

Zólyominé dr. Botzheim Lilla

Wigner FK RMI KTO
Neurorehabilitáció és
Mozgásszabályozás
Kutatócsoport

2023.10.17.

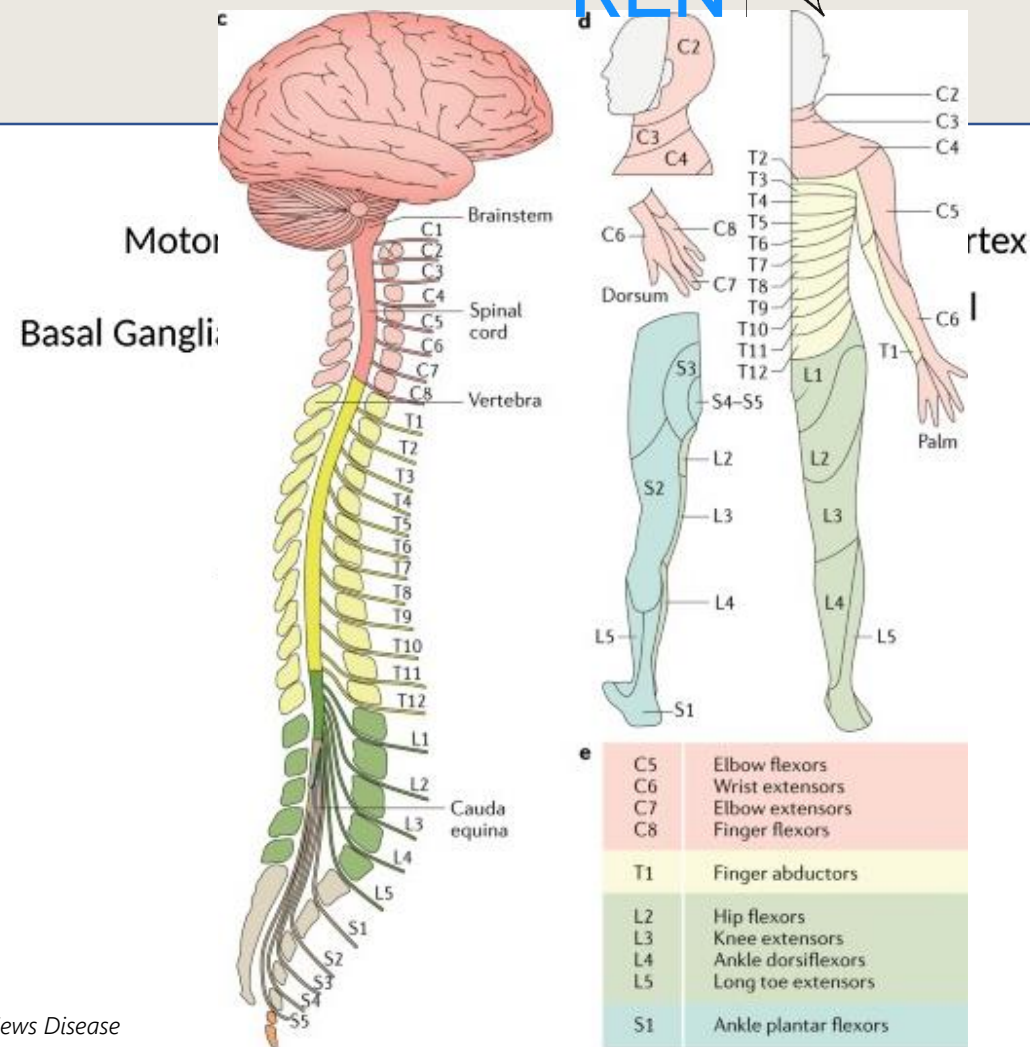
Tudja-e a bal kéz, hogy mit csinál a jobb láb? avagy a mozgásszabályozás kérdései

- A mozgásszabályozással kapcsolatos kutatások alapkérdése, hogy hogyan hozzuk létre a mozgást?
- Milyen kapcsolat van a mozgásban résztvevő „tagok” között?
- Vajon tudja-e a bal kéz, hogy mit csinál a jobb láb?
- Amiről szó lesz:
 - Karral és lábbal végzett mozgások kutatása
 - Komputációs módszerek – biomechanikai és bioelektromos jelek alapján
 - Mozgáskorlátozott személyek rehabilitációja

- Milyen szempontok, törvények alapján optimalizáljuk a feladat végrehajtását?
- Hogyan lehet modellezni/szimulálni egy adott mozgást?
- A mozgásképeség sérülése esetén milyen mesterséges mozgást tudunk létrehozni?
- Interdiszciplináris tudományterület :
 - fizikusok, matematikusok, informatikusok, mérnökök, orvosok, biológusok, gyógytornászok, humán-kineziológusok együttműködése szükséges

Információ áramlása a mozgásszabályozásban

- A mozgás-szabályozás pályája
 - Agy -> gerincvelő -> izmok
- Hogyan jut el az információ a végtagokhoz?
 - Kar: C3-T1
 - Láb: L1-S1
- Ciklikus, négy végtaggal egyszerre végzett mozgások
 - Úszás
 - Járás - gyaloglás – futás
 - Kézi-lábi kerékpározás



Ahuja, C. S., Wilson, J. R., Nori, S., Kotter, M. R. N., Druschel, C., Curt, A., & Fehlings, M. G. (2017). Traumatic spinal cord injury. *Nature Reviews Disease Primers*, 3. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.18>

Asan, A. S., McIntosh, J. R., & Carmel, J. B. (2022). Targeting Sensory and Motor Integration for Recovery of Movement After CNS Injury. *Frontiers in Neuroscience*, 15(January), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.791824>

Nature Reviews | Disease Primers

Ciklikus mozgások

- Miért épp a ciklikus mozgások?
 - Egyszerű mozgásforma
 - Jól ismételtető
 - Együtt mozog több végtag
- A kerékpározási feladat előnye
 - Adott mozgási pálya
 - Rehabilitációban széleskörűen alkalmazzák
 - Mind a négy végtaggal egyszerre végezhető



Ciklikus mozgások

- Miért épp a ciklikus mozgások?
 - Egyszerű mozgásforma
 - Jól ismételhető
 - Együtt mozog több végtag
- A kerékpározási feladat előnye
 - Adott mozgási pálya
 - Rehabilitációban széleskörűen alkalmazzák
 - Mind a négy végtaggal egyszerre végezhető



Miért, mit és mivel mérünk?

- Kutatói kíváncsiságból 😊
- Szeretnénk jobban megérteni, hogy hogyan irányítja a központi idegrendszer a testmozgást.
 - Hogyan választjuk meg a megfelelő formát (sebesség, pálya, izomerő) egy adott feladat végrehajtására?
- Tudni szeretnénk, hogy egy sérülés vagy betegség hatására hogyan változik a mozgás – diagnosztikai jelentőség.
- Ha sérül a perifériás idegpálya, milyen – az egészségeshez hasonló – mesterséges mozgás hozható létre?

Miért, **mit** és mivel mérünk?

- A végtagok térbeli helyzetét a mozgás során
 - Markerek elhelyezése kiemelt anatómiai pontokon
- Az egyes végtag-szegmensek gyorsulását és elfordulását
 - Inerciális mérőegységekkel (IMU)
- A mozgásban résztvevő izmok elektromos aktivitását (electromyogram – EMG)
 - Felületi elektródákkal
- Talpnyomás értékeit (járás során)
 - Talajreakció-erő (GRF)
 - Nyomásközéppont (COP)



Miért, mit és **mivel** mérünk?

- Mozcásanalizáló rendszerek:
 - Kinematikai markerek és valamilyen érzékelő kamerarendszer
 - Kiegészíthető egyéb funkciókkal (EMG, IMU, erőplató)
- Rendelkezésünkre álló eszközök:
 - Zebris – ultrahang alapú mozgásanalizáló saját EMG-vel kiegészítve (PPKE és PTE)
 - Vicon – infravörös kamerarendszer kiegészítve Cometa MiniWave EMG-vel (PTE) és AMTI erőplatóval (OORI)



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITY OF PÉCS

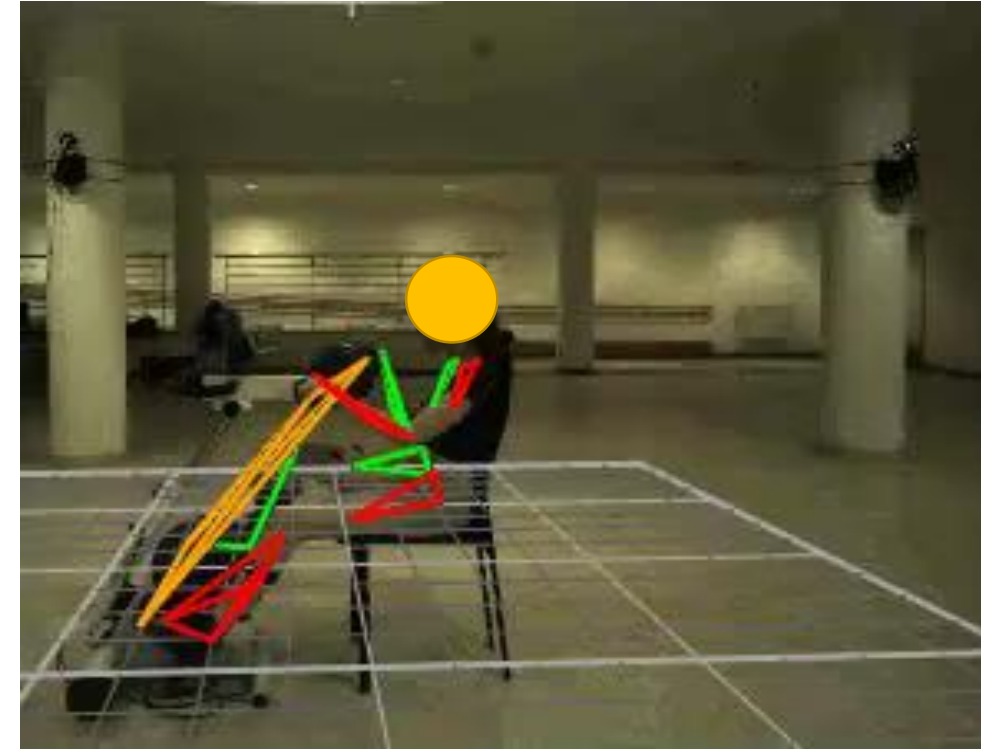
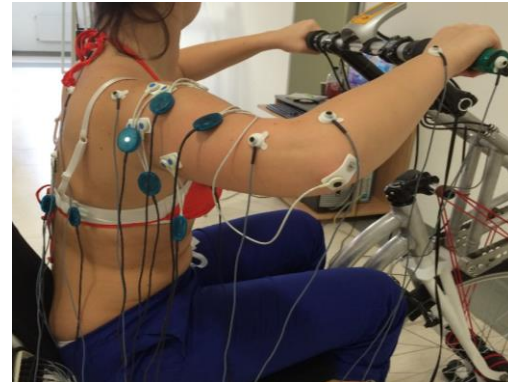


PÁZMÁNY
Pázmány Péter Katolikus Egyetem
Információs Technológiai és Bionikai Kar

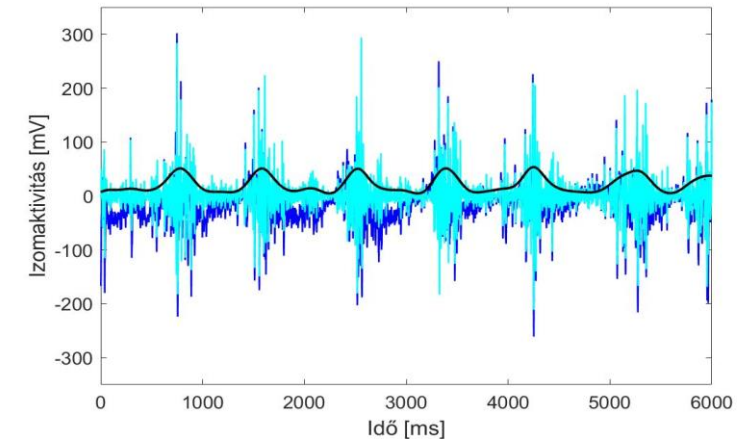
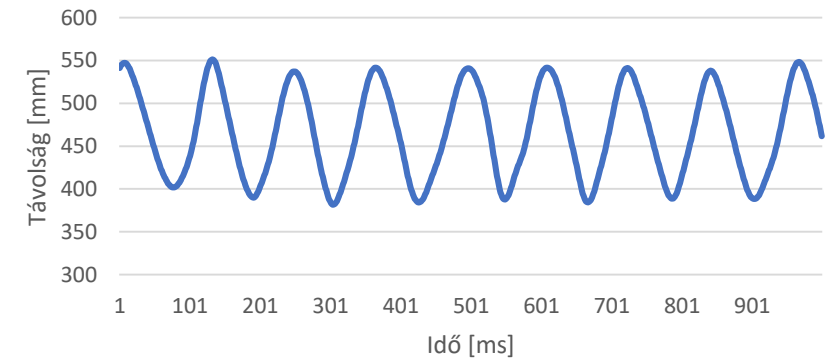


ORSZÁGOS
ORVOSI
REHABILITÁCIÓS
INTÉZET

Mérések



- 3D adatokból
 - Ízületi hajlásszögek, variancia
 - Deriválással sebesség – gyorsulás – rángás
 - Ciklusok meghatározása
 - Fázisstartás – együttmozgás
- EMG adatokból
 - Átlagos izomaktivitás egy körre levetítve
 - Izomszinergia meghatározása



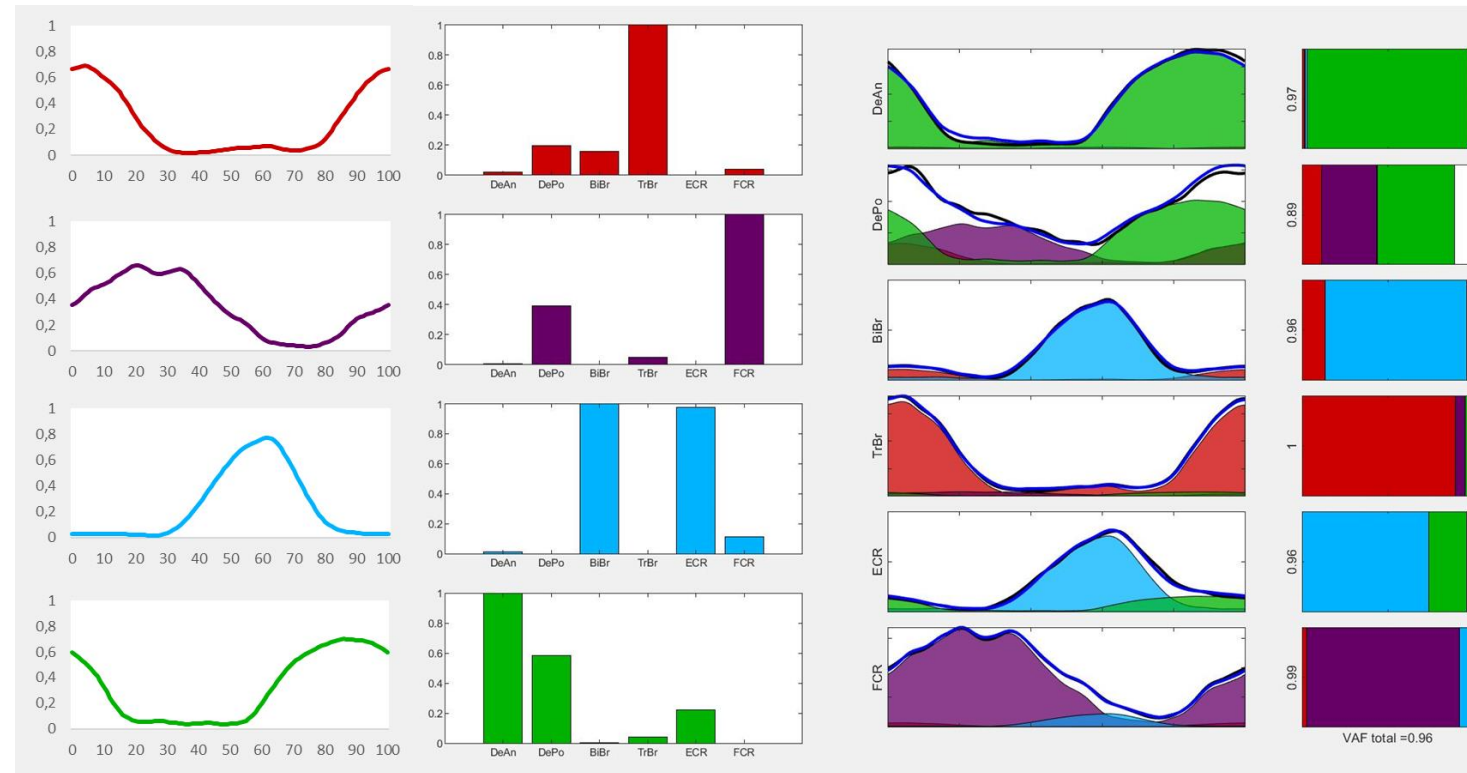
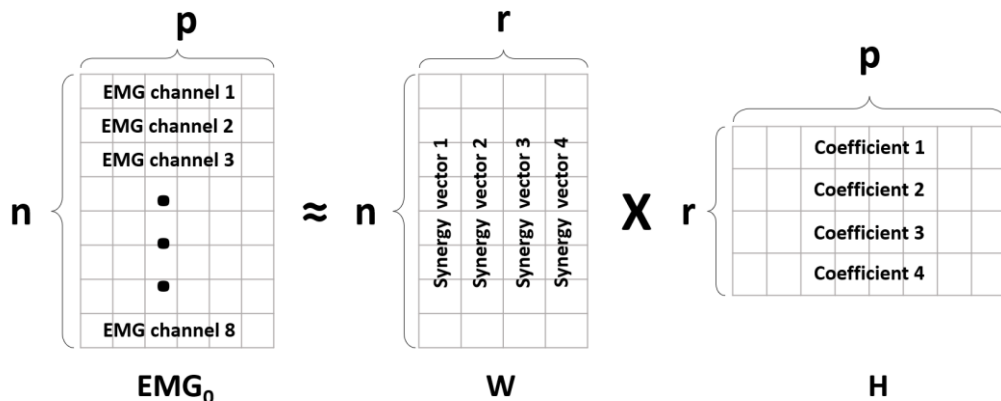
Botzheim, L. *et al.* (2019) 'Jerk decomposition during bimanual independent arm cranking', in *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*. IEEE Computer Society, pp. 264–269. doi: 10.1109/ICORR.2019.8779526.

Mravcsik, M. *et al.* (2021) 'The Effect of Crank Resistance on Arm Configuration and Muscle Activation Variances in Arm Cycling Movements', *Journal of Human Kinetics*, 76, pp. 175–189. doi: 10.2478/hukin-2021-0053.

Botzheim, L. (2021) *A változó külső kényszerek hatása a kézi kerékpározó mozgás koordinációjára*. Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem

Szinergia számítás módszere

- Az agy képes összehangoltan egyszerre szabályozni több izmot.
- Nem-negatív mátrix faktorizáció
- Súlyozott vezérlő jelek
- Legkevesebb hány jel elégséges?



Botzheim, L., Laczko, J., Torricelli, D., Mravcsik, M., L. Pons, J., & Barroso, F. O. (2021). Effect of gravity and kinematic constraints on muscle synergies in arm cycling. *Journal of Neurophysiology*, jn.00415.2020. <https://doi.org/10.1152/jn.00415.2020>
 Lee DD, Seung HS. Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization. *Nature* 401: 788–791, 1999. doi:10.1038/44565.
 Lee DD, Seung HS. Algorithms for non-negative matrix factorization. *AdvNeural InfProcess Syst* 1: 556–562, 2001.

- Szinergiák alapján (ép-testűek esetén)
 - Kapcsolat a jobb és bal kar szabályozásában
 - Alsó és felső végtagi izmokat is vezérlő szinergiák
- Mérések alapján:
 - Ritmikus kar-láb tekerés esetén pozitív változás a reflex modulációban.
 - Láb izmok vezérlése lehetséges-e a karizom bioelektromos aktivitása alapján?
- Feltételezhetően a ritmikus karmozgás erőteljes hatást hoz létre a preszinaptikus gátláson, megváltoztatva a teljes kölcsönhatást az alsó végtagokban. (Ezért használjuk a kezünket pl. gyaloglásnál).

Kaupp et al. (2018). Rhythmic arm cycling training improves walking and neurophysiological integrity in chronic stroke: the arms can give legs a helping hand in rehabilitation. *J. of Neurophysiology*, 119(3), 1095–1112.

Zhou et al. (2018). Non-gait-specific intervention for the rehabilitation of walking after SCI: role of the arms. *Journal of Neurophysiology*, 119(6), 2194–2211. <https://doi.org/10.1152/jn.00569.2017>

Bakkum et al. (2015). Effects of hybrid cycling versus handcycling on wheelchair-specific fitness and physical activity in people with long-term spinal cord injury: a 16-week randomized controlled trial. *Spinal Cord*, 53(5), 395–401. <https://doi.org/10.1038/sc.2014.237>

Ferris et al. (2006). Moving the arms to activate the legs. In *Exercise and Sport Sciences Reviews* (Vol. 34, Issue 3, pp. 113–120). <https://doi.org/10.1249/00003677-200607000-00005>

Botzheim et al. (2021). Effect of gravity and kinematic constraints on muscle synergies in arm cycling. *Journal of Neurophysiology*, jn.00415.2020. <https://doi.org/10.1152/jn.00415.2020>

Radeleczki, B. et al. (2023) 'Prediction of leg muscle activities from arm muscle activities in arm and leg cycling', *The Anatomical Record*, 306(4), pp. 710–719. doi: 10.1002/AR.25004.

- Gerincvelősérülés okai
 - Trauma: közúti baleset, építőipari baleset, magasból leesés
 - Tályog vagy tumor: nyomja a gerincvelőt
 - Degeneratív betegség
- Mi a különbség a részleges és a teljes sérülés között
 - **Részleges sérülés:**
 - Marad kapcsolat
 - Rehabilitálható
 - **Teljes sérülés:**
 - Nincs sem mozgás, sem érzés
 - Nem helyreállítható

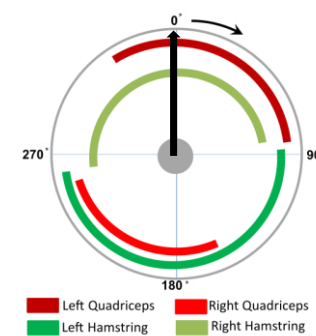
Mesterséges mozgásminták

- FES – Funkcionális elektromos stimuláció
- Bénult izmok elektromos ingerlése, meghatározott mozgáshoz
- Aktív izomerő, a fiziológiához hasonló mozgási feladat végrehajtása érdekében.
- Gerincvelősérült és stroke-os páciensek esetén
- Oxigén felvevő képesség növelése, a csökkent szív teljesítmény javítása, csonttritkulás mértékének csökkentése, izomsorvadás megállítása.
- Versenyszerű edzés esetén állóképesség javítása, izomtömeg növelése.

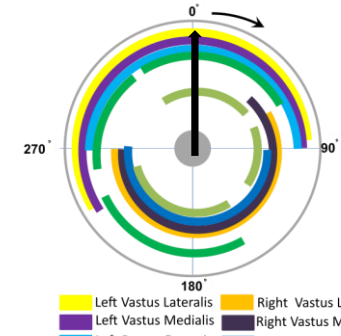


Brurok, B. *et al.* (2013) 'Effect of lower extremity functional electrical stimulation pulsed isometric contractions on arm cycling peak oxygen uptake in spinal cord injured individuals', *J. of Rehabilitation Medicine*, 45(3), pp. 254–259. doi: 10.2340/16501977-1098.
Frotzler *et al.* (2009). Effect of detraining on bone and muscle tissue in subjects with chronic spinal cord injury after a period of electrically-stimulated cycling: A small cohort study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(4), 282–285. <https://doi.org/10.2340/16501977-0321>
Hasnan *et al.* (2018). Muscle oxygenation during hybrid arm and functional electrical stimulation-evoked leg cycling after spinal cord injury. *Medicine (United States)*, 97(43). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012922>
Fodor, A. *et al.* (2022) 'Effect of FES controlled cycling training on cardiovascular and pulmonary systems in a spinal cord injured patient', *Current Directions in Biomedical Engineering*, 8(3), pp. 29–32. doi: 10.1515/CDBME-2022-2008/MACHINEREADABLECITATION/RIS

- Tréning menete:
 - Kerékpár ergométeren végzett tekerés
 - 5-5 perc bemelegítés és levezetés
 - 20 perc aktív ingerlési szakasz
- Ingerlési paraméterek:
 - Impulzusszélesség
 - Ingerlési frekvencia
 - Áramerősség
- Előre meghatározott ingerlési mintázat



Left Quadriceps Right Quadriceps
Left Hamstring Right Hamstring

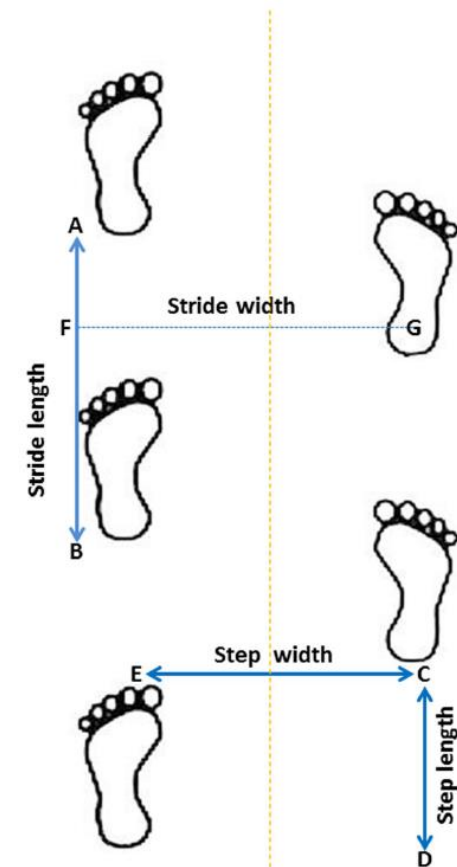


Left Vastus Lateralis Right Vastus Lateralis
Left Vastus Medialis Right Vastus Medialis
Left Rectus Femoris Right Rectus Femoris
Left Hamstring Right Hamstring

Mravcsik et al. (2016): FES driven lower limb cycling by four and eight channel stimulations – a comparison in a case study. In: the 12th Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation. Wien, Austria, Proceedings Book pp.89-93, ISBN: 978-3-900928-12-4
Laczkó J, Mravcsik M, Katona P. (2016): Control of Cycling Limb Movements: Aspects for Rehabilitation. Advances in Experimental Medicine and Biology V. 957 pp. 273-289. doi: 10.1007/978-3-319-47313-0_15.

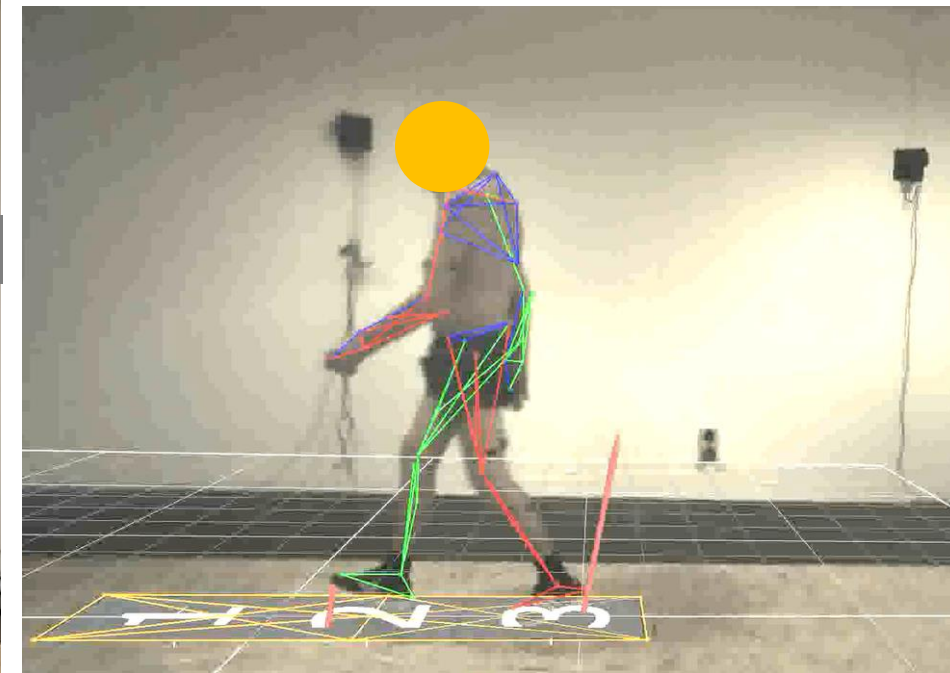
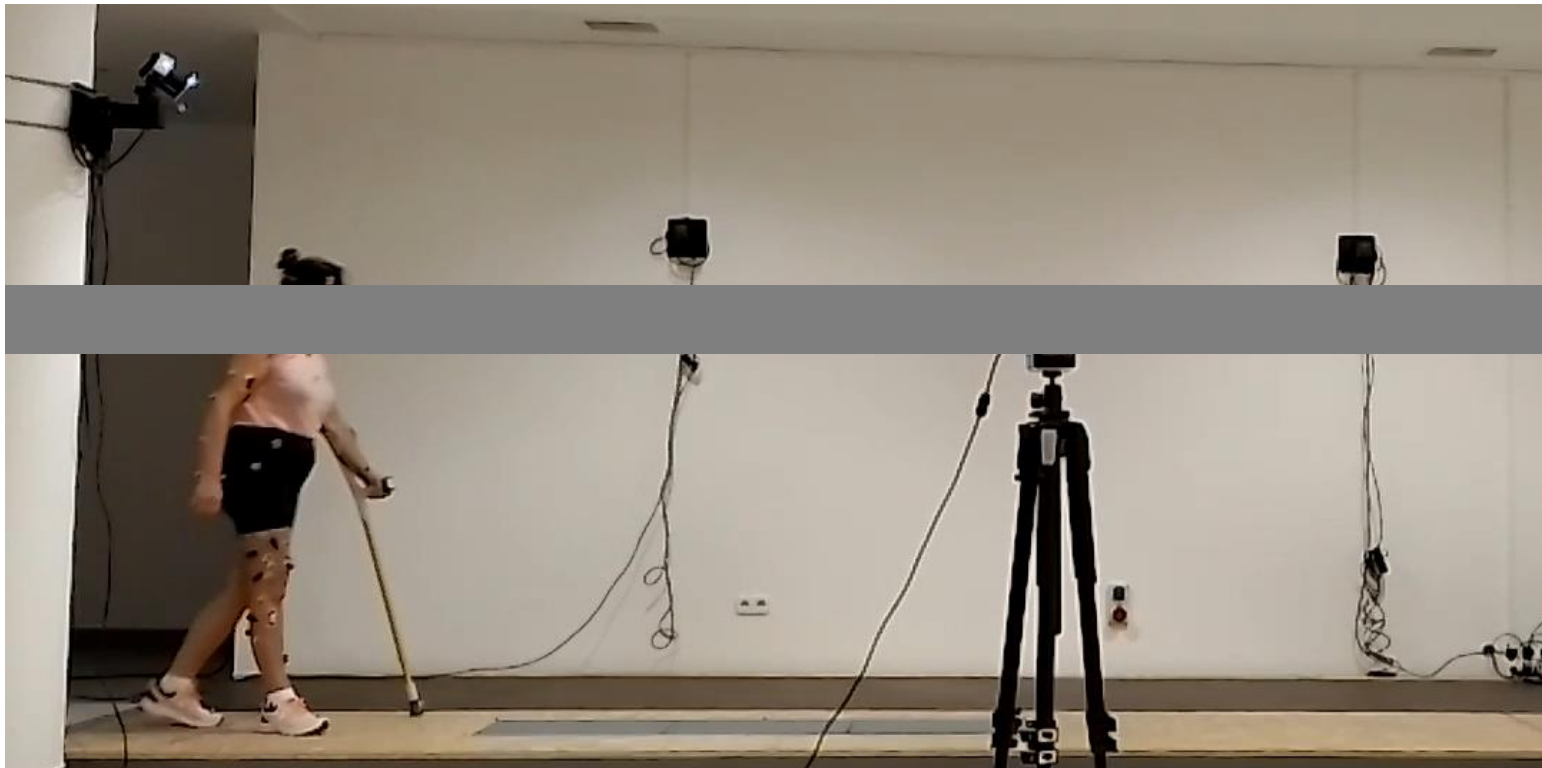
Hibrid FES hatása a járásra

- Hibrid FES: FES vezérelt kerékpározás lábbal, kiegészítve akaratlagos kézi kerékpározással
- Stroke-os és részleges gerincvelősérültek esetén is segítette a járásmintázat javulását.
- Közös projekt az OORI-val:
 - Hibrid FES hatása gerincvelősérülteknél
 - Heti két FES edzés, 12 héten keresztül.
 - Járásmintázat mérése az edzések előtt, után és három hetente.
 - Mért paraméterek:
 - Lépésidő, lépéshossz
 - Járási sebesség
 - Talajreakcióerő (GRF), Nyomásközéppont (CoP)



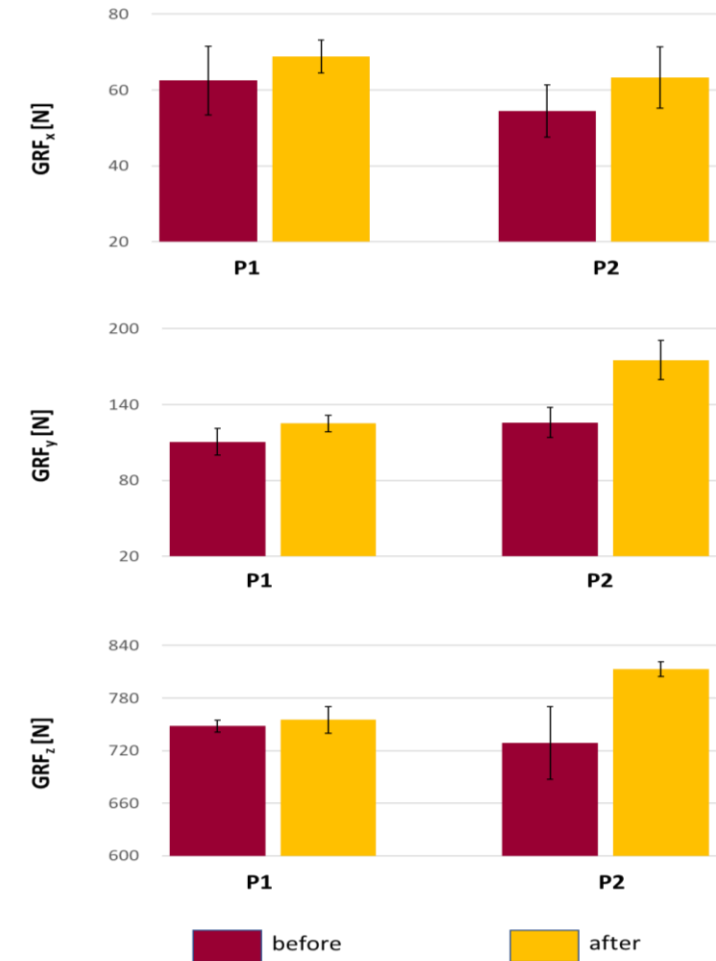
Maje, A. U., & Ibrahim, A. A. (2023). Effectiveness of an 8-week overground walking with paretic lower limb loading on spatiotemporal gait parameters and motor function among chronic stroke survivors: a protocol for randomised controlled trial. *Trials*, 24(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-07057-3>

Járás felvétel



Járásparaméterek a FES tréningek megkezdése előtt és 6 hét elteltével

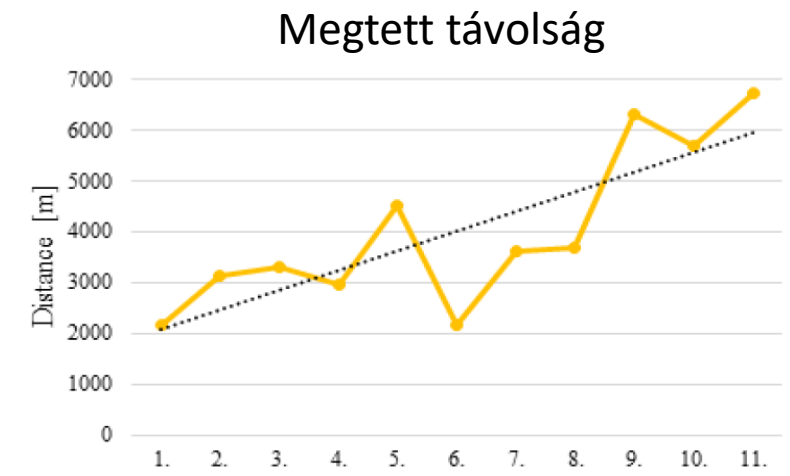
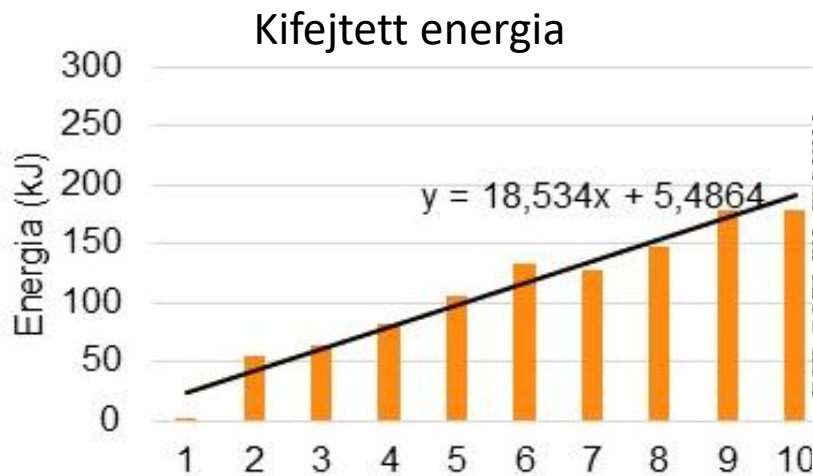
Paraméterek (átlag)	P1		P2	
Lépés idő (s)	0.66 → 0.57	↓ 13.6 %	0.76 → 0.61	↓ 19.4 %
Lépés hossz (mm)	607 → 657	↑ 8.2 %	493 → 487	↓ 1.2 %
Járási sebesség(m/s)	0.92 → 1.16	↑ 26.1 %	0.66 → 0.88	↑ 33.3 %
CoP hosszúság(mm)	108 → 108	- 0.0 %	130 → 100	↓ 23.1 %



Radeleczki, B. *et al.* (2023) 'Change of ground reaction force and center of pressure in walking of spinal cord injured patients after FES cycling training – case studies.', in *Progress in Clinical Motor Control - Neurorehabilitation II., Program Abstracts*. Chicago, p. 120.

Teljes sérülés esetén (FES terápia)

- A gerincvelősérülés következtében fellépő szövődmények (szív-és érrendszeri megbetegedések) kockázatát csökkenti, regularizálja a vérnyomást, növeli az oxigénfelvevő képességet.
- A tréningek során nő a kerékpározás sebessége, a kifejtett energia, a megtett távolság és az aktív tekerési idő is, azaz javul az izomzat állapota.



Mravcsik, M. (2022) Ciklikus végtagmozgások természetes és mesterséges szabályozása – Külső erők hatása karral végzett kerékpározás változatosságára és funkcionális elektromos stimulációval szabályozott alsó végtagi kerékpározás mozgás-rehabilitációs alkalmazása gerincvelősérülteknél. Doktori értekezés, Pécsi Tudományegyetem,
Botzheim, L. et al. (2022) 'Changes in active cycling time and distance during FES assisted cycling before and after the pandemic closure-a case study', *Artificial Organs*, 46(1), pp. 178–182. doi: 10.1111/aor.14132.
Eryey, D. M. et al. (2022) 'Funkcionális elektromos stimulációval szabályozott kerékpározás paraplégek számára', *Fizioterápia*, 4, pp. 21–28.

A FES kerékpározás, mint verseny

- Cybathlon – olimpia a bionikus segédeszközöket használó emberek számára
- A versenyszámok egyike a FES kerékpározás
- Magyar csapat két pilótával
- Heti két tréning
- Személyre szabott edzések
- Barátságos verseny (Cyberdays)



Köszönöm a figyelmet

Neurorehabilitáció és Mozgásszabályozás
Kutatócsoportunk:



Együttműködő intézményeink:

- OMINT- Országos Orvosi Rehabilitációs Intézet
- Pázmány Péter Katolikus Egyetem ITK
- Pécsi Tudományegyetem



Külföldi partnereink:

- Cajal Institute
- Shirley Ryan Ability Lab
- Medical University of Vienna

