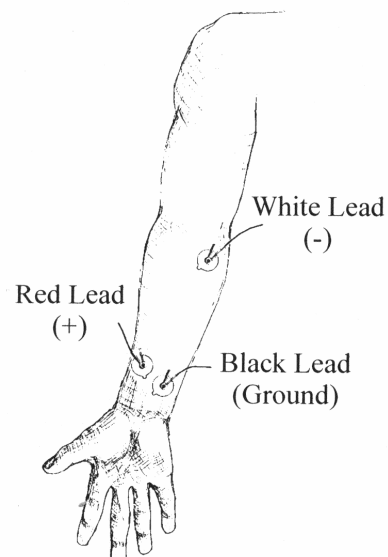
## A mérés menete



Ellenőrizzük hogy az MP30 erősítőegység ki van-e kapcsolva, ha nincs, kapcsoljuk ki. Csatlakoztassuk a kézi dinamométert az erősítő 1. csatornájához (CH1), illetve az EMG elektródák elvezetését a 3. csatornához (CH3) (1. ábra).

Kapcsoljuk be az erősítőt!

A vizsgált személy mindkét karjára helyezzük fel az egyszer használatos elektródákat a 2. ábrán szerint, majd először a domináns karra csatlakoztassuk az elektródák

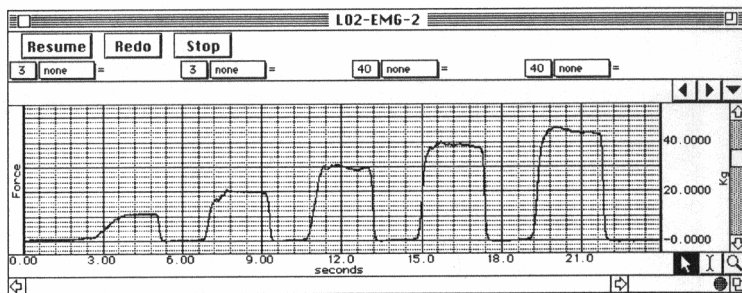


elvezetéseit az ábra színekódja szerint! Végül indítsuk el a **Biopac Student Lab** programot és válasszuk a 2. leckét (Lesson 2: EMG II).

Indítsuk el a kalibrációt és kövessük a felugró ablakok utasításait! Először ne fogjuk meg a transzducert, ez szolgál majd a nulla erő értékhez támpontul. Ezt követően vegyük kézbe, majd a kalibráció indítása után 2 másodperccel maximális erőt fejtünk ki rá egy-két másodpercig. A kalibrációs eljárás lehetővé teszi, hogy a program a mért jel amplitúdóját, vagyis az erősítés mértékét megfelelően beállíthassa. Ha a kalibrációs eljárás nem sikerül, a végén a *redo calibration* paranccsal megismételhető.

Ha a kalibráció megfelelő volt, a mérés a *Record* paranccsal indítható.

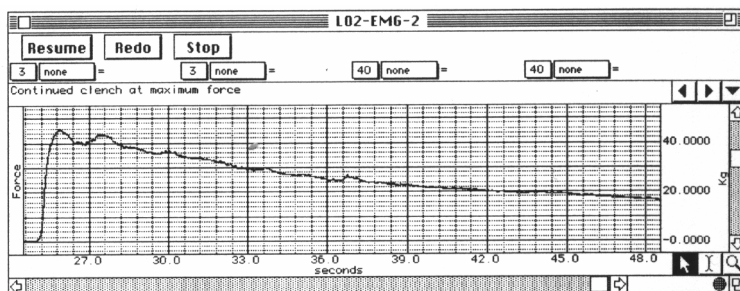
### 1. A motoros egységek toborzásának tanulmányozása:



A vizsgálatokat elsőként a domináns karon végezzük el. Fejtsünk ki a dinamométerre egyre nagyobb erőt, úgy hogy az a képernyőn 5-10-15-20-25-30-40-50 Kg-nak feleljen meg. Az egyes erő kifejtéseknél 2-3 s-

ig tartsuk meg a szorítást, majd 2-3 s szünet következzen. A mérés végén nyomjuk meg a *Suspend* gombot! Ha jól végeztük a mérést, a 3. ábrának megfelelő eredményt kapunk.

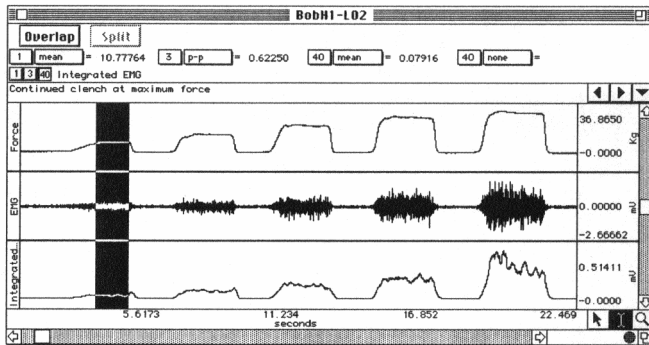
### 2. A fáradás tanulmányozása:



*Resume* gomb megnyomásával folytassuk a mérést! Szorítsuk meg a dinamométert maximális erővel, és próbáljuk megtartani azt egészen addig, míg a képernyőn a maximális kitérés felére le nem csökken a jel. Ha


a mérésünk megfelelő volt, a 4. ábra szerinti jelet kell kapnunk. Mérésünket a *Suspend* gombbal állíthatjuk le. Leállítását követően a program megkérdezi, hogy befejeztük-e a mérést ezen a karon. Ha eddigi mérésünk megfelelő volt és már átszereltük az elektródákat a másik karra, válaszoljunk igennel. Ismételjük meg a mérést a gyengébb alkaron is! A mérések között a *Suspend* gomb megnyomásával válthatunk. Mérésünket a *STOP* gombbal állíthatjuk le.

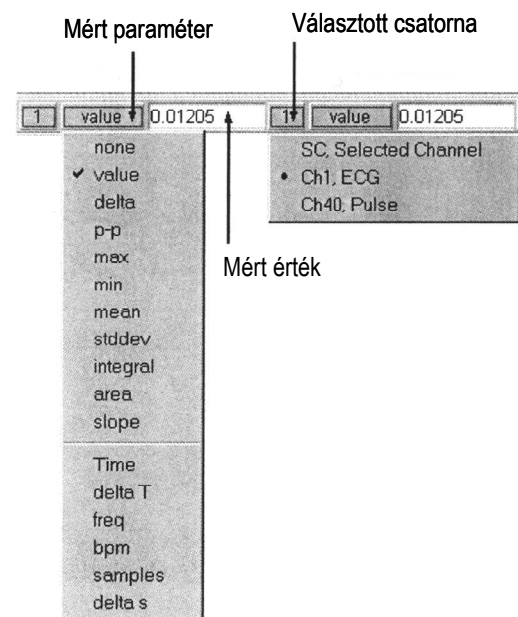
## Kiértékelés



kijelölt szakasz inverz színezéssel jelenik meg a képernyőn. A kiválasztott intervallumban a jel mért és számított paramétereit az ún. mérőablakokban (6. ábra) jeleníthetjük meg. Ehhez először ki kell választanunk, hogy mely csatorna adatait kívánjuk elemezni (6. ábra **Választott csatorna**), majd a mért paraméter típusát kell beállítanunk (6. ábra **Mért paraméter**). Mind a 1. (erő), mind a 40. (integrált EMG) csatornára számítsunk középértéket (mean)! A kapott adatokat jegyezzük fel!

A mérés befejeztével töltsük be a fájlokat a mérőhely azonosítóval ellátott mappából! (Lessons, Review saved data)

Az 5. ábrának megfelelő módon a *Kijelölő eszközzel*  jelöljük ki az erőkifejtések plató szakaszát! A



6. ábra A mérőablakok felépítése

## Írásbeli értékelés

- A jegyzőkönyvben hasonlítsuk össze az erősebb és a gyengébb kar, valamint 2 vizsgált személy (pl. fiú - lány, illetve sportos - nem sportos személy) adatait!
- Számítsunk minden esetben az egységnyi erőre eső EMG jelet!
- Ábrázoljuk egy közös grafikonon a vizsgált személyek erősebb és gyengébb karjának integrált EMG adatait a kifejtett izomerő függvényében. Értelmezzük a tapasztalt összefüggéseket, és mutassuk meg, hogy a toborzás jelensége a vizsgálati eredményekben miként tükröződik!
- A fáradás vizsgálata során elemezzük a kapott EMG jel és a kifejtett erő viszonyát a szorítás megkezdésekor, illetve a fáradás utolsó szakaszában!
- Hasonlítsuk össze a vizsgált személyek alkarizmainak fáradási idejét!