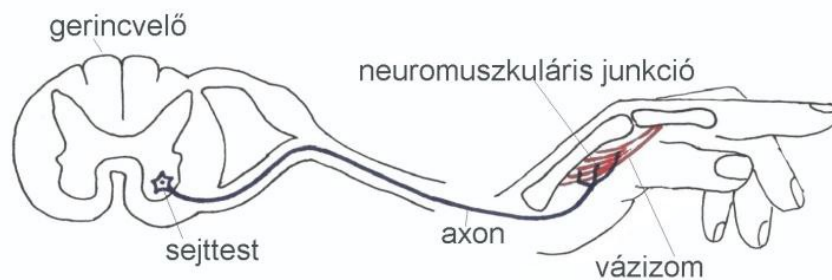


8. A mozgásszabályozás vizsgálata

A gerinces állatok hely- vagy helyzetváltoztatása vázizmok (= harántcsíkt izmok) működésével valósul meg. A vázizmok izomrostokból épülnek fel, melyeket kötőszövet kapcsol egybe. Az izomrostok a bennük található aktin és miozin fehérjék szabályos elhelyezkedése miatt mikroszkóp alatt harántcsíkolatot mutatnak. A harántcsíkt izmoknak spontán aktivitásuk nincs, működésüket a gerincvelő mellső szarvában, ill. az agytörzsben elhelyezkedő szomatikus mozgató idegsejtek (motoneuronok) szabályozzák (8.1. ábra).

Minden egyes izomrostot csak egy motoneuron 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 gerincvelőben lévő motoneuron aktiválódik, a kontrakció minden általa beidegzett izomrostban bekövetkezik.



8.1. ábra. Egy, a mutatóujj hajlítását végző izom és motoneuronja.

Az izomrostok összehúzódásának mértéke nagyban függ az intracelluláris Ca^{2+} -szinttől, ami viszont a motoneuronok tüzelési frekvenciájával arányos, (mivel nagy frekvencia esetén két AP között a Ca^{2+} pumpák nem tudják visszajuttatni a szarkoplazmatikus retikulumba). Az egyes motoros egységek által kifejtett izomerő tehát a motoneuronok tüzelési frekvenciájával szabályozható (izomhossz-frekvencia moduláció). Egy adott izom összehúzódásának mértéke az aktivált motoros egységek számától is függ. Azt a folyamatot, amikor az izomerő fokozása céljából egyre több motoros egység válik aktívvá az adott izomban, toborzásnak (recruitment) nevezzük.

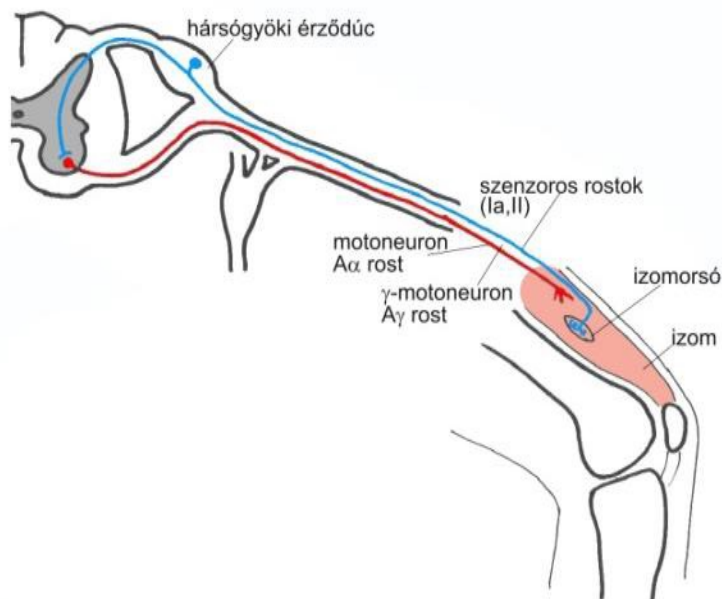
A központi idegrendszer funkcionális szempontból vertikálisan szerveződő rendszer – ez a mozgásszabályozás vonatkozásában is így van. Az egyes szinteken (gerincvelő, agytörzs stb.) fontos integrációs és szabályozó működések történnek.

A legegyszerűbb reflexek és mozgásmintázatok gerincvelői szinten szerveződnek, helyi interneuronok közvetítésével a befutó szenzoros információk alapján. Az izomrostokkal párhuzamosan kapcsolt izomorsók és a sorosan kapcsolt Golgi-féle ínszerv az izmok feszülési állapotáról és hosszviszonyairól küldenek a gerincvelőbe információt. Az izomorsó kötőszövetes burokkal határolt 3-12 izomrostot (intrafuzális rostok) tartalmazó „érzékszerv”. Az intrafuzális

rostokat γ -motoneuronok ($A\gamma$ rost) idegzik be. A rostok felületéhez spirál alakban deformációra érzékeny szenzoros idegvégződés kapcsolódik (Ia és II rostok). A bőr receptorai felől érkező információk közül – a mozgásszabályozás szempontjából – a tapintási és fájdalomérzetek a legfontosabbak.

Mindenfajta – akaratlagos, vagy automatikus - mozgás háttere az izomtónus és testtartás szabályozott átrendeződése. Az akaratlagos mozgások kivitelezésében a primer mozgatókéregből kiinduló piramispálya vesz részt. A vele szomszédos kérgi területek feladata a mozgások megtervezése- szervezése. A bazális ganglionok a kéregből eredő és oda visszatérő ún. hurokpályák feldolgozó állomásai. (Az „extrapiramidális pálya” elnevezés koncepcióban hibás!) Elsősorban automatikus mozgások kivitelezésében szerepelnek. A kisagy többek között a mozgástanulásban és a mozgások megfelelő kivitelezésében fontos.

A gyakorlaton a gerincvelői integrációs folyamatokat a nyújtási vagy miotatikus reflex vizsgálatán keresztül tanulmányozzuk (8.2. ábra). A miotatikus reflex az egyik legegyszerűbb gerincvelői reflex: az izom passzív megnyújtása/nyúlása esetén az izomban található izomorsók Ia afferensei a gerincvelőben ugyanazon izom motoneuronjain szinaptizálva izomkontrakciót idéznek elő (monoszínaptikus reflex).



8.2. ábra. A miotatikus reflex íve. Kék az afferens, bemenő ág, piros az efferens, végrehajtó ág.

A gerincvelői idegek két gyökérrel kapcsolódnak a gerincvelőhöz: az elülső, mozgató gyökérrel (radix anterior seu motoria) és a hátsó, érző gyökérrel (radix posterior seu sensoria). Az afferens és efferens rostok a csigolyák közti lyukakban egyesülnek, így a gerincvelői idegek keverték: egyaránt tartalmaznak motoros és szenzoros (valamint vegetatív) rostokat. Az ideget alkotó rostok vezetési sebessége a velőshüvely eltérő vastagsága miatt széles határok között változik (8.1. táblázat).

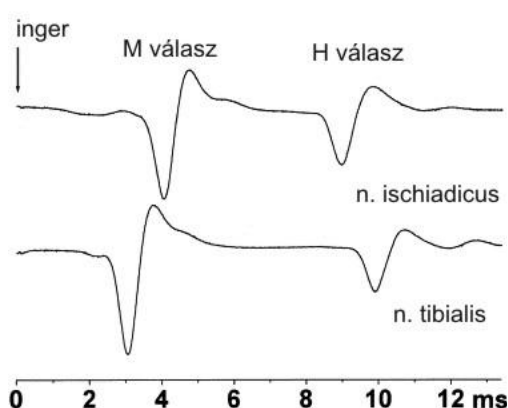
8.1. táblázat: Az egyes idegrost típusok jellemző adatai

Típus	Funkció	Rostátmérő (μm)	Vezetési sebesség (m/s)
Aα (Ia, Ib)	motoros: extrafuzális rostok szenzoros: propiocepció	10-20	70-120
Aβ (II)	szenzoros: tapintás, stb.	5-12	30-70
Aγ	motoros: intrafuzális rostok (izomorsó)	3-6	15-30
Aδ (III)	szenzoros: fájdalom, hideg, meleg	2-5	12-30
B	vegetatív preganglionáris	3	3-15
C (IV)	fájdalom, szimpatikus postganglionáris	0,3-1,3	0,5-2,3

8.1. Feladat #11 - A gerincvelői szenzomotoros integráció tanulmányozása patkányban

A gyakorlat célja: A Hoffmann reflex ívének és a gerincvelői szinaptikus átkapcsolási mechanizmusának elemzése, valamint a nervus ischiadicus (NI) -ban és nervus tibialis (NT) -ban futó érző (főleg Ia) és mozgató (Aα) rostok vezetési sebességének kiszámítása.

A gyakorlaton nem az izom passzív megnyújtásával, hanem a regisztrált izomhoz futó perifériás (kevert) ideg elektromos ingerlésével váltjuk ki az izomválaszt. Mivel a kiváltott ingerület az ingerlési pontból disztális és proximális irányban egyaránt terjed, az EMG regisztrátumon kétkomponensű választ láthatunk (8.3. ábra). Az első az M válasz, a motoros (Aα) rostok direkt ingerlésével kiváltott izomrángás. A második a H válasz, az Ia szenzoros rostok elektromos ingerlésével kiváltott tulajdonképpeni reflexválasz. Mivel ebben az esetben nem az izomorsó az inger keletkezésének a helye, ezt a módosított miotatikus reflexet Hoffmann reflexnek nevezik.



8.3. ábra. Patkány n. ischiadicus (NI) és n. tibialis (NT) ingerlésével kiváltott M és H válaszok. Jól láthatóak a kétféle ingerlés során tapasztalható latenciaidőbeli eltérések.

A mérés során felhasznált eszközök: patkánypad, ingerlő tűelektrodok, ezüst lapka mérőelektrodok, elektrodpaszta, elektromos ingerlő, számítógépes mérőrendszer.

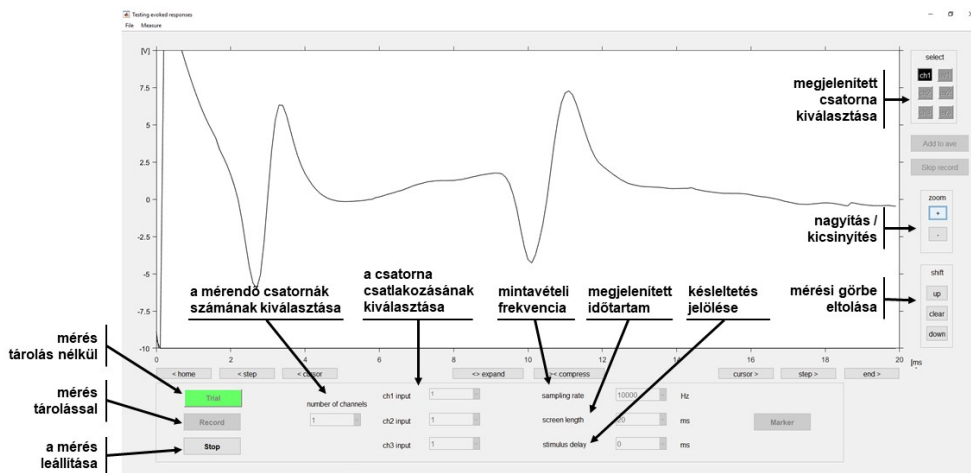
A preparátum elkészítése, a kísérletek előkészítése: A patkányt uretánnal elaltatjuk, és a padon hasra fektetve három lábánál rögzítjük. A szabadon maradó bal hátsó lábfej bőrfelületének alkohollal történő zsírtalanítása után a plantáris EMG elvezetésére szolgáló elektródokat megtöltjük elektrolitpasztával, és egy ragasztócsikkal (1 cm széles 3-4 cm hosszú leukoplaszt darab) a lábfej plantáris, illetve dorzális felszínéhez rögzítjük. Az elektródok elvezetéseit az előerősítő két felső bemenetébe csatlakoztatjuk (8.4. ábra). Az alsó bemenetbe egy földelő tüelektródot csatlakoztatunk, melyet előzőleg az elvezető és az ingerlő elektródok között a bőr alá szúrtunk. A két ingerlő elektródot párhuzamosan, egymástól kb. 5-6 mm-re vagy a NT mellé szúrjuk közvetlenül a boka felett kétoldalt, vagy a combizmok között futó NI mellé szúrjuk a comb felső harmadában. Az ingerlőelektródok elvezetéseit az ingerlő kimenetébe csatlakoztatjuk.



8.4. ábra: A mérésekhez használt előerősítő

Az erősítő egység **EXT-1** paneljén az erősítést (RANGE) vegyük 1000x-esre (ha a mérés során ez nem bizonyul megfelelőnek, az erősítést lehet csökkenteni vagy fokozni). Az aluláteresztő szűrőt (HF): 2KHz-re; felüláteresztő szűrőt (LF) 100Hz-re állítsuk!

Az adatok bemérésére az Analyse program szakaszos regisztrálási módját használjuk. A „Measure” főmenüben válasszuk ki az „Evoked response” üzemmódot! Ebben az esetben a program nem folyamatosan, hanem az indítójelet követően meghatározott ideig (*screen length*) regisztrál. Ezt a bemérési időt („*screen length*”) állítsuk 20 ms-ra. Mivel nagyon gyors történéseket akarunk regisztrálni, nagy mintavételi frekvenciát kell használnunk, a „*sampling rate*” legyen 10000 Hz (8.5. ábra).



8.5. ábra: Az Analyse „Evoked response” módjának mérőablaka

A digitális négyszögingerlőn az impulzusszélességet (PW) 100 μ s-ra állítsuk be. Mivel az első mérési feladatnál egyedi ingereket adunk, az ingerlés periódusidejét (PP), illetve az alkalmazott sorozatok számát (TN) ne állítsuk be, ellenőrizzük, hogy ezek értéke valóban 0. A billenőkapcsolót állítsuk "SINGLE" állásba. Az ingererősség gombot a mérés megkezdése előtt állítsuk 0-ra, és ellenőrizzük, hogy az ingerlő feszültség-ingerlés (U) üzemmódban van-e.

Az megfelelő ingererősség beállítását „*Trial*” módban végezzük el. A program a kirajzolt görbét ilyenkor nem menti el. Az adatgyűjtés az ingerlő „*Start*” gombjának megnyomásával indul. Emeljük fokozatosan az ingerlőn az ingerlési feszültséget, amíg a monitoron meg nem jelenik a kiváltott M és H válasz. Közben ellenőrizhetjük, hogy az ingerlés hatására látható-e izomrángás a lábfejen.

Az adatok regisztrálása „*Record*” módban lehetséges. Azt egyes ingerek után kirajzolt jelekről eldönthetjük, hogy eltávoljuk – „*Save*” – vagy elvetjük – „*Discard*”. Az elmentett minták száma a programmenüben nyomon követhető. A regisztrálást a *Stop* gombbal zárhatjuk le.

Mérési feladatok:

1. Az egyedi NT ingerlés válaszainak regisztrálása.
2. A gerincvelői átkapcsolás plaszticitásának vizsgálata kettős ingerléssel.
3. Az egyedi NI ingerlés válaszainak regisztrálása.

A gyakorlatok részletes menete:

1. Az egyedi NT ingerlés válaszainak regisztrálása. Ingereljük a NT-t a beszúrt tüelektródokkal és keressük meg az optimális választ az inger feszültségének fokozatos emelésével. Ha a válasz alakja nem megfelelő, a tüelektródok pozícióját célszerű javítani. Megfelelő válasz kialakulásakor regisztráljunk legalább 10 darab kiváltott választ!

2. A gerincvelői átkapcsolás plaszticitásának vizsgálata kettős ingerléssel.

Az ingerlőn az négyszögingerek számát állítsuk kettőre (TN=2), a két inger közti időt (PP) 100ms-ra! A bemérési időt („screen lengt”) állítsuk 120 ms-ra. A mintavételi frekvenciát („*sampling rate*”) vegyük vissza 2000Hz-re! A programban beállított *stimulus delay* az ingerlőn beállított PP értéknek feleljen meg!

Csökkentsük a késleltetési időt (100, 50, 20 ms) addig, míg az 2. inger H-hulláma eltűnik.

Mindegyik késleltetés esetében 10 db kettős inger válaszát tároljuk el egy-egy újabb fájlban.

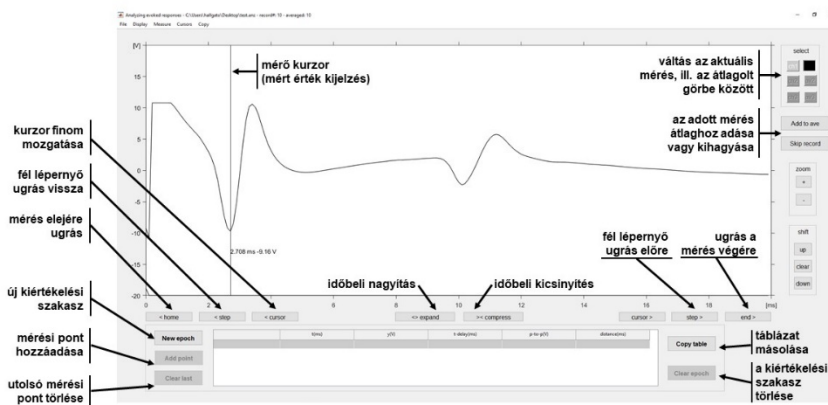
Jelöljük meg a disztális tüelektród pozícióját (pl. színes tollal), majd húzzuk ki mindkét elektródot!

3. Az egyedi NI ingerlés válaszainak regisztrálása. A bal comb felső harmadába, a NI mellé szúrjuk be a tüelektródokat. A mérés további lépései azonosak a NT ingerléskor leírtakkal. Mivel ebben az esetben az ingerlési pont távolabb van az izomtól és közelebb a

gerincvelőhöz, az M válasz esetében hosszabb, a H válasz esetében rövidebb latenciaidőre számítunk.

A mérés befejezése után **jelöljük meg az elektród helyét, majd mérjük le és jegyezzük fel a két ingerlési pont közti távolságot.**

Kiértékelés: A regisztrálás során elmentett egyedi görbéket átlagoljuk, majd az átlagolt görbéken meghatározzuk az M és a H válaszok latenciáidejét és amplitúdóját.



8.6. ábra: Az Analyze „Evoked potential” módjának kiértékelő ablaka

Írásbeli beszámoló: A jegyzőkönyvben szerepeljenek az egyes mérési feladatok átlagolt görbéi, illetve a mért latencia- és amplitúdó értékek táblázatos formában. Az 1. és 3. feladat adatai egy táblázatban, a 2. (kettős ingerlés) adatai külön táblázatban szerepeljenek. Hasonlítsuk össze a páros ingerlés során regisztrált H válaszokat. Vizsgáljuk meg, változik-e az első és második ingerre adott H válaszok egymáshoz viszonyított aránya az ingerek közti időintervallum csökkenésével. Magyarázzuk meg az eredményeket!

Számoljuk ki a motoros és szenzoros rostok vezetési sebességét az 1. és 3. feladat mérési adatainak alábbi képletbe való behelyettesítésével:

$$V_{\text{motoros}} = d_{\text{NI-NT}} / (t_{\text{MNI}} - t_{\text{MNT}})$$

$$V_{\text{szenzoros}} = d_{\text{NI-NT}} / (t_{\text{HNT}} - t_{\text{HNI}})$$

$d_{\text{NI-NT}}$: a két ingerlési pont távolsága (mm); t_{MNI} , t_{MNT} , t_{HNT} , t_{HNI} : Az M, ill. H válasz latenciája a NI, ill. NT ingerlése esetében (ms);