

Funkcinės elektrinės stimuliacijos ir transkutaninės elektrinės nervų stimuliacijos poveikis nugaros smegenų pažeidimą patyrusių asmenų spastiškumui ir raumenų savybėms

Effects of Functional Electrical Stimulation and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Spasticity and Muscle Properties in Spinal Cord Injured Individuals

Karolina Keinaitė

Vilniaus universitetas
karolina.keinaite@mf.vu.lt

Kęstutis Skučas

Lietuvos sporto universitetas
kestutis.skucas@lsu.lt

Santrauka. Straipsnyje pristatomo tyrimo tikslas – ištirti ir įvertinti FES ir TENS poveikį nugaros smegenų pažeidimą patyrusių asmenų pareziinių ar pleginių kojų raumenų spastiškumui ir raumenų savybėms. Tyrimas, kuriame dalyvavo 10 asmenų, patyrusių nugaros smegenų pažeidimą, buvo atliekamas tiriamųjų namuose. Prieš ir po stimuliacijos spastiškumas ir raumenų savybės matuotos miotonometru „Myoton“. Naudojant „Compex Cefar“ ir „Compex Mini“ stimulatorius, kairiajai kojai buvo taikoma 30 min FES ir dešiniajai – 30 min TENS programos. Taikant TENS nustatyta, kad statistiškai reikšmingai padidėjo keturgalvio šlaunies raumens tampa ($p < 0,05$), kas reiškia, jog raumenų gebėjimas priešintis raumens susitraukimui ir išorinių veiksnių poveikiui padidėjo. Visi kiti matavimai neturėjo statistiškai patikimo skirtumo ($p > 0,05$). Taip pat nebuvo nustatyta statistiškai reikšmingo skirtumo tarp FES ir TENS grupių ($p > 0,05$). Nors FES ir TENS neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos elastingumui ir raumenų tonusui, bet TENS statistiškai reikšmingai padidino raumenų tampa, kas reiškia, kad spastiškumas padidėjo.

Pagrindiniai žodžiai: funkcinė elektrinė stimuliacija, transkutaninė elektrinė nervų stimuliacija, nugaros smegenų pažeidimas, spastiškumas, miotonometras.

Summary. The goal is to investigate and evaluate the effects of FES and TENS, individuals who have suffered spinal cord injury, spasticity of paresis or plethora leg muscles, and muscle characteristics. The study was conducted in the homes of the persons. Before and after stimulation, spasticity and muscle properties were measured using the myotonometer “Myoton”. Using Compex Cefar and Compex Mini stimulants, 30 min. FES

Received: 2024-02-24. Accepted: 2024-03-14

Copyright © 2023 Karolina Keinaitė, Kęstutis Skučas. Published by Vilnius University Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution Licence](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

was applied to the left leg and 30 min. of the TENS program to the right leg. The study involved 10 individuals who suffered spinal cord injury. Tens showed a statistically significant increase in the elasticity of the quadriceps thigh muscle ($p < 0.05$), which means that the ability of the muscles to resist muscle contraction and the effects of external factors increased. All other measurements did not have a statistically reliable difference ($p > 0.05$). No statistically significant difference was also found between the FES and TENS groups ($p > 0.05$). Although FES and TENS did not have a statistically significant impact on elasticity and muscle tone, tens had a statistically significant deterioration in the muscle property of elasticity, which means that spasticity increased.

Keywords: functional electrical stimulation, transcutaneous electrical nerve stimulation, spinal cord injury, spasticity, myotonometer.

Įvadas

Nugaros smegenų pažeidimas ir negalia yra fiziškai ir psichologiškai sudėtingas organizmo pokytis. 2021 m. pabaigoje mūsų šalyje gyveno apie 221 tūkst. negalią turinčių asmenų – palyginus su 2020 m., šis skaičius šiek tiek sumažėjo.

Per pirmuosius 6–12 mėnesių po sužalojimo 70 % pacientų išsivysto spastiškumas (Barolat et al., 1987; Maynard et al., 1990; Skold et al., 1999), dėl kurio sutrinka asmens fizinis aktyvumas, emocinė būklė, taip pat tai pažeidžia ekonominę, socialinę ir pažintinę gyvenimo sritis (Holtz et al., 2017). Biomechaniniu požiūriu atsiradęs spastiškumas tiesiogiai koreliuoja su raumenų savybėmis – tamprumu, elastingumu ir raumenų tonusu (Zinder ir Padua, 2011). Spastiškumas yra susijęs su ankstyvu NSP sergančių žmonių mirtingumu (Krause et al., 2009).

Transkutaninė elektrinė nervų stimuliacija (TENS) ir funkcinė elektrinė stimuliacija (FES) – elektrinės stimuliacijos formos, kurios yra saugiai taikomos rehabilitacijoje. Ralston (2013) teigė, kad dvi savaites trunkantis FES neturi aiškaus teigiamo poveikio spastiškumui. Barbosa, Glinsky, Fachin-Martins ir Harvey (2021), remdamiesi Oo (2014) tyrimu, padarė išvadą, kad taip pat neaišku, ar TENS mažina spastiškumą. Tačiau Sivaramakrishnan, Solomon ir Manikandan (2017) teigia, kad TENS ir FES, taikant skirtingomis dienomis po 30 min, sumažino spastiškumą 4 valandoms.

Taigi, tarp autorių vyrauja įvairių nuomonių ir nesutarimų dėl FES ir TENS intervencijų taikymo. Tad būtų aktualu ištirti šią metodiką, nes iki šiol nėra aiškus elektrinės stimuliacijos poveikis spastiškumui.

Tyrimo organizavimas

Dalyvauti tyrime buvo pakviesti trauminį arba netrauminį nugaros smegenų pažeidimą patyrę asmenys, kuriems yra pasireiškęs spastiškumas. Tyrime dalyvavo 10 asmenų, kurių amžius – $39,80 \pm 7,94$ metai.

Tyrimui atlikti gautas biomedicinos mokslų etikos komiteto leidimas – biomedicininio tyrimo leidimo numeris: 2022 03 14 NR MI- KIN (M)-2022-486. Tyrimas, gavus raštišką sutikimą dalyvauti jame, buvo atliekamas tiriamųjų namuose. Tiriamųjų spastiškumas ir kitos raumenų savybės matuotos naudojant „Myoton“ miotonometrą. Abiejų kojų raumenų (keturgalvio šlaunies raumens, šlaunies pritraukiamojo raumens ir dvilypio raumens)

savybės matuotos prieš ir po elektrostimuliacijos. Matavimai atlikti trigubo skenavimo režimu, kai raumens matavimas atliekamas tris kartus, o tada išvedamas atliktų matavimų vidurkis. Intervencijai buvo naudojami du „Compex“ elektrostimuliatoriai. Ant dešinės kojos taikyta TENS, ant kairės – FES procedūra. Kiekviena elektrostimuliacijos procedūra truko 30 minučių.

Tyrimo metodai. Spastiškumas ir raumenų savybės buvo matuojamos „Myoton“ miotonometru. Atlikus miotonometrinius matavimus, gauti penki skirtingi parametrai:

1. Osciliacijos dažnis (F) – juo apibūdinama raumens įtampa, raumenų, esančių funkcinės relaksacijos būsenoje, natūralios osciliacijos dažnis nusako raumens tonusą.
2. Tamprumas (S) – apibūdina raumenų gebėjimą priešintis raumens susitraukimui ar išorinių veiksnių poveikiui.
3. Klampumas (raumens virpesių logaritminis dekrementas) (D) – apibūdina raumens elastingumą, raumens gebėjimą atstatyti pirminę formą po susitraukimo ar išorinės jėgos poveikio.
4. Atsipalaidavimo laikas (R) – laikas, reikalingas atsistatyti raumens formai po valingo susitraukimo ar išorinės jėgos veiksnio pašalinimo.
5. Deformacijos ir atsipalaidavimo santykis (C) – apibūdina raumens laipsnišką ilgėjimą, suteikiant pastovų tempimą.

Tyrimo pradžioje jo dalyviai buvo supažindinti su tyrimo eiga, jiems paaiškinta procedūros eiga, atsakyti iškilę klausimai, įvertintas bendras 10 dalyvių antropometrinių duomenų vidurkis. Kaip jau buvo minėta, tiriamųjų amžiaus vidurkis – $39,80 \pm 7,94$ metų, tad KMI $23,26 \pm 3,72$ atitiko normą. Tyrimo dalyvių demografiniai duomenys: 2 moterys ir 8 vyrai, pažeidimo etiologija – 9 asmenų trauminė ir 1 dalyvio degeneracinė. Nors vienas dalyvis informavo apie spastiškumo valdymą vaistiniu preparatu – baklofenu, kurio vartoja 25 mg per dieną, jis buvo įtrauktas į tyrimą, nes vaisto dozė buvo maža ir, tiriant raumenų savybes miotonometrijos būdu, didelių skirtumų pastebėta nebuvo.

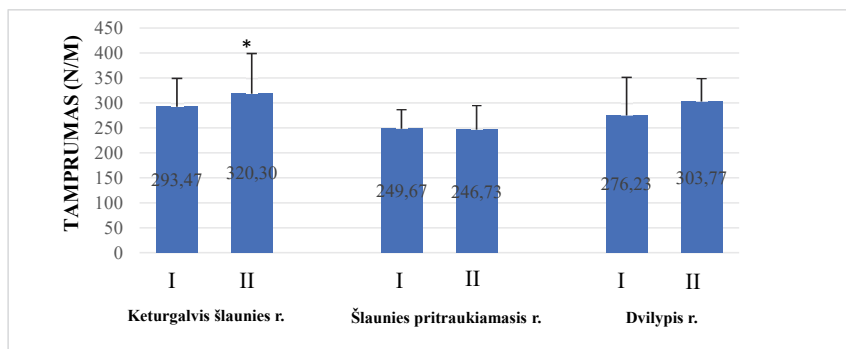
Tiriamųjų raumenų mechaninės savybės vertintos iškart po elektrostimuliacijos. Pirmiausiai tiriamųjų prašyta atsigulti ant nugaros, po keliais buvo padėtas volelis. Tada ant odos, keturgalvio šlaunies raumens vietoje, kurioje buvo atliekamas matavimas, pažymėtas taškas. Tiriamąjui buvo paprašyta valingai įtempti priekinius šlaunies raumenis. Jeigu įtempti raumens nepavykdavo, jis buvo palpuojamas ir pažymimas taškas centrinėje raumens pilvelio dalyje. Šlaunies pritraukiamajam raumeniui matuoti tiriamąjui paprašyta per kelio sąnarį sulenktą koją atvesti į šoną, tada pažymėtas matuojamas taškas. Dvilypio raumens taškui išmatuoti buvo paprašyta asmens atsigulti ant pilvo. Šio raumens pilvelio vidurio taškui išmatuoti, tiriamajam reikėjo įtempti dvilypį raumenį ir atlikti plantarinę fleksiją. Sužymėjus taškus, pradėti matavimai. Tiriamasis guli ramiai, raumenys atpalaiduoti, jokių valingų susitraukimų ar judesių kojomis neatliekama. Matavimai pradėti nuo kairės kojos, raumenų seka matuojant: keturgalvį šlaunies raumenį, šlaunies pritraukiamąjį raumenį ir dvilypį raumenį. Tokia pačia tvarka buvo išmatuoti dešinės kojos raumenys. Atliekant matavimus prietaiso tiriamasis galas statmenai glaudžiamas prie pažymėto taško ant odos paviršiaus virš raumens ir spaudžiamas į kūno paviršių, kol prietaisas parodo, kad esama tinkamoje padėtyje atlikti matavimą. Fiksuojama padėtis ir bandoma išlaikyti

ją nekintančią. Po pirmojo testavimo tiriamiesiems buvo taikyta elektrostimuliacija. Tokia pačia tvarka po TENS ir FES procedūrų atliktas antrasis testavimas.

Statistinė duomenų analizė atlikta SSPS Statistics 26 kompiuterine programa. Buvo skaičiuojami duomenų vidurkiai, standartiniai nuokrypiai, aritmetinio vidurkio standartinė paklaida. Duomenų pasiskirstymui patikrinti pagal normalųjį skirstinį taikytas Shapiro-Wilko testas. Duomenų skirstiniui netenkinus normalumo sąlygos ar imties dydžiui esant nepakankamu, buvo taikomi 21 neparametriniai statistinės analizės metodai. Dviejų nepriklausomų grupių palyginimui taikytas Mann-Whitney kriterijus, o dviejų priklausomų grupių palyginimui – Wilcoxon kriterijus. Skirtumai buvo laikomi statistiškai reikšmingi, kada $p < 0,05$.

Tyrimo rezultatai

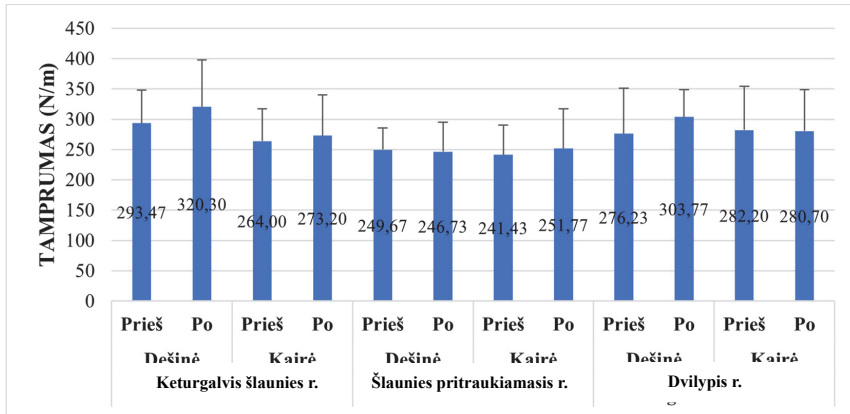
TENS poveikis raumenų spastiškumui ir kitoms raumenų savybėms. Palygintas dešinės kojos trijų raumenų tamprumas prieš taikant TENS ir po intervencijos (1 pav.). Statistiškai reikšmingi skirtumai rasti tarp pirmojo ir antrojo dešinės kojos keturgalvio šlaunies raumens testavimo ($p < 0,05$). Kitų matavimų, taip pat ir analizuojant FES metodiką, statistiškai reikšmingų skirtumų raumenyse nenustatyta ($p > 0,05$).



1 pav. Dešinės kojos raumenų tamprumo palyginimas: I – pirmasis testavimas, II – antrasis testavimas

* – statistiškai reikšmingas skirtumas; r. – raumuo

TENS ir FES metodikų palyginimas spastiškumui ir raumenų savybėms. Palygintas kairės ir dešinės kojos trijų raumenų tamprumas prieš ir po intervencijos, taikant FES kairei kojai ir TENS dešinei kojai (2 pav.). Statistiškai reikšmingų skirtumų raumenų savybėse nenustatyta ($p > 0,05$).



2 pav. FES ir TENS elektrostimuliacijos poveikis trijų raumenų tamprumui

FES – kairė koja ir TENS – dešinė koja; r. – raumuo

Rezultatų aptarimas

Šiame tyrime buvo įvertintas ir palygintas funkcinės elektrinės stimuliacijos (FES) ir transkutaninės elektrinės nervų stimuliacijos (TENS) poveikis nugaros smegenų pažeidimą patyrusių asmenų spastiškumui ir raumenų savybėms. Atliktas momentinis tyrimas, elektrostimuliacijos metodikos taikytos vieną kartą skirtingoms kojoms. Naudojant mio-tonometrą „Myoton“ prieš stimuliaciją ir po jos, buvo gauti keturgalvio šlaunies raumens, šlaunies pritraukiamojo raumens ir dvilypio raumenų savybių rezultatai. Dešimčiai asmenų tirtas atskyrų metodikų efektyvumas bei jos sugretintos. Dalyviai nepatyrė jokių nepageidaujamų reakcijų.

Išanalizavus duomenis, tarp pirmojo ir antrojo TENS testavimo nustatytas statistiškai reikšmingas dešinės kojos keturgalvio šlaunies raumens tamprumo pokytis ($p < 0,05$) (1 pav.). Didesnis tamprumas buvo pastebėtas po antrojo testavimo, ir tai reiškia, jog raumenų gebėjimas priešintis raumens susitraukimui ir išorinių veiksnių poveikiui padidėjo. Vadinasi, raumenų standumas ir spastiškumas taip pat padidėjo. Remiantis Moon ir kt. (2017) atliktu tyrimu, kuriame buvo analizuotas elektrostimuliacijos poveikis spastiškumui ir tamprumui, galima teigti, jog didėjant tamprumui, didėja ir spastiškumas. Visi kiti matavimai neturėjo statistiškai patikimo skirtumo ($p > 0,05$). 2014 metais buvo atliktos dvi sisteminės apžvalgos. Abiejose jų analizuota būtent elektrinė stimuliacija su (Thomas et al., 2019) ir be važiavimo dviračiu (Ralston et al., 2013). Nė vienoje iš jų nerasta spastiškumo sumažėjimo įrodymų. Taip pat Barbosa, Glinsky, Fachin-Martins ir Harvey (2021), remdamiesi Oo (2014) tyrimu, padarė išvadą, kad autoriaus tyrimas nėra tikslus ir iki galo neaišku, ar TENS mažina spastiškumą. Bekhet ir kt. (2019) teigė, kad po nugaros smegenų pažeidimo buvo gauta prieštaringų išvadų dėl nervų ir raumenų elektrinės

stimuliacijos ir funkcinės elektrinės stimuliacijos poveikio spastiškumui valdyti. Vis dėlto tvirtinta, kad transkutaninė elektrinė nervų stimuliacija ir funkcinė elektrinė stimuliacija yra veiksminga reabilitacijos strategija spastiškumui valdyti. Tačiau negalima tiksliai priimti rekomendacijų dėl stimuliacijos parametru, dėl didelio skaičiaus įtrauktų tyrimų, skirtingų metodikų, struktūros ir heterogeniškumo. Kita vertus, Veltink ir Ladouceur (2000) teigė, jog neaišku, koks elektrostimuliacijos metodas duoda geriausią rezultatą ir ar šis rezultatas yra geresnis už placebo efektą.

Atlikta daug tyrimų, kurie pagrindžia elektrostimuliacijos metodikų naudą, mažinant spastiškumą. Mills ir kt. (2016) teigė, kad TENS yra veiksminga spastiškumo mažinimo priemonė, tačiau Tarptautinės funkcionavimo, negalios ir sveikatos klasifikacijos veiklos srities pristatytų rezultatų rodikliai buvo geresni, kai TENS buvo taikoma kartu su aktyviu gydymu, pavyzdžiui, su fiziniais pratimais, o ne kaip vienintelė terapijos priemonė. TENS iširtas plačiau nei FES, ir keliuose tyrimuose teigiama, kad vienas TENS seansas yra veiksmingas mažinant spastiškumą, o išliekamas poveikis pailgėja po kelių seansų (Aydin et al., 2005; Rattay et al., 2003). FES trumpalaikėje perspektyvoje sumažina spastiškumą (Mirbagheri et al., 2002; Sivaramakrishnan et al., 2017), tačiau jo teigiamas poveikis ir spastiškumo slopinimo trukmė vis dar lieka neaiški (Khan et al., 2019). Taigi, atliekant ateityje panašaus pobūdžio tyrimą, būtų įdomu įtraukti ir kineziterapijos procedūras.

Vis dar išlieka nemažai neaiškumų dėl daugybės skirtingų fizioterapijos intervencijų, taikomų siekiant sumažinti spastiškumą žmonėms, turintiems nugaros smegenų pažeidimą. Taip pat nebuvo nustatyta statistiškai reikšmingo skirtumo tarp FES ir TENS grupių ($p > 0,05$) (žr. 2 pav.).

Šio tyrimo dizaine atsitiktinumo principas nebuvo numatytas, tačiau tolesniuose tyrimuose šis komponentas galėtų būti įtrauktas, norint sumažinti išorinių veiksnių įtaką. Taip pat galima būtų įtraukti kontrolinę grupę ir jai naudoti placebo efektą bei tyrimui skirti ilgesnį laikotarpį.

Išvada

Nors FES ir TENS neturėjo statistiškai reikšmingos įtakos elastingumui ir raumenų tonusui, bet TENS statistiškai reikšmingai padidino raumenų tamprumą, kas reiškia, kad spastiškumas taip pat padidėjo. Tarp funkcinės elektrinės stimuliacijos ir transkutaninės elektrinės nervų stimuliacijos reikšmingo skirtumo nenustatyta.

Literatūra

Aydin, G., Tomruk, S., Keleş, I., Demir, S. O., & Orkun, S. (2005). Transcutaneous electrical nerve stimulation versus baclofen in spasticity: clinical and electrophysiologic comparison. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 84(8), 584–592. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000171173.86312.69>

Barbosa, P. H. F. A., Glinsky, J. V., Fachin-Martins, E., & Harvey, L. A. (2021). Physiotherapy interventions for the treatment of spasticity in people with spinal cord injury: a systematic review. *Spinal cord*, 59(3), 236–247. <https://doi.org/10.1038/s41393-020-00610-4>

- Barolat, G., & Maiman, D. J. (1987). Spasms in spinal cord injury: a study of 72 subjects. *The Journal of the American Paraplegia Society*, 10(2), 35–39. <https://doi.org/10.1080/01952307.1987.11719634>
- Bekhet, A. H., Bochkezanian, V., Saab, I. M., & Gorgey, A. S. (2019). The Effects of Electrical Stimulation Parameters in Managing Spasticity After Spinal Cord Injury: A Systematic Review. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 98(6), 484–499. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001064>
- Holtz, K. A., Lipson, R., Noonan, V. K., Kwon, B. K., & Mills, P. B. (2017). Prevalence and Effect of Problematic Spasticity After Traumatic Spinal Cord Injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 98(6), 1132–1138. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.09.124>
- Khan, F., Amatyia, B., Bensmail, D., & Yelnik, A. (2019). Non-pharmacological interventions for spasticity in adults: An overview of systematic reviews. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 62(4), 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.10.00>
- Krause, J. S., Carter, R. E., & Pickelsimer, E. (2009). Behavioral risk factors of mortality after spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 90(1), 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.07.012>
- Maynard, F. M., Karunas, R. S., & Waring, W. P., 3rd (1990). Epidemiology of spasticity following traumatic spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 71(8), 566–569.
- Mills, P. B., & Dossa, F. (2016). Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for Management of Limb Spasticity: A Systematic Review. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 95(4), 309–318. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000437>
- Mirbagheri, M. M., Ladouceur, M., Barbeau, H., & Kearney, R. E. (2002). The effects of long-term FES-assisted walking on intrinsic and reflex dynamic stiffness in spastic spinal-cord-injured subjects. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 10(4), 280–289. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2002.806838>
- Moon, S. H., Choi, J. H., & Park, S. E. (2017). The effects of functional electrical stimulation on muscle tone and stiffness of stroke patients. *Journal of physical therapy science*, 29(2), 238–241. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.238>
- Ralston, K. E., Harvey, L., Batty, J., Bonsan, L. B., Ben, M., Cusmiani, R., & Bennett, J. (2013). Functional electrical stimulation cycling has no clear effect on urine output, lower limb swelling, and spasticity in people with spinal cord injury: a randomised cross-over trial. *Journal of physiotherapy*, 93(4), 237–243. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(13\)70200-5](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(13)70200-5)
- Rattay, F., Resatz, S., Lutter, P., Minassian, K., Jilge, B., & Dimitrijevic, M. R. (2003). Mechanisms of electrical stimulation with neural prostheses. *Neuromodulation: journal of the International Neuromodulation Society*, 6(1), 42–56. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1403.2003.03006.x>
- Sivaramakrishnan, A., Solomon, J. M., & Manikandan, N. (2018). Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury – A pilot randomized cross-over trial. *The journal of spinal cord medicine*, 41(4), 397–406. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1390930>
- Sköld, C., Levi, R., & Seiger, A. (1999). Spasticity after traumatic spinal cord injury: nature, severity, and location. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 80(12), 1548–1557. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(99\)90329-5](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(99)90329-5)
- Thomaz, S. R., Cipriano, G., Jr, Formiga, M. F., Fachin-Martins, E., Cipriano, G. F. B., Martins, W. R., & Cahalin, L. P. (2019). Effect of electrical stimulation on muscle atrophy and spasticity in patients with spinal cord injury – a systematic review with meta-analysis. *Spinal cord*, 57(4), 258–266. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0250-z>
- Veltink, P. H., Ladouceur, M., & Sinkjaer, T. (2000). Inhibition of the triceps surae stretch reflex by stimulation of the deep peroneal nerve in persons with spastic stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(8), 1016–1024. <https://doi.org/10.1053/apmr.2000.6303>
- Zinder, S. M., & Padua, D. A. (2011). Reliability, validity, and precision of a handheld myometer for assessing in vivo muscle stiffness. *Journal of sport rehabilitation*, 20(3), 2010_0051. <https://doi.org/10.1123/jsr.2010-0051>