

# Využití funkční elektrostimulace (FES) u dospělých neurologických pacientů: možnosti FES k ovlivnění chůze

Mgr. Klára Novotná<sup>1,2</sup>, Mgr. Jakub Jeníček, Ph.D.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd, 1. LF UK a VFN v Praze

<sup>2</sup>MS rehab, z.s.

<sup>3</sup>Klinika rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze

**Úvod:** Funkční elektrostimulace (FES) peroneálního nervu se využívá pro zlepšení chůze u široké skupiny pacientů s poškozením centrálního motoneuronu. Článek si klade za cíl popsat na základě dostupné literatury možnosti jejího využití u pacientů po cévní mozkové příhodě (CMP), poškození mozku nebo míchy nebo u pacientů s roztroušenou sklerózou (RS).

**Metodika:** Pro účely sepsání tohoto článku byla vyhledána odborná literatura pomocí databáze medicínské literatury PubMed. Vybrány byly zejména přehledové články a metaanalýzy, dále pak články přinášející srovnání různých skupin neurologických pacientů.

**Výsledky:** Dle dostupné literatury má FES pozitivní efekt na zvýšení rychlosti, výkonnosti, snížení energetické náročnosti, symetrie a stability chůze zejména u pacientů po CMP, a tento efekt může být i přetrvávající. Pozitivní efekt na rychlost chůze a její energetickou náročnost byl popsán i u pacientů s RS, míra zlepšení je však zejména u progresivních forem onemocnění omezenější. U pacientů s jinými příčinami poškození centrálního motoneuronu není evidence efektu FES dostatečná, nicméně obecně se uvádí, že výrazněji z FES profitují pacienti s neprogresivní neurologickou diagnózou.

**Závěr:** U dospělých neurologických pacientů se syndromem padající špičky (foot drop) může být FES jednou z možností, jak zlepšit kvalitativní i kvantitativní parametry chůze. V klinické praxi je však potřeba individuálně posoudit efekt na chůzi u každého jednotlivého pacienta, zejména ve srovnání s použitím peroneálního ortézování.

**Klíčová slova:** funkční elektrostimulace, chůze, foot drop, cévní mozková příhoda, roztroušená skleróza, úrazy mozku a míchy, hemiparéza.

## Use of functional electrical stimulation in adult neurological patients: how it can be used to manage gait issues

**Introduction:** Functional electrical stimulation (FES) of the peroneal nerve is used to improve gait in a large group of patients with central motor neuron disease. The aim of the article is to describe, based on available literature, how FES can be utilized in patients after stroke, brain or spinal cord injuries, or in those with multiple sclerosis (MS).

**Method:** For the purpose of writing this article, specialist literature was searched using the PubMed database. Review articles and meta-analyses as well as articles comparing various groups of neurological patients were selected.

**Results:** According to available literature, FES has a positive effect on increasing gait speed and efficiency, on reducing energy demands, and on symmetry and stability, particularly in patients after stroke, with the effect even being persistent. A positive effect on gait speed and its energy demands has also been described in patients with MS; however, the degree of improvement is more limited, particularly in progressive forms of the disease. In patients with other causes of central motor neuron disease, the evidence of FES effect is not sufficient; however, patients with a nonprogressive neurological diagnosis are generally reported to benefit from FES more significantly.

**Conclusion:** In adult neurological patients with foot drop, FES may be one of the options how to improve both qualitative and quantitative gait parameters. In clinical practice, however, the effect on gait must be assessed individually in every patient, particularly in comparison with the use of ankle-foot orthosis.

**Key words:** functional electrical stimulation, gait, foot drop, stroke, multiple sclerosis, brain and spinal cord injuries, hemiparesis.



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORKY:

Mgr. Klára Novotná, novotna.klara.k@gmail.com

Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd, 1. LF UK a VFN v Praze

Cit. zkr: Neurol. praxi 2019; 20(5): 395–399

Článek přijat redakcí: 8. 2. 2018

Článek přijat k publikaci: 23. 3. 2018

## Úvod

Funkční elektrostimulace, tedy náhrada ztracených fyziologických funkcí pomocí dráždění elektrickými impulzy, se v biomedicíně vyskytuje v mnoha oborech: např. v kardiologii – kardiostimulátor, urologii – stimulace močového měchýře nebo v neurologii – hluboká mozková stimulace bazálních ganglií u Parkinsonovy nemoci apod. V rehabilitační medicíně se ambulantně využívá elektrostimulace pro udržení trofiky denervovaných svalů nebo elektrogymnastika pro posilování svalů oslabených (Poděbradský, 2009; Mucha, 2009). Funkční elektrostimulace (FES) nebo také funkční neuromuskulární stimulace (FNS) se od předchozích liší tím, že se jedná o malé přenosné elektrostimulační zařízení, které pacientovi pomáhá v běžném životě kompenzovat funkční motorický deficit získaný centrální poruchou řízení pohybu. Nejvíce rozšířená je FES pro ovlivnění hemiparetické chůze, konkrétně pro aktivaci dorzálních flexorů (a pronátorů) hlezna během švihové fáze kroku. Vícekanálové stimulační systémy mohou při chůzi aktivovat také svaly stehna (m. quadriceps femoris, flexory kolene nebo plantární flexory hlezna) (Dujovic et al., 2017; Award et al., 2016). Postupně se rozvíjejí také možnosti FES v oblasti horní končetiny, která je však vzhledem k větší škále funkčních pohybů mnohem složitější.

Nejvíce zkušeností je s využitím FES u pacientů s poškozením centrálního motoneuronu, konkrétně se syndromem padající špičky (foot drop) na dolní končetině. Zde se využívá stimulace nervus peroneus, která aktivuje dorzální flexory hlezna (zejména m. tibialis anterior, m. extensor digitorum longus, m. extensor hallucis longus). Zároveň se však může díky aktivaci peroneálních svalů korigovat patologicky inverzní postavení nohy. Vzhledem k tomu, že se u FES při korekci foot drop stimuluje periferní nerv, je tato intervence vhodná pouze pro pacienty s poškozením centrální nervové soustavy, kteří mají intaktní periferní nervový systém. První zkušenosti s FES u neurologických pacientů popsal roku 1961 Liberson, který využil přenosný stimulátor umístěný na opasku pacienta (Liberson et al., 1961). Tento stimulátor pak během švihové fáze kroku stimuloval dorzální flexory hlezna, přičemž načasování této stimulace se řídilo patním snímačem v botě pacienta. Stejný princip využívají i současné komerčně dostupné přístroje, s tím rozdí-

lem, že malý a lehký stimulátor je umístěn na manžetě pod kolenním kloubem a k časování stimulace využívají i jiné postupy – například senzory náklonu a zrychlení bérce při chůzi. První randomizovaná studie sledující klinický přínos komerčně dostupného FES u skupiny osob po CMP byla publikována v roce 1997 (Burridge et al., 1997) a od té doby množství studií narůstá. Tato randomizovaná studie využívala Odstock Dropped Foot Stimulator, který je velmi rozšířený ve Velké Británii, ale v ČR není distribuován. Studie z nedávné doby využívají přístroje od řady dalších výrobců, zdá se tedy, že různé komerčně dostupné přístroje pro FES mají obdobný efekt na rychlost, energetickou náročnost a další parametry chůze (Miller et al., 2014), a je tedy možné zobecnit závěry publikovaných studií i pro oba v současné době v ČR dostupné stimulatory: přístroj Walkaide (Innovative Neurotronics Inc.) a přístroj Ness L300 Go (Bioness Inc.). Oba přístroje používají v zásadě analogický princip elektrostimulace, rozdíl je v počtech kanálů (WalkAide je jednokanálový přístroj, Ness L300 umožňuje v rozšířené variantě L300 Plus zároveň stimulovat i svaly v oblasti stehna) a ve způsobu časování stimulace (WalkAide využívá senzory náklonu a zrychlení bérce, Ness L300 doposud využíval klasický patní snímač v botě pacienta, v nejnovější verzi má také senzory náklonu a zrychlení). Kromě dostupných přístrojů pro FES, které využívají transkutánní elektrostimulaci (Odstock Dropped Foot Stimulator, Walkaide, Ness L300), se pro FES n. peroneus využívají také přístroje s implantovanými elektrodami (ActiGait a STIMuStep). Implantované FES přístroje se však v ČR nevyužívají.

Cílem tohoto článku bylo souhrnně popsat problematiku využití komerčně dostupných FES pro ovlivnění chůze u různých skupin dospělých neurologických pacientů s důrazem na možnosti využití v běžné klinické praxi.

## Metodika

Pro účely tohoto článku byly vybrány zejména systematické přehledy a metaanalýzy shrnující popis efektu a možností neinvazivní FES u dospělých neurologických pacientů s poškozením centrálního motoneuronu. Vyhledání bylo provedeno v září 2018 pomocí klíčových slov: funkční stimulace, chůze, syndrom padající špičky, hemiparéza, centrální paréza, cévní mozková

příhoda, roztroušená skleróza, traumatické poškození CNS (functional stimulation, functional electrostimulation, gait, walk, stroke, multiple sclerosis, traumatic brain injury, central paresis, hemiparesis, foot drop). Vyhledávání bylo omezeno na články v anglickém jazyce. Dolní hranice vyhledávání byl rok 1990. Články byly vyhledány prvním autorem (KN) a následně zkontrolovány druhým autorem (JJ). Pro účely tohoto článku byly vybrány zejména systematické přehledy a metaanalýzy shrnující popis efektu a možností neinvazivní FES u dospělých neurologických pacientů s poškozením centrálního motoneuronu. Kromě metaanalýz a systematických přehledů byly zahrnuty také články přinášející srovnání různých skupin neurologických pacientů nebo kombinace různých terapeutických metod.

## Přehled využití FES

### Využití FES u pacientů po cévní mozkové příhodě (CMP)

Předpokládá se, že zhruba 20–30 % pacientů po CMP trpí syndromem padající špičky (foot drop) (Prenton et al., 2018). V metaanalýzách byl popsán pozitivní vliv FES n. peroneus u osob s hemiparézou po CMP na zvýšení rychlosti chůze (Robinson et al., 2006; Kafri et Laufer, 2015; Dunning et al., 2015), snížení energetických nároků na chůzi (Kafri et Laufer, 2015; Dunning et al., 2015), zvýšení průměrné vzdálenosti chůze (Kafri et Laufer, 2015) a zlepšení funkční mobility (Dunning et al., 2015). Díky prodloužení délky kroku na paretické dolní končetině dochází k symetrizaci délky kroku (Hausdorff et Ring, 2008). V literatuře je popisován tzv. ortotický efekt, kdy je zlepšení přítomné pouze při používání pomůcky, nebo tzv. terapeutický efekt, kdy zlepšení chůze přetrvává různě dlouho i po vypnutí nebo sundání přístroje (Dunning et al., 2015). Tento terapeutický efekt se však vyskytuje pouze u některých pacientů. Studie sledující efekt implantované FES pomocí funkční magnetické rezonance prokázala, že pozitivní ovlivnění chůze (terapeutický efekt) přetrvává zejména u pacientů po CMP, u nichž dojde vlivem používání FES k neuroplastickým změnám v lézi postižené hemisféře. U pacientů, u kterých došlo k neuroplastickým změnám v kontralaterální hemisféře, se zlepšení chůze po vypnutí elektrostimulace ztrácí (Merhel et al., 2017). U těch pacientů, kde dojde ke zvýšení svalové síly dorzálních flexorů hlezna, je popisováno také pozitivní ovlivnění patologického svalové-

**Obr. 1.** Přístroj Walkaide (Innovative Neurotronics Inc)**Obr. 2.** Přístroj Ness L300 (Bioness Inc)

ho hypertonu lýtkových svalů (Kafri et Loufer, 2015). Díky zvýšení dorzální flexe hlezna během švihové fáze (toe clearance) kroku dochází ke snížení rizika pádu, protože nehrozí zakopnutí o špičku. Ne vždy je však toto zkvalitnění stereotypu během švihové fáze pacienty subjektivně vnímáno (Robenson, Eng et Hung, 2017).

Možnost zlepšování motorických funkcí u osob po prodělané CMP je komplexní proces, kde se projevuje vliv genetických dispozic, patofyziologie onemocnění, sociodemografických faktorů a klinického průběhu CMP. FES může být pro některé pacienty jednou z možností na pod-

poru obnovení funkce a pro zvýšení svalové síly paretické končetiny (Wist, Clevaz et Sattelmayer, 2016). V praxi se pak může kombinovat s dalšími terapeutickými možnostmi. Při kombinaci FES a běžných fyzioterapeutických cvičení je dosahováno lepších výsledků (Sabut et al., 2011). Výraznější možnost zlepšení je u subakutních než chronických pacientů. Ve skupině 18 pacientů po 12 týdnech konvenční fyzioterapie po CMP doplněné o FES došlo u subakutních pacientů po CMP ke zvýšení rychlosti chůze o 29% oproti 17% zlepšení rychlosti u chronických. Snížení energetické náročnosti chůze při použití FES bylo zaznamenáno až o 73% u subakutních pacientů a o 46% u chronických pacientů po CMP (Sabut et al., 2016).

Studie srovnávající trénink chůze na páse (treadmill) s podporou tělesné váhy pacienta bez a s využitím stimulace zaznamenala u skupiny osmi pacientů, kteří absolvovali trénink kombinující chůzi na páse s odlehčením váhy a využitím FES, výraznější zvýšení rychlosti chůze a zlepšení symetrie délky kroku (Lindquist et al., 2007). Podobná studie srovnávající skupinu pacientů trénujících třikrát týdně na zařízení Lokomat, kde část pacientů měla navíc ještě FES, popisuje u pacientů s FES výraznější prodloužení délky kroku (Bae et al., 2014). Také u běžného tréninku chůze může FES významně pomoci (Jeníček et al., 2018). Využití FES také zvyšuje efekt botulotoxinu pro léčbu spasticity dolních končetin (Johnson et al., 2002). Díky FES může být dosaženo dostatečného množství opakování pohybu, které není vždy možné paretickou končetinou pouhým aktivním pohybem pacienta provést (Lang et al., 2017). Zároveň se jedná o cílený funkčně specifický trénink chůze. Dochází tak ke splnění předpokladů efektivní neurehabilitace, kdy může dojít k podpoře neuroplasticity, reedukaci pohybu a zlepšení funkce (Kafri et Laufer, 2015). Stále však chybí dostatečné množství větších studií, které by terapeutický efekt FES prokázaly. Metaanalýza z roku 2018 zahrnující osm studií s daty od 464 pacientů neprokázala významnější efekt FES na rychlost chůze oproti běžné peroneální ortéze. U obou pomůcek došlo po 4 až 6 týdnech užívání ke zvýšení rychlosti chůze (Prenton et al., 2018).

### Využití FES u osob s roztroušenou sklerózou (RS)

Stále více je rozšířeno užívání FES u osob s RS. Metaanalýza shrnující výsledky dosud

publikovaných studií popisuje u této skupiny pacientů především ortotický efekt, který se projeví jako signifikantní zlepšení výkonu v krátkých testech chůze (10metrový test nebo u RS často používaný test chůze na 25 stop), v delších testech chůze (2 nebo 6minutový test chůze) nebyl efekt zlepšení statisticky významný (Miller et al., 2017). Podobně také přehledový článek z roku 2017 popisuje pouze ortotický efekt u osob s RS (Springer et Khamis, 2017). I ti pacienti, kteří významně nezvyšují svou rychlost, však mohou s neurostimulátorem dosáhnout zlepšení kvality chůze (van der Linden et al., 2014), které se projeví jako snížení energetické náročnosti chůze (Paul et al., 2018; Miller et al., 2016; Khurona et al., 2017). Možnost zlepšení rychlosti chůze pomocí FES je zejména u osob s progresivní formou RS omezená a cílené posilovací cvičení může být efektivnější (Baree et al., 2009). Vzhledem k velké variabilitě klinické symptomatologie u RS je vždy vhodné stimulaci u osob s RS individuálně vyzkoušet (Novotná et Konvalinková, 2017).

### Využití FES u osob s poškozením míchy

U osob po poškození míchy nejsou vzhledem k menšímu množství pacientů, pro které je tato možnost vhodná, k dispozici větší randomizované klinické studie. V rehabilitaci se různé typy FES využívají u pacientů s kompletní i nekompletní míšní lézí k podpoře udržení a zvýšení svalové hmoty (Albertin et al., 2018), podpoře kostní hustoty (Craven et al., 2017), zlepšení funkce horních a dolních končetin, podpoře motorického učení, prevenci kontraktur a dekubitů, podpoře odkašlávání, prevenci ortostatické hypotenze a k ovlivnění spastického hypertonu (Bersch et al., 2015). Většinou se však nejedná o komerčně dostupné jednodokanálové stimulatory, jako je FES pro n. peroneus (k ovlivnění syndromu foot drop), ale o vícekanálové stimulatory, které navíc aktivují flexory nebo extenzory kolene nebo kyčle. FES se pak využívá ve formě tréninku chůze s odlehčením váhy těla (Lam et al., 2007) nebo jako trénink šlapání na motomedu (Sadowsky et al., 2013). FES n. peroneus je možné využít u osob s nekompletní míšní lézí – paraparézy, kteří mají neporušený periferní nerv. Pro tyto pacienty může být trénink chůze kombinující FES n. peroneus s odlehčením váhy těla prospěš-

ný pro zlepšení funkční mobility. U některých pacientů je samotná FES pro zlepšení chůze nedostatečná a je potřeba doplnit ortézami pro stabilizaci kolenních kloubů, případně berlemi. Taková možnost tréninku chůze je vhodná pro motivované pacienty s kompletní lézí míchy na úrovni T9 nebo s nekompletní míšní lézí (Lam et al., 2007).

## Efekt FES u různých neurologických diagnóz

Výraznějšího efektu je možné s pomocí FES dosáhnout u neurologických diagnóz s neprogredujícím neurologickým nálezem. Studie srovnávající ortotický efekt FES u „neprogresivních“ neurologických diagnóz (jako je CMP, traumatické poškození míchy, pacienti po kraniotraumatu nebo dospělá osoba s DMO) a u „progresivních“ onemocnění (jako je RS) bylo po třech měsících užívání FES dosaženo zlepšení rychlosti o 17 % u „neprogresivních“ a o 12 % u „progresivních“. Po delší době užívání se průměrný efekt na rychlost chůze může u „neprogresivních“ dále zvyšovat (28 %) zatímco dlouhodobý efekt na rychlost chůze u „progresivních“ onemocnění není tak výrazný (7,9 %) (Stein et al.). U diagnóz, jako jsou stavy po CMP, DMO nebo traumatickém poškození, je možné dosáhnout zvýšení volní kontrakce až o 48 %, zatímco u „progresivních“ onemocnění (jako je RS) bylo zaznamenáno zvýšení maximální volní kontrakce o 17 % (Everaert et al., 2010). Pacienti s CMP také subjektivně vnímají větší efekt na zvýšení kvality života a sebevědomí než osoby s RS, ačkoli u obou skupin pacientů byl přítomen objektivní efekt na rychlost chůze (Barrett et Taylor, 2010).

V kvalitativní studii hodnotící subjektivně vnímaný přínos u různých skupin neurologických pacientů (78 CMP, 15 RS, 6 osob s míšním poraněním, 5 osob s kraniotraumatem a 3 dospělí pacienti s DMO) se probandi shodovali na těchto přínosech a důvodech pro užívání FES: snížení námahy při chůzi, zvýšení jistoty při chůzi, schopnost ujit delší vzdálenost, zrychlení

chůze a více nezávislosti při chůzi. Nejčastější udávané důvody, proč pacienti přestali užívat FES, byly: obtíže s umístěním elektrod, zvýšení spasticity, vnímání elektrického stimulu jako příliš obtěžující. Někteří také přestali užívat FES díky zlepšení mobility, jiní zase naopak vlivem zhoršení chůze (Taylor et al., 1999). Při vyhodnocení po 14 letech 33 osob (z počtu 126, kteří zahájili používání v roce 1999) stále užívalo stimulator. Dlouhodobé užívání FES se ukázalo i jako ekonomicky efektivní řešení syndromu foot drop (Taylor et al., 2013).

Výraznější zlepšení rychlosti chůze při používání FES je patrné u pacientů s CMP i RS, kteří chodí v 10metrovém testu chůze rychlostí pomalejší než 0,8 ms/s (odpovídá omezené mobilitě v komunitě podle funkční klasifikace dle Perryové). U osob, které chodí rychleji, může dojít při užívání FES také ke zvýšení rychlosti, ale méně výraznému (Miller et al., 2016; Bulley et al., 2011). Kromě rychlosti chůze závisí efekt FES také na schopnosti odrazu paretické dolní končetiny (Awad et al., 2016).

## Porovnání FES s využitím ortéz

FES je považována za terapeutickou alternativu k standardně používané peroneální ortéze (ankle foot orthosis). Metaanalýza z roku 2018, která vychází z osmi randomizovaných studií, shrnuje, že FES a peroneální ortéza má srovnatelný vliv na rychlost chůze u osob po CMP (Prenton et al., 2018). U FES je ovšem velká variabilita v efektu na chůzi: někteří pacienti profitují z FES výborně a jiní téměř vůbec. V malé studii u skupiny pacientů po CMP, kteří chodili na traedmill, kde se neočekávaně objevovaly překážky, prokázala FES lepší výsledky než peroneální ortéza (van Swigehen et al., 2012). To může být způsobeno faktem, že většina peroneálních ortéz je pouze pasivní pomůckou, která nedovoluje aktivní pohyb v hlezenním kloubu. Při subjektivním hodnocení peroneálních ortéz oceňují uživatelé především zlepšení stability, zvýšení jistoty při chůzi a snížení strachu z pádu. Negativně

však hodnotí rigidnost ortézy a fakt, že v botě může nepříjemně tláčit a také, že ortézy nejsou vhodné do každé obuvi. U FES pozitivně hodnotí zvýšení vzdálenosti, kterou je pacient schopen ujit, a snížení námahy. Negativně pak hodnotí nepříjemné pocity při stimulaci. Obě skupiny: uživatelé ortézy i uživatelé FES se shodovali na snížení namáhavosti při chůzi, zlepšení chůze, snížení počtu pádů a zlepšení mobility v terénu (Bulley et al., 2015; Bulley et al., 2011). Limitem užití FES může být také rychlý nástup svalové únavy při nesprávném nastavení neurostimulátoru, vzácně také podráždění kůže pod elektrodami. Proto je důležité správně nastavit parametry stimulace. Většina přístrojů využívá bifázický proud o délce trvání 300–600 µs a frekvenci 20–50 Hz (Kafri et Laufer, 2015). Konkrétní parametry stimulace jsou vždy individuálně nastaveny proškoleným klinickým specialistou. Vlastní intenzitu stimulace si může uživatel podle potřeby měnit.

Při porovnání subjektivně vnímaných preferencí dává většina neurologických pacientů, kteří měli možnost vyzkoušet obě pomůcky, přednost FES před AFO, protože chůzi s FES vnímají jako přirozenější (Kafri et Laufer, 2015).

## Závěr

Na základě dostupné literatury může být u dospělých neurologických pacientů se syndromem padající špičky (foot drop) FES jednou z možností, jak zlepšit kvalitativní i kvantitativní parametry chůze (rychlost a výkonnost chůze, délku kroku apod.). Studie dokládají pozitivní efekt FES u osob po CMP, stejně jako u osob s neurodegenerativním onemocněním (jako je RS) na zvýšení rychlosti chůze a zlepšení funkční mobility. Nejedná se však o terapeutické řešení pro všechny pacienty. Důležitým předpokladem je schopnost chůze, zachování neutrálního postavení v hlezenním kloubu a dostatečné kognitivní schopnosti k ovládnutí přístroje. V klinické praxi je však potřeba individuálně vyzkoušet a posoudit efekt na chůzi u každého jednotlivého pacienta.

## LITERATURA

1. Albertin G, Kern H, Guidolin D, Porzionato A, Rambaldo A, Caro R, Piccione F, Marcante A, Zamplari S. Two years of functional electrical stimulation by large surface electrodes for denervated muscles improve skin epidermis in SCI. *European Journal of Translational Myology* 2018; 28(1).
2. Awad LN, Reisman DS, Pohlig RT, Binder-Macleod SA. Reducing the cost of transport and increasing walking

- distance after stroke: a randomized controlled trial on fast locomotor training combined with functional electrical stimulation. *Neurorehabil Neural Repair* 2016; 30(7): 661–670.
3. Bae YH, Ko YJ, Chang WH, Lee JH, Park YJ, Ha HG, Kim IH. Effects of robot-assisted gait training combined with functional electrical stimulation on recovery of locomotor mobili-

- ty in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci* 2014; 26(12): 1949–1953.
4. Barrett CL, Mann GE, Taylor JE, Strike P. A randomized trial to investigate the effects of functional electrical stimulation and therapeutic exercise on walking performance for people with multiple sclerosis. *Mult Scler* 2009; 15(4): 493–504.

5. Barrett C, Taylor P. The effects of the odstock drop foot stimulator on perceived quality of life for people with stroke and multiple sclerosis. *Neuromodulation*, 2010; 13(1): 58–64.
6. Bersch I, Tesini S, Bersch S, Frotzeler A. Functional electrical stimulation in spinal cord injury: clinical evidence versus daily practice. *Artificial Organs* 2015; 39(10): 849–854.
7. Bulley C, Mercer TH, Hooper JE, Cowan P, Scott S, van der Linden ME. Experiences of functional electrical stimulation (FES) and ankle foot orthoses (AFOs) for foot-drop in people with multiple sclerosis. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2015; 10(6): 458–467.
8. Bulley C, Shiels J, Wilkie K, Salisbury L. User experiences, preferences and choices relating to functional electrical stimulation and ankle foot orthoses for foot-drop after stroke. *Physiotherapy* 2011; 97(3): 226–233.
9. Burridge J, Taylor PN, Hagan SA, Wood DE, Swain ID. The effects of common peroneal stimulation on the effort and speed of walking: a randomized controlled trial with chronic hemiplegic patients. *Clinical Rehabilitation* 1997; 11(3): 201–210.
10. Craven BC, Giangregorio LM, Alavinia SM, Blencowe LA, Desai N, Hitzig SL, Masani K, Popovic MR. Evaluating the efficacy of functional electrical stimulation therapy assisted walking after chronic motor incomplete spinal cord injury: effects on bone biomarkers and bone strength. *J Spinal Cord Med* 2017; 40(6): 748–758.
11. Dujovic SD, Malesevic J, Malesevic N, Vdakovic AS, Bijelic G, Keller T, Konstantinovic L. Novel multi-pad functional electrical stimulation in stroke patients: A single-blind randomized study. *NeuroRehabilitation* 2017; 41(4): 791–800.
12. Dunning K, O Dell MW, Kluding P, McBride K. Peroneal stimulation for foot drop after stroke: a systematic review. *Am J Phys Med Rehabil* 2015; 94(8): 649–64.
13. Everaert DG, Thompson AK, Chong SL, Stein RB. Does functional electrical stimulation for foot drop strengthen corticospinal connections? *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24(2): 168–177.
14. Hausdorff JM, Ring H. Effects of a new radio frequency-controlled neuroprosthesis on gait symmetry and rhythmicity in patients with chronic hemiparesis. *Am J Phys Med Rehabil* 2008; 87(1): 4–13.
15. Jeníček J, Drábová Z, Janatová M, Vitězník M, Švestková O. Pilotní studie efektu ambulantní funkční peroneální stimulace. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* 2018; 81(1): 81–85.
16. Johnson CA, Wood DE, Swain ID, Tromas AM, Strike P, Burridge JH. A pilot study to investigate the combined use of botulinum neurotoxin type a and functional electrical stimulation, with physiotherapy, in the treatment of spastic dropped foot in subacute stroke. *Artif Organs* 2002; 26(3): 263–266.
17. Kafri M, Laufer Y. Therapeutic effects of functional electrical stimulation on gait in individuals post-stroke. *Annals of Biomedical Engineering* 2015; 43(2): 451–466.
18. Khurana SR, Beranger AG, Felix ER. Perceived exertion is lower when using a functional electrical stimulation neuro-prosthesis compared with an ankle-foot orthosis in persons with multiple sclerosis: a preliminary study. *Am J Phys Med Rehabil* 2017; 96(3): p. 133–139.
19. Lam T, Eng JJ, Wolfe DL, Hsieh JT, Whittaker M, the SCIRE research team. A systematic review of the efficacy of gait rehabilitation strategies for spinal cord injury. *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 2007; 13(1): 32–57.
20. Lang CE, MacDonald JR, Reisman DS, Boyd L, Jacobson Kimberley T, Schindler-Ivans SM, Hornby TG, Ross SA, Scheets PL. Observation of amounts of movement practice provided during stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2009; 90(10): 1692–1698.
21. Liberson WT, Holmquist HJ, Scot D, Dow M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1961; 42: 101–105.
22. Lindquist AR, Prado CL, Barros RM, Mattioli R, da Costa PH, Salvini TF. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation: effects on poststroke gait. *Phys Ther* 2007; 87(9): 1144–54.
23. Merkel C, Hausman J, Hopf JM, Heinze HJ, Buentjen L, Schoenfeld MA. Active prosthesis dependent functional cortical reorganization following stroke. *Sci Rep* 2017; 7(1): 8680.
24. Miller L, McFadyen A, Lord AC, Hunter R, Paul L, Rafferty D, Bowers R, Mattison P. Functional electrical stimulation for foot drop in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis of the effect on gait speed. *Arch Phys Med Rehabil* 2017; 98(7): 1435–1452.
25. Miller L, Rafferty D, Paul L, Mattison P. A comparison of the orthotic effect of the Odstock Dropped Foot Stimulator and the Walkaide functional electrical stimulation systems on energy cost and speed of walking in multiple sclerosis. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2015; 10(6): 482–485.
26. Miller L, Rafferty D, Paul L, Mattison P. The impact of walking speed on the effects of functional electrical stimulation for foot drop in people with multiple sclerosis. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2016; 11(6): 478–83.
27. Mucha C. Vplyv funkčnej elektrostimulácie (FES) na regeneráciu motorických výkonných parametrov po operačnej rekonštrukcii anteromedialnej nestability kolena. *Rehabilitácia* 2009; 46(3): 178–184.
28. Novotná K, Konvalinková R. Využití funkční elektrostimulace pro ovlivnění chůze u pacientů s roztroušenou sklerózou. *Rehabilitační a Fyzikální Lékařství* 2017; 24 (3): 170–177.
29. Paul L, Rafferty D, Young S, Miller L, Mattison P, McFadyen A. The effect of functional electrical stimulation on the physiological cost of gait in people with multiple sclerosis. *Mult Scler* 2008; 14(7): 954–961.
30. Poděbradský J. Fyzikální terapie. Praha: Grada publishing a.s. 2009: 200.
31. Prenton S, Hollands KL, Kenney LPJ, Kenney LPJ, Onmanee P. Functional electrical stimulation and ankle foot orthoses provide equivalent therapeutic effects on foot drop: A meta-analysis providing direction for future research. *Journal of Rehabilitation Medicine* 2018; 50(2): 129–139.
32. Robbins SM, Houghton PE, Woodbury MG, Brown JL. The therapeutic effect of functional and transcutaneous electric stimulation on improving gait speed in stroke patients: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; 87(6): 853–859.
33. Robertson JA, Eng JJ, Hung C. The effect of functional electrical stimulation on balance function and balance confidence in community-dwelling individuals with stroke. *Physiother Can* 2010; 62(2): 114–119.
34. Sabut SK, Sikdar C, Kumar J, Mahadevappa M. Improvement of gait & muscle strength with functional electrical stimulation in sub-acute & chronic stroke patients. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011; 2011: 2085–2088.
35. Sadowsky CL, Hammond HR, Strohl AB, Commeyan PK, Eby SA, Damiano DL, Wingert JR, Bea KT, McDonald JW. Lower extremity functional electrical stimulation cycling promotes physical and functional recovery in chronic spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine* 2013; 36(6): 623–631.
36. Springer S, Khamis S. Effects of functional electrical stimulation on gait in people with multiple sclerosis – a systematic review. *Mult Scler Relat Disord* 2017; 13: 4–12.
37. Springer S, Laufer Y, Becher M, Vatine JJ. Dual-channel functional electrical stimulation improvements in speed-based gait classifications. *Clin Interv Aging* 2013; 8: 271–277.
38. Stein RB, Everaert DG, Thompson AK, Chong SL, Whittaker M, Robertson J, Kuether G. Long-term therapeutic and orthotic effects of a foot drop stimulator on walking performance in progressive and nonprogressive neurological disorders. *Neurorehabil Neural Repair* 2010; 24(2): 152–167.
39. Taylor PN, Burridge JH, Dunkerley AL, Wood DE, Norton JA, Sigleton C, Swain ID. Clinical use of the Odstock dropped foot stimulator: its effect on the speed and effort of walking. *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80(12): 1577–1583.
40. Taylor P, Humphreys L, Swain I. The long-term cost-effectiveness of the use of Functional Electrical Stimulation for the correction of dropped foot due to upper motor neuron lesion. *J Rehabil Med* 2013; 45(2): 154–160.
41. van der Linden ML, Scott SM, Hooper JE, Cowan P, Mercer TH. Gait kinematics of people with multiple sclerosis and the acute application of functional electrical stimulation. *Gait Posture* 2014; 39(4): 1092–1096.
42. van Swigchem R, van Duijnhoven HJ, den Boer J, Guerts AC, Weerdesteijn V. Effect of peroneal electrical stimulation versus an ankle-foot orthosis on obstacle avoidance ability in people with stroke-related foot drop. *Phys Ther* 2012; 92(3): 398–406.
43. Wist S, Clivaz J, Sattelmayer M. Muscle strengthening for hemiparesis after stroke: a meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med* 2016; 59(2): 114–24.