

Folyamatszabályozás BMEVIIIM158

Neuromuszkuláris reflexmozgás rendszerelméleti analízise

2017.10.26

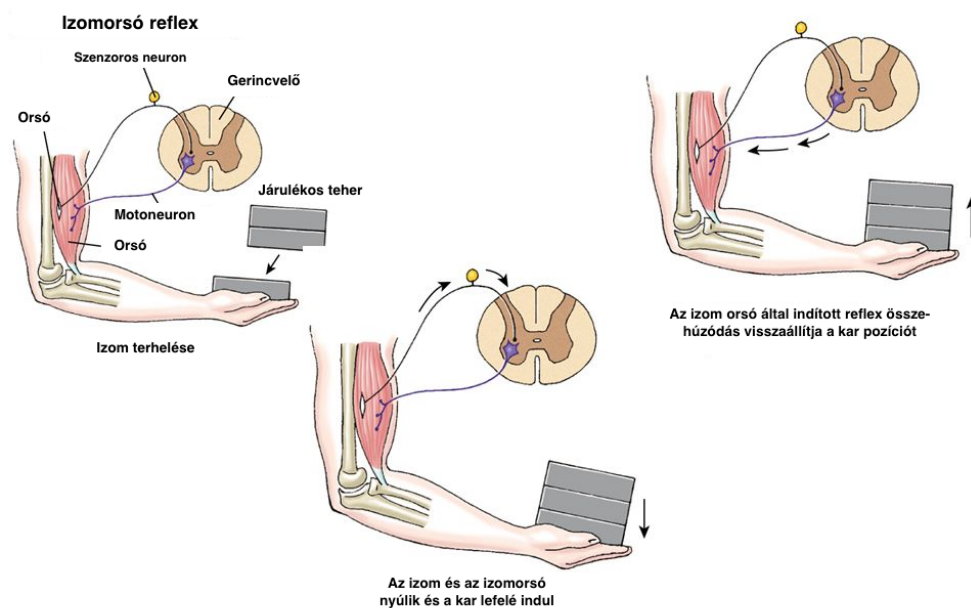
1. Feladat leírás

A neuromuszkuláris reflex az izomzat kellő idejű aktivitását jelenti, így védve az ízületet a megterhelésektől. Az idegrendszer és izom rendszer közötti interakció károsodása a funkcionális stabilitás csökkenéséhez vezethet. Méréseket végeznek pacienseken, a mérések folyamán külső zavarást (súly, ín hirtelen megnyújtása stb..) adnak a neuromuszkuláris rendszerhez majd figyelik ennek hatását a rendszerre egyszerűen mérhető változók regisztrálásával. Ezek segítségével identifikálni lehet a neurológiai szabályzórendszert és a szabályozott szakaszt, amely így vizsgálhatóvá válik. A hallgató feladata a származtatott, identifikált analóg mechanikai modell kvantitatív vizsgálata rendszertехnikai módszerekkel.

2. Kísérlet leírása

A mérést kényelmes ülő pozícióban hajtják végre. A paciens felkarja rögzített vízszintes helyzetben van a horizontális síkon (nem kell erőt kifejteni), és az alkar csak vertikális síkon mozdulhat el. A paciens a kísérlet kezdetekor behajlítja karját, felhúzza a csuklójára erősített zsinórt, mely egy csiga-rendszeren keresztül mozog, és egy súly van a végére erősítve. A kezdeti szög a felkar és az alkar között 135° -ra van állítva. A paciens nem kap semmilyen speciális utasítást arra nézve, hogy tartsa ezt a szöget, kivéve, hogy lazítsa el a karját amennyire lehetséges, amíg a súlyt tartja. Ezután $t = 0$ időpillanatban az elektromágneses kapcsolóval hirtelen járulékos súlyt adunk az eredeti súlyhoz. Az alkar (könyök körül) elfordul, a bezárt szög megváltozik – ezt regisztráljuk a súly elengedésekor és utána következő időpillanatokban. A teszt eredményeit taglaló matematikai modell Söchting és munkatársai munkáján alapul.

3. Élettani folyamat leírása



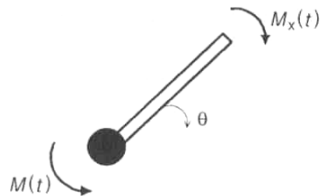
1. ábra. neuromuszkuláris reflex folyamat

A neuromuszkuláris reflex az izomzat kellő idejű aktivitását jelenti, így védve az ízületet a megterhelésektől. Az izom összehúzódás (miotatikus) reflex egy egyszerű reflex, részei a szenzoros neuron, ami direkt kapcsolatban áll az izom orsóval és az alfa motoneuron a központi idegrendszerben, ami axonokat küld vissza ugyanabba az izomba.

A reflex csak azoknál az izmoknál vált ki összehúzódást, amelyeknél az ín meg van nyújtva és ezek agonista vagy társizmáinál.

4. A rendszer leírása mechanikus analóg modellek segítségével

A 4.1-4.3 pontokban a rendszer egyes alkotóelemeinek mechanikai analóg modelljei találhatók, amely a kar az izom és az izomorsó és az ingerület útjaiból áll.



2. ábra. alkar sematikus rajza, a feketével satírozott kör a könyököt reprezentálja

4.1. Végtagi dinamika

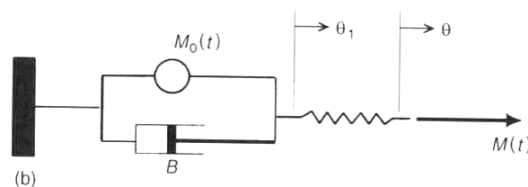
Paraméter	Leírás
$M_x(t)$	A könyökre ható külső nyomaték változását reprezentálja
$M(t)$	A külső zavarásra válaszként kifejtett netto muszkuláris nyomaték
J	Alkar könyökre kifejtett tehetetlenségi nyomatéka
Θ	Könyök körüli szögelfordulás

Newton második törvénye alapján a rendszer (2. Ábra) mozgásegyenlete:

$$M_x(t) - M(t) = J\ddot{\Theta} \quad (1)$$

4.2. Izom modell

Bár a külső zavarás (M_x) hatására keletkezett reflex magában foglalja mind a bicepsz, mind a tricepsz mozgását, az egyszerűség kedvéért úgy tekintjük, hogy az M_x -re adott nettó muszkuláris nyomaték választ egyetlen izom adja (3 Ábra). A modell egy rugalmassági tagot (k [Nm/Rad]) és egy csillapítás tagot (B [Nm s]) viszkózus csillapítás paramétere) tartalmaz.



3. ábra. Izommodell

$$M(t) = k \cdot (\Theta - \Theta_1) \quad (2)$$

$$M(t) = M_0(t) + B\dot{\Theta} \quad (3)$$

Paraméter	Leírás
$M_0(t)$	Az izom által kifejtett nyomaték izometrikus körülmények között. Időfüggő, függ az alfa motoneuronok gerjesztési jellemzőitől.

4.2.1. Szabályozott szakasz

Lagrange egyenletekkel származtatjuk az eredő rendszert, a szabályozott szakasz dinamikáját leíró mozgásegyenletet, vagyis Θ változását, az M_x külső zavarás által kifejtett nyomaték függvényében és a muszkuláris választ.

$$\frac{BJ}{k}\ddot{\Theta} + J\ddot{\Theta} + B\dot{\Theta} = M_x(t) - M_0(t) \quad (4)$$

4.3. Izomrosó modell

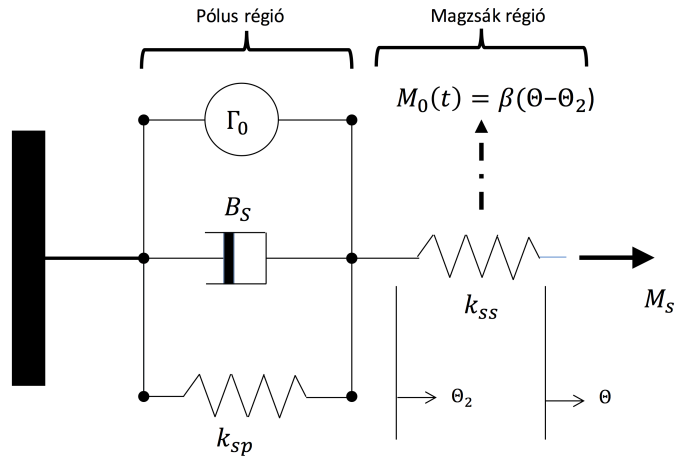
A modell azt a dinamikát írja le, melynek során a Θ változásai az izomrosó szintjén átalakul afferens idegi szignálokká. Az ingerület a gerincvelőben vezetődik tovább, mely efferens jeleket küld az összehúzódó izomnak $M_0(t)$ generálására. Az izomrosónak fusiformis (orsó formájú) alakja van széles közép régió (egyenlítői régió) és két vékony pólus régió. Az izomrosók kapszulában vannak, amelyeket perineurális sejtek rétege alkot. A kapszula viszkózus folyadékkal val töltve savas mukopoliszacharidot tartalmazva. A kapszulán belül két fajta intrafusális izomrost található (maglánc rostok és magzsák rostok). A dinamikai működés szempontjából a magzsákrégiót és az pólus régiót modelleztük, ami az 4. Ábrán látható. Feltételezve, hogy az izomrosó neurális kimenete arányos azzal az értékkel, mellyel a magzsák régiót nyújtjuk, a következő egyenlet írható fel:

$$M_0(t) = \beta(\Theta - \Theta_2) \quad (5)$$

Az ábra 4 alapján az izomrosó dinamikai modellje a következő egyenletekkel írható fel:

$$M_s = k_{ss} \cdot (\Theta - \Theta_2) \quad (6)$$

$$M_s = B_s\dot{\Theta}_2 + k_{sp}\Theta_2 \quad (7)$$



4. ábra. Izomorsó mechanikai analóg modellje

Paraméter	Leírás
k_{sp}	Elasztikus merevségi tényező az orsó pólusain
B_s	Viszkózus csillapítási tényező az orsó pólusain
Γ_0	A pólus régió összehúzó része, amely miatt az orsó összehúzódik, az orsó hosszától függetlennek tekinthető.
k_{ss}	Elasztikus merevségi tényező az orsó magzsákjánál.

Feltételezzük, hogy Γ_0 az orsó hosszától függetlenül konstans, így ez a paraméter nem játszik szerepet a hosszúság változásának dinamikájában. Figyelembe kell venni azt a tényt is, hogy a folyamatot jellemzi egy véges késés, mielőtt a visszacsatolt információ korrigáló akcióvá alakul át az át az izom szintjén. A teljes késleltetést az a T_d foglalja magába, mely tartalmaz minden, az afferens izopotenciál izomerővé váló átalakulásának idejét is. Az M_s és Θ_2 közbülső változók eliminálásával az (5)- (7) egyenletekből a következő egyenlet adódik az összehúzó reflex modell visszacsatolás tagjához:

$$\dot{M}_0 + \frac{M_0}{\tau} = \beta \left(\dot{\Theta}(t - T_d) + \frac{\Theta(t - T_d)}{\eta \cdot \tau} \right) \quad (8)$$

Ahol

$$\tau = \frac{B_s}{k_{ss} + k_{sp}} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{k_{ss} + k_{sp}}{k_{sp}} \quad (10)$$

5. A neuromuszkuláris reflex mozgás egyenletei

A (4)- (8) egyenletek alapján a következő egyenleteket kapjuk a teljes rendszer leírásához:

$$\frac{BJ}{k} \ddot{\Theta} + J\ddot{\Theta} + B\dot{\Theta} = M_x(t) - M_0(t) \quad (11)$$

$$\dot{M}_0 + \frac{M_0}{\tau} = \beta \left(\dot{\Theta}(t - T_d) + \frac{\Theta(t - T_d)}{\eta \cdot \tau} \right) \quad (12)$$

6. Feladatok

Feladat sor- száma	Tehetlenségi nyomaték J	Izom rugalmassági tényezője k	Viszkózus csillapítási paraméter B	τ	Teljes késleltetés T_d	η
Mértékegység	$Kg\ m^2$	Nm/rad	$Nm\ s$	s	s	—

1. β alapértéke 100
2. Határozza meg a mozgásegyenletek Laplace transzformáltját.
3. Hozza létre a rendszer hatásvázlatát.
4. Határozza meg a zárt rendszer átviteli függvényét és jellemezze a stabilitás szempontjából (a holtidőt 3-ad rendű Padé approximációval közelítse).
5. Vizsgálja meg a stabilitás kérdését frekvencia tartományban (Nyquist diagram, Bode diagramok)
6. Vizsgálja meg a különböző értékre $\beta = (50, 100, 150)$ a rendszer minőségi jellemzőit: túllövés, szabályozási idő (a kimenet alapján). Jellemezze a kapott eredményeket.
7. Mérje össze a 4. Pontban kapott eredményeket azzal az esettel, ha a rendszer nem tartalmaz holtidőt ($T_d = 0$).
8. Határozza meg a β küszöbértékét, amelyre a rendszer még stabilis. Szimulálja a rendszer kimenetét SIMULINK-ban a kapott értékre.
9. Adja meg a rendszer M_x bemenő jele és Θ kimenő jele alapján az állapotegyenlet- rendszerét!, Adja meg A, B, C, D állapotváltozókat!

A kért feladatokat Matlab és Matlab SIMULINK program segítségével oldja meg. A kész feladatokat e-mailen kérjük beküldeni (megfelelően részletes és igényesen kidolgozott dokumentációval és forráskóddal, mely alapján a dolgozatot bármikor teljes mértékben reprodukálni lehet!). Mindenki egyénileg visszajelzést kap a házi feladata lekönyveléséről.

Homlok József

E-mail: homlokj@iit.bme.hu

Tel.: 06-1-463-4027