proLékaře.cz | 20.8.2025

doi: 10.14735/amcsnn2019621

Neurorehabilitace poruch chůze s využitím funkční elektrické stimulace – aktuální poznatky z randomizovaných klinických studií

Neurorehabilitation of gait impairment using functional electrical stimulation – current findings from randomized clinical trials

Autoři deklarují, že v souvislosti s předmětem studie nemají žádné komerční zájmy.
The authors declare they have no potential conflicts of interest concerning drugs, products, or services used in the study.
Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.
The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE "uniform requirements" for biomedical papers.

K. Novotná[1,2], J. Jeníček[3], M. Janatová[3,4], E. Kubala Havrdová[1], Y. Angerová[3]

[1] Neurologická klinika a Centrum klinických neurověd, 1. LF UK a VFN v Praze
[2] MS rehab z.s.
[3] Klinika rehabilitačního lékařství 1. LF UK a VFN v Praze
[4] Společné pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI a ČVUT a 1. LF UK, Praha

✉
Mgr. Klára Novotná
Neurologická klinika
a Centrum klinických neurověd
1. LF UK a VFN
Kateřinská 468/30
120 00 Praha Nové Město
e-mail: novotna.klara.k@gmail.com

Přijato k recenzi: 5. 6. 2019
Přijato do tisku: 13. 9. 2019

Souhrn
Systematický rešeršní článek popisuje zkušenosti s využitím funkční elektrické stimulace (FES) v neurorehabilitaci. V rámci neurorehabilitace se FES využívá především k terapeutickému ovlivnění poruch chůze pomocí stimulace dorzálních flexorů hlezna. Pro účely rešerše bylo vyhledáno 510 článků, z nichž 42 bylo podrobněji analyzováno. Na základě dostupných studií využívajících FES pro zlepšení funkce dolních končetin se zdá, že FES může představovat obohacení tradičních terapeutických postupů (jako jsou cvičení na neurofyziologickém podkladě, trénink chůze a stability). V některých případech pak může FES vést k výraznějšímu zlepšení funkčního stavu než tradiční terapie.

Abstract
The review article summarizes results from studies with functional electrical stimulation (FES) in neurorehabilitation. In neurorehabilitation, FES is used mostly for therapeutic improvement of the swing phase of the gait cycle by stimulation of dorsal flexor muscles. For this review article, 510 papers were screened and 42 papers were eligible for a more detailed analysis. Based on the available studies, it seems that FES may constitute an enrichment of traditional therapeutic practice (such as exercise based on neurophysiological principles, gait and balance training). In some patients, FES may result in improved functional status rather than conventional therapy.

Klíčová slova
funkční elektrická stimulace – chůze – neurorehabilitace – cévní mozková příhoda – roztroušená skleróza

Key words
functional electrical stimulation – gait – neurorehabilitation – stroke – multiple sclerosis

Studie byla podpořena z grantu Progress Q2/LF 1.

proLékaře.cz | 20.8.2025

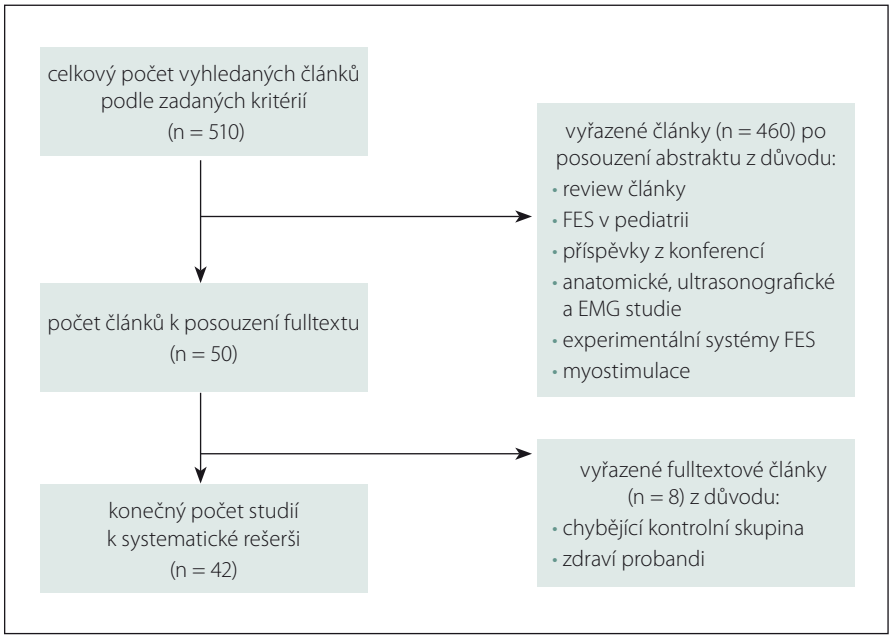
Úvod

Metoda funkční elektrostimulace (FES) pro podporu nebo nahrazení ztracené pohybové funkce byla poprvé navržena Libersonem v roce 1961. Ten popsal stimulaci peroneálního nervu elektrickými impulzy jako podporu chybějící dorzální flexe hlezna (tzv. drop foot syndrom) u pacienta s hemiplegií po CMP. Stimulace byla aplikována povrchovými elektrodami a byla synchronizována se švihovou fází kroku díky patnímu tlakovému spínači v botě [1]. Termín „funkční elektrická stimulace" uvedli v roce 1962 Moe a Post a brzy se objevily i první komerční přístroje [2]. Metoda byla v 70. a 80. letech díky elektrostimulátorům Tesla LSN (Tesla, Hloubětín, Česká republika) dostupná i v ČR. Přístroj se však v 90. letech přestal vyrábět a zkušenosti s FES se tak u nás dále příliš nerozvíjely [3]. V zahraničí byla metoda používána dál, k masivnímu rozšíření ale ještě řadu let nedošlo. S její aplikací byla spojena řada problémů technického a praktického charakteru, především složitost upevnění elektrod a propojovacích kabelů, dále spolehlivost, správné načasování a dyskomfort uložení patního snímače, často nedostatečný iniciální kontakt paty pacienta s podložkou, velikost, váha a uložení elektrostimulátoru apod.

S vývojem miniaturizovaných a ergonomických funkčních elektrostimulátorů se však rozšiřují možnosti jejich klinického použití. Byly vyvinuty přístroje s vícekanálovou stimulací, které umožňují kombinovat stimulaci peroneálního nervu se stimulací dalších svalů (plantárních flexorů hlezna, flexorů nebo extenzorů kolenního kloubu, flexorů nebo abduktorů kyčle). Tyto přístroje mohou pomoci při tréninku chůze u pacientů s poškozením horního motoneuronu. Ale i původní jednokanálový stimulátor peroneálního nervu byl dále rozvíjen a funkce patního snímače byla u některých typů nahrazena nebo doplněna o sofistikovaný systém akcelerometru a inklinometru/gyroskopu, který optimalizuje načasování kontrakce a dekontrakce svalů v průběhu kroku [4]. Kromě FES dolní končetiny se také rozvíjí možnosti FES v oblasti horní končetiny, konkrétně stimulace úchopové funkce ruky [5].

Funkční elektrostimulace je považována za technicky pokročilejší a aktivnější variantu běžně užívané peroneální ortézy (ankle foot orthosis; AFO), která se používá s cílem mechanicky udržet nohu v neutrálním nebo mírně dorzálně flekčním postavení v hlezenním kloubu a zabezpečit tak hladký průběh švihové fáze kroku, ať již se jedná o poruchu postavení a hybnosti akrální části dolní končetiny vlivem poškození CNS nebo periferního nervového systému. Na rozdíl od jednodušších peroneálních pásek poskytují dlahy noze pevnější oporu a mohou tak pomoci i pacientům se spasticitou lýtkových svalů, pro které je podpora pouze peroneální páskou nedostatečná. Je možné rozlišit 3 typy těchto ortéz: pasivní AFO, semi-aktivní AFO a aktivní AFO. Pasivní AFO ortézy jsou v klinické praxi nejrozšířenější. Jedná se o rigidní ortézy vyrobené většinou z polypropylenu nebo z karbonu. Ortézy mohou být sériově vyráběné nebo individuálně zhotovené.

Možnosti využití FES v rámci neurorehabilitace se v ČR stále více rozvíjí a v současnosti jsou na českém trhu 2 přístroje pro elektrostimulaci chůze, proto bychom v tomto článku chtěli představit a porovnat výsledky randomizovaných klinických studií hodnotících efekt FES k ovlivnění chůze.



Obr. 1. Schéma třídění vyhledaných článků do systematické rešerše.
FES – funkční elektrická stimulace; n – počet
Fig. 1. The process of searching articles into the systematic review.
FES – functional electrical stimulation; n – number

Metodika

Cílem tohoto článku bylo na základě analýzy dostupných randomizovaných studií zhodnotit možnost zlepšení chůze u dospělých neurologických pacientů se získaným poškozením CNS pomocí FES. Pro účely tohoto článku byla prohledána databáze medicínské literatury PubMed za pomoci kombinace těchto klíčových slov: functional electrostimulation, gait, walk, stroke, multiple sclerosis, traumatic brain injury, central paresis, hemiparesis, drop foot. Vyhledávání bylo omezeno pouze na období od roku 2000 až do září 2018. Do analýzy byly zařazeny pouze: 1. randomizované studie porovnávající efekt terapie u experimentální skupiny s FES oproti kontrolní skupině; 2. studie zahrnující dospělé neurologické pacienty starší 18 let; 3. studie publikované v anglickém jazyce.

Kvalita vyhledaných studií byla hodnocena pomocí škály PEDro. Jedná se o 11bodovou škálu, která hodnotí metodologickou kvalitu randomizovaných studií. V rámci této škály jsou hodnoceny kvalita randomizace, zaslepenost probandů a vyšetřujících a popis a porovnání výsledků mezi hodnocenými skupinami. Čím vyšší bodové hodnocení, tím vyšší metodologická kvalita článku [6]. Do článku nebyly zařazeny studie s příliš nízkou metodologickou kvalitou (škála PEDro < 4).

Výsledky

Na základě zadané kombinace klíčových slov bylo nalezeno 510 článků. Při kontrole abstraktů (v případě nejasnosti celých článků) bylo identifikováno 50 potencionálně vhodných článků za určené období. Po přečtení abstraktů byla část studií vyřazena pro nesplnění podmínek (účastníci ne-

proLékaře.cz | 20.8.2025

byli neurologičtí pacienti, chyběla kontrolní skupina, nejednalo se o randomizovanou kontrolovanou studii) a pro finální analýzu tak zůstalo 42 studií. Průběh vyhledávání je zobrazen na obr. 1. Největší množství studií porovnávalo efekt FES v rámci neurorehabilitace u osob po CMP, celkem 38 publikací randomizovaných kontrolovaných studií, přičemž u 10 publikací se jednalo u osoby po CMP v akutním nebo subakutním stadiu. Dále byly zařazeny 4 studie sledující efekt FES u osob s roztroušenou sklerózou, 1 studie sledovala efekt u osob po úrazovém poškození CNS (kraniotraumatu). Průměrná kvalita studií byla 7,3 bodů podle škály PEDro.

Využití FES u CMP

Celkem 31 studií (z některých studií bylo více publikací) hodnotilo u 1 512 osob po CMP v akutním až chronickém stadiu efekt FES oproti kontrolní skupině podstupující jiný typ intervence.

Ve dvou studiích zahrnujících 37 pacientů nedošlo k signifikantnímu zlepšení ve vyšetřovaných parametrech v kontrolní ani ve výzkumné skupině. Kontrolní skupina ve studii s 21 probandy podstoupila balanční trénink nebo běžnou péči, intervence trvala 2 týdny [7]. Kontrolní skupina ve studii s 16 probandy podstoupila terapii s využitím AFO ortézy, intervence trvala 12 týdnů [8].

U sedmi studií, do kterých bylo zařazeno celkem 699 pacientů, byl prokázán pozitivní efekt u kontrolní i výzkumné skupiny, přičemž u výzkumné skupiny nebyl efekt statisticky významně vyšší než u kontrolní skupiny. Délka intervence se pohybovala od 3 týdnů do 12 měsíců. Dvě ze studií byly zaměřeny na pacienty v chronickém stadiu po CMP [9,10]. Ve studii zahrnující nejvyšší počet probandů v počtu 384 pacientů a nejdelší dobu intervence v délce 12 měsíců byla u kontrolní skupiny aplikována AFO ortéza. V obou skupinách došlo k signifikantnímu zlepšení v rychlosti chůze na 10 m bez statisticky významného rozdílu mezi kontrolní a výzkumnou skupinou [2].

Ve 22 studiích zahrnujících celkem 774 pacientů došlo k signifikantně vyššímu zlepšení u pacientů ve výzkumné skupině (s FES) oproti kontrolní skupině. Kontrolní skupiny v těchto studiích podstoupily trénink chůze bez pomůcky, chůze na treadmillu, chůzi s AFO ortézou, stoj na úseči, nebo v metodice blíže nespecifikovanou rehabilitační intervenci (o frekvenci cvičení 3–5× týdně). Ke zlepšení došlo v kvalitě chůze i ve standardizovaných testech chůze a rovnováhy (Tinetti test, Fugl-Meyer Test, Šestiminutový test chůze, Desetiminutový test chůze, Berg Balance Scale a další). Dále došlo ke zlepšení v soběstačnosti, která byla hodnocena pomocí testu Functional Independence Measure (FIM) nebo Indexu Barthelové. V jedné ze studií bylo pozorováno signifikantní snížení spasticity (hodnocené modifikovanou Ashworthovou škálou) a zvýšení svalové síly u pacientů ve výzkumné skupině [11].

Využití FES u roztroušené sklerózy

Do naší analýzy byly zahrnuty 3 studie hodnotící u 144 osob s RS (z toho u 108 osob se jednalo o progresivní stadium RS) efekt FES oproti běžnému posilování svalů nebo žádné intervenci. Délka intervence se pohybovala od 18 do 24 týdnů. Pouze u 1 studie [12] došlo u skupiny s FES k významnějšímu zlepšení zapojení do denních aktivit a snížení počtu pádů oproti kontrolní skupině s běžným cvičením. V dalších studiích při srovnání efektu FES oproti posilování svalů dolních končetin nebo trupu nebylo zaznamenáno u skupiny s FES ani v kontrolní významnější zlepšení výkonu v testech chůze. Tento výsledek může být ovlivněn progresivním charakterem onemocnění RS. V jedné ze studií však bylo zaznamenáno snížení energetické náročnosti chůze při FES, což může být klinicky významné.

Využití FES u jiných dospělých pacientů se získaným neurologickým poškozením

Pouze 1 studie hodnotila efekt FES u pacientů s traumatickým poškozením mozku [13], další 2 studie pak zahrnovaly skupinu pacientů s hemiparetickým poškozením (po CMP nebo kraniotraumatu). Celkem se jednalo o 90 probandů, u kterých se porovnával efekt FES oproti jiné terapeutické intervenci (chůze na páse, stoj ve vertikalizačním stojanu nebo standardní fyzioterapeutické cvičení). Terapeutická intervence se lišila od velmi intenzivní v délce 1 týdne až po 12 týdnů. Trénink chůze na páse v kombinaci s FES hodinu denně v délce trvání 12 týdnů prokázal u skupiny osob s hemiparetickým postižením chůze se syndromem foot drop významné zlepšení vytrvalosti a kvality chůze oproti běžnému tréninku chůze. Při porovnání standardní fyzioterapie vs. fyzioterapie doplněné FES došlo k mírnému zlepšení v obou porovnávaných skupinách.

Diskuze

V rehabilitační praxi může být FES užívána při tréninku chůze na páse, v kombinaci s posilovacím cvičením nebo jako kompenzační pomůcka při běžné chůzi pacienta v prostředí rehabilitačního zařízení i v domácím prostředí.

Většina námi analyzovaných studií popisuje pozitivní tzv. ortotický efekt FES (tedy zlepšení při používání stimulátoru). Některé studie však zaznamenávají také pozitivní terapeutický efekt (tedy přetrvávající zlepšení i po vypnutí stimulace) na zlepšení funkční mobility [14,15], zlepšení výkonu v dlouhých testech chůze [16,17] a snížení energetické náročnosti chůze [18,19].

Všechny analyzované studie využívaly FES n. peroneus (n. fibularis), některé také v kombinaci se stimulací flexorů nebo extenzorů kolenního kloubu nebo m. gluteus medius. Stimulace byla využívána pouze pro intenzivní trénink chůze nebo byla běžně používána během všedních denních aktivit.

Nejvíce nalezených studií se zabývalo možnostmi využití FES u osob s CMP. U osob s hemiparetickým postižením chůze po CMP se v klinické praxi běžně využívá AFO ortéza. Také dosud největší realizovaná randomizovaná studie, která porovnávala efekt FES i AFO na chůzi, prokázala, že obě tyto kompenzační pomůcky mají dlouhodobě významně pozitivní vliv na parametry chůze [20]. Tomu odpovídají také závěry metaanalýzy z roku 2018, která potvrzuje, že obě tyto pomůcky mají pozitivní vliv na rychlost chůze a FES není v tomto směru nadřazena konvenčně používané terapii pro kompenzaci poruch chůze [21]. Některé studie však naznačují, že FES díky aktivnímu zapojení svalů může pomáhat fyziologičtějšímu zapojení svalů dolní končetiny během krokového cyklu, zvyšovat svalovou sílu [7,11,15–17,19,22–29] a snižovat spasticitu lýtkových svalů i v chronické fázi [9,11,22,23,27,30,31]. V literatuře jsou u některých pacientů po elektrostimulaci popisovány i neuroplastické změny [8,32,33] (zaznamenané pomocí funkční MR), a to zvýšení excitability a konektivity nepoškozených kortikálních motorických oblastí a reziduálních kortikospinálních drah. Za podklad této indukované restituce motorických funkcí jsou označovány především kortikální reorganizace (a to i v senzorických a kontralaterálních motorických oblastech), axonální sprouting a synaptogeneze, zvýšená aktivace sekundárních motorických oblastí a přesun řízení na extrapyramidové dráhy [10,34,35]. Zvý-

proLékaře.cz | 20.8.2025

šení aktivity motorické oblasti je při FES připisováno zvýšené proprioceptivní stimulaci nebo zaměření pozornosti. Za nezbytnou podmínku indukce neuroplastických změn a obnovu řízené hybnosti je obecně považována vysoká intenzita tréninku (počtem opakování pohybu nebo jeho náročností – maximální rychlostí a maximálním rozsahem pohybu), vysoká frekvence terapií, specificita pohybu a jeho vazba na smysluplnou funkci a subjektivní motivace pacienta [10,36]. Gandolla et al uvádějí, že podmínkou pro vznik přetrvávajícího terapeutického efektu je schopnost pacienta pohyb akra dolní končetiny při FES předvídat a plánovat a vnímat jeho provedení jako součást vlastní zpětnovazebné smyčky [37]. Z animálních studií víme, že nezbytný počet opakování pohybu horní končetinou k podpoře neuroplastických změn je 400–600 opakování denně [38,39]. Při běžné neurorehabilitaci je však průměrný počet pohybů dolní končetinou během jedné terapie pouze 60 opakování [40]. Chůze s využitím FES také může pomáhat procesu motorického učení, protože zvyšuje průměrné množství vykonaných kroků [17]. Pro podporu motorického učení je nezbytná motivace pacienta a jeho aktivní zapojení. Vzhledem k tomu, že většina pacientů preferuje FES před peroneální ortézou zejména proto, že chůze se stimulací působí i vypadá „normálněji" [41,42], může být právě trénink chůze s FES pro některé pacienty vhodným prostředkem na podporu motorického učení.

Většina analyzovaných studií hodnotí efekt stimulace u pacientů po CMP v chronickém stadiu. Některé studie také naznačují možnosti využití v časné terapii (v subakutní fázi po CMP). Po krátkém 1–2 týdny trvajícím rehabilitačním programu doplněném o FES n. peroneus došlo ke zlepšení EMG aktivity svalů dolní končetiny, časoprostorových parametrů chůze i funkční mobility [28,43]. Naopak studie hodnotící 2týdenní efekt balančního tréninku u subakutních pacientů neprokázala zlepšení rychlosti chůze [44], což však může být ovlivněno malou intenzitou terapie (celkem pouze 7 terapií). U 54 osob po CMP v subakutní fázi se prokázal pozitivní vliv tréninku chůze na páse (ať již se jednalo o chůzi s FES nebo bez ní) oproti konvenčnímu tréninku chůze. Další možností využití FES pro pacienty, kteří nejsou schopni delší chůze, nabízí FES kombinovaná se šlapáním na motomedu [45,46]. Celkem ve 30 studiích byl porovnáván efekt FES oproti běžně dostupné fyzioterapii nebo kineziotérapii. Až na studii Wilkinsona et al [47], která detailně popisuje využité fyzioterapeutické techniky a postupy, není obsah terapeutických jednotek ve studiích blíže specifikován a většinou je uváděn jen obecně jako „konvenční rehabilitace po CMP", „rutinní reedukace chůze a stability", „protahovací a posilovací cvičení" nebo „fyzioterapie s využitím neurovývojových technik" [11,19]. Sabut et al mezi terapeutické jednotky zařadili i ergoterapeutické postupy [11,19]. Běžná klinická praxe a využití FES se může v různých zemích lišit v závislosti na kulturních zvyklostech a zejména na ekonomických možnostech (FES představuje nákladnější variantu terapie a zpravidla nebývá hrazena ze zdravotního pojištění). V praxi také bývá tato možnost častěji předepisována pacientům s neprogresivní diagnózou (častěji u CMP, dětské mozkové obrny nebo nekompletních míšních lézí). Vždy však záleží na individuálním posouzení funkčního stavu a možností pacienta.

Uvádí se, že v praxi se vyskytují pacienti, kteří dobře profitují z terapie s využitím FES (tzv. respondéři), a pacienti, kteří i při dodržení podobných podmínek stimulace zůstávají bez efektu (tzv. non-respondéři). Předmětem některých prací je tedy snaha o stanovení prediktorů efektu FES [48]. Sota et al uvádějí, že jedním z těchto prediktorů může být rozsah aktivní dorzální flexe v hlezenním kloubu při úvodním vyšetření před intervencí FES [49]. Dalším prediktorem může být pacientova schopnost vnímání pohybu vyvolaného FES [37]. V řadě studií, které neprokázaly lepší efekt FES oproti peroneálnímu ortézování, je nicméně popisována významně vyšší preference uživatelů k FES. Nejčastěji uváděnými důvody této preference jsou větší sebejistota a pocit bezpečnosti při chůzi (nižší obava z pádu), vyšší komfort použití, snadné nasazování a sundávání pomůcky, estetický vzhled pomůcky, vliv na kvalitu chůze, nižší úsilí a únavu a neomezování volného pohybu hlezna [17,18,50,51]. Podobný přínos FES naznačují i práce Bulleyho et al [42] a Wilkieho et al [52] vedené formou semistrukturovaných rozhovorů, které u chronických pacientů po CMP a jejich terapeutů analyzovaly subjektivní vnímání a hodnocení efektu FES na chůzi, náladu, psychický stav, celkovou aktivitu v rámci aktivit denního života a participaci v rámci komunity. V retrospektivní studii [53] bylo u pacientů používajících FES v období 2 let popsáno jen 8 % přerušení nebo ukončení používání stimulátoru, což je významně nižší než přibližně čtvrtinové ukončení používání, které se uvádí v případě AFO [54]. Vyšší pocit sebejistoty a/nebo bezpečí a současný významný terapeutický efekt FES na zvýšení aktivace a svalové síly dorzálních flexorů nohy a celkového aktivního rozsahu hlezna do dorzální flexe, který byl prokázán ve studiích [11,19,30], může mít oproti AFO vliv na snížení rizika pádů v situacích, kdy pacienti obvykle žádnou pomůcku pro chůzi nepoužijí, např. při dojití na toaletu nebo do koupelny v průběhu noci [18].

Limity naší analýzy

Vzhledem k tomu, že se jednotlivé analyzované studie velmi lišily svou délkou i intenzitou terapie, je obtížné vyvozovat obecné závěry. Přesto jsme přesvědčeni, že tento přehled může pomoci rehabilitačním lékařům a fyzioterapeutům v klinické praxi. Z metodologického hlediska je limitem většiny studií nedostatečné zaslepení, ať již se jednalo o pacienty zapojené do studie nebo rehabilitační pracovníky provádějící terapii nebo vyšetření. Zaslepení není proveditelné vzhledem k povaze intervence – v zásadě není možné uspokojivě maskovat senzitivní vjem průchodu elektrického proudu s vyvoláním kontrakce svalů anterolaterální skupiny bérce, který se má při chůzi manifestovat zjevným pohybem v hlezenním kloubu. Některé ze studií uvádějí alespoň částečné zaslepení, kdy pacienti ani vyšetřující v okamžiku vstupního vyšetření neznali přiřazení do skupin [47] nebo kdy vyšetřující při výstupním vyšetření neznali přiřazení pacienta do skupiny [17,19].

Závěr

Na základě dostupných studií využívajících FES pro zlepšení funkce dolních končetin se zdá, že FES může představovat obohacení tradičních terapeutických postupů (jako jsou cvičení na neurofyziologickém podkladě, trénink chůze a stability). V některých případech pak může vést k výraznějšímu zlepšení funkčního stavu než tradiční terapie s využitím peroneálního ortézování. I v řadě studií, které neprokázaly lepší efekt FES oproti peroneálnímu ortézování, je nicméně popisována významně vyšší preference uživatelů k FES. Proto je důležité, aby byl efekt pomůcky objektivně dokumentován a individuální přínos této dražší pomůcky zvážen vzhledem k funkčnímu stavu pacienta. FES je pak možné aplikovat v rámci pobytové rehabilitační léčby (krátkodobě) nebo jako indivuální kompenzační pomůcku (dlouhodobě).

proLékaře.cz | 20.8.2025

Literatura

1. Liberson WT, Holmquest HJ, Scot D et al. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Arch Phys Med Rehab 1961; 42: 101–105.

2. Peckham PH, Knutson JS. Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. Annu Rev Biomed Eng 2005; 7: 327–360. doi: 10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103.

3. Votava J. Rehabilitace osob po cévní mozkové příhodě. Neurol praxi 2001; 4: 184–189.

4. Cameron MH. The walkaide® functional electrical stimulation system – a novel therapeutic approach for foot drop in central nervous system disorders. Europ Nerologic Rev 2010; 5(2): 18–20. doi: http://doi.org/10.17925/ENR.2010.05.02.18.

5. Knutson JS, Harley MY, Hisel TZ et al. Contralaterally controlled functional electrical stimulation for recovery of elbow extension and hand opening after stroke: a pilot case series study. Am J Phys Med Rehab 2014; 93(6): 528–539. doi: 10.1097/PHM.0000000000000066.

6. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD et al. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. Phys Ther 2003; 83(8): 713–721.

7. Chung Y, Kim JH, Cha Y et al. Therapeutic effect of functional electrical stimulation-triggered gait training corresponding gait cycle for stroke. Gait Posture 2014; 40(3): 471–475. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.06.002.

8. Rosenkranz K, Rothwell JC. The effect of sensory input and attention on the sensorimotor organization of the hand area of the human motor cortex. J Physiol 2004; 561(Pt 1): 307–320. doi: 10.1113/jphysiol.2004.069328.

9. Cheng JS, Yang YR, Cheng SJ et al. Effects of combining electric stimulation with active ankle dorsiflexion while standing on a rocker board: a pilot study for subjects with spastic foot after stroke. Arch Phys Med Rehab 2010; 91(4): 505–512. doi: 10.1016/j.apmr.2009.11.022.

10. Gál O, Hoskovcová M, Jech R. Neuroplasticita, restituce motorických funkcí a možnosti rehabilitace spastické parézy. Rehab fyz Lék 2015; 22(3): 101–127.

11. Sabut SK, Sikdar C, Kumar R et al. Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle: effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients. NeuroRehabilitation 2011; 29(4): 393–400. doi: 10.3233/NRE-2011-0717.

12. Esnouf JE, Taylor PN, Mann GE et al. Impact on activities of daily living using a functional electrical stimulation device to improve dropped foot in people with multiple sclerosis, measured by the Canadian Occupational Performance Measure. Mult Scler 2010; 16(9): 1141–1147. doi: 10.1177/1352458510366013.

13. Leung J, Harvey LA, Moseley AM et al. Standing with electrical stimulation and splinting is no better than standing alone for management of ankle plantarflexion contractures in people with traumatic brain injury: a randomised trial. J Physiother 2014; 60(4): 201–208. doi: 10.1016/j.jphys.2014.09.007.

14. Tong RK, Ng MF, Li LS et al. Gait training of patients after stroke using an electromechanical gait trainer combined with simultaneous functional electrical stimulation. Phys Ther 2006; 86(9): 1282–1294. doi: 10.2522/ptj.20050183.

15. Ng MF, Tong RK, Li LS. A pilot study of randomized clinical controlled trial of gait training in subacute stroke patients with partial body-weight support electromechanical gait trainer and functional electrical stimulation: six-month follow-up. Stroke 2008; 39(1): 154–160. doi: 10.1161/STROKEAHA.107.495705.

16. Daly JJ, Zimbelman J, Roenigk KL et al. Recovery of coordinated gait: randomized controlled stroke trial of functional electrical stimulation (FES) versus no FES, with weight-supported treadmill and over-ground training. Neurorehabil Neural Repair 2011; 25(7): 588–596. doi: 10.1177/1545968311400092.

17. Kluding PM, Dunning K, O'Dell MW et al. Foot drop stimulation versus ankle foot orthosis after stroke: 30-week outcomes. Stroke 2013; 44(6): 1660–1669. doi: 10.1161/STROKEAHA.111.000334.

18. Everaert DG, Stein RB, Abrams GM et al. Effect of a foot-drop stimulator and ankle-foot orthosis on walking performance after stroke: a multicenter randomized controlled trial. Neurorehabil Neural Repair 2013; 27(7): 579–591. doi: 10.1177/1545968313481278.

19. Sabut SK, Sikdar C, Mondal R et al. Restoration of gait and motor recovery by functional electrical stimulation therapy in persons with stroke. Disabil Rehabil 2010; 32(19): 1594–1603. doi: 10.3109/09638281003599596.

20. Bethoux F, Rogers HL, Nolan KJ et al. Long-term follow-up to a randomized controlled trial comparing peroneal nerve functional electrical stimulation to an ankle foot orthosis for patients with chronic stroke. Neurorehabil Neural Repair 2015; 29(10): 911–922. doi: 10.1177/1545968315570325.

21. Prenton S, Hollands KL, Kenney LP et al. Functional electrical stimulation and ankle foot orthoses provide equivalent therapeutic effects on foot drop: a meta-analysis providing direction for future research. J Rehabil Med 2018; 50(2): 129–139. doi: 10.2340/16501977-2289.

22. Embrey DG, Holtz SL, Alon G et al. Functional electrical stimulation to dorsiflexors and plantar flexors during gait to improve walking in adults with chronic hemiplegia. Arch Phys Med Rehabil 2010; 91(5): 687–696. doi: 10.1016/j.apmr.2009.12.024.

23. Peurala SH, Tarkka IM, Pitkanen K et al. The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke. Arch Phys Med Rehabil 2005; 86(8): 1557–1564. doi: 10.1016/j.apmr.2005.02.005.

24. Sheffler LR, Bailey SN, Wilson RD et al. Spatiotemporal, kinematic, and kinetic effects of a peroneal nerve stimulator versus an ankle foot orthosis in hemiparetic gait. Neurorehabil Neural Repair 2013; 27(5): 403–410. doi: 10.1177/1545968312465897.

25. Cho MK, Kim JH, Chung Y et al. Treadmill gait training combined with functional electrical stimulation on hip abductor and ankle dorsiflexor muscles for chronic hemiparesis. Gait Posture 2015; 42(1): 73–78. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.009.

26. Kottink AI, Hermens HJ, Nene AV et al. Therapeutic effect of an implantable peroneal nerve stimulator in subjects with chronic stroke and footdrop: a randomized controlled trial. Phys Ther 2008; 88(4): 437–448. doi: 10.2522/ptj.20070035.

27. Mesci N, Ozdemir F, Kabayel DD et al. The effects of neuromuscular electrical stimulation on clinical improvement in hemiplegic lower extremity rehabilitation in chronic stroke: a single-blind, randomised, controlled trial. Disabil Rehabil 2009; 31(24): 2047–2054. doi: 10.3109/09638280902893626.

28. Solopova I, Tihonova D, Grishin A et al. Assisted leg displacements and progressive loading by a tilt table combined with FES promote gait recovery in acute stroke. NeuroRehabilitation 2011; 29(1): 67–77. doi: 10.3233/NRE-2011-0679.

29. Yan T, Hui-Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized placebo-controlled trial. Stroke 2005; 36(1): 80–85. doi: 10.1161/01.STR.0000149623.24906.63.

30. Ghédira M, Albertsen IM, Mardale V et al. Wireless, accelerometry-triggered functional electrical stimulation of the peroneal nerve in spastic paresis: a randomized, controlled pilot study. Assist Technol 2017; 29(2): 99–105. doi: 10.1080/10400435.2016.1214933.

31. Sharif F, Ghulam S, Malik AN et al. Effectiveness of functional electrical stimulation (FES) versus conventional electrical stimulation in gait rehabilitation of patients with stroke. J Coll Physicians Surg Pak 2017; 27(11): 703–706. doi: 2747.

32. Charlton CS, Ridding MC, Thompson PD et al. Prolonged peripheral nerve stimulation induces persistent changes in excitability of human motor cortex. J Neurol Sci 2003; 208(1–2): 79–85. doi: 10.1016/s0022-510x(02)00443-4.

33. Meesen RL, Cuypers K, Rothwell JC et al. The effect of long-term TENS on persistent neuroplastic changes in the human cerebral cortex. Hum Brain Mapp 2011; 32(6): 872–882. doi: 10.1002/hbm.21075.

34. Hara Y. Brain plasticity and rehabilitation in stroke patients. J Nippon Med Sch 2015; 82(1): 4–13. doi: 10.1272/jnms.82.4.

35. Merkel C, Hausmann J, Hopf JM et al. Active prosthesis dependent functional cortical reorganization following stroke. Sci Rep 2017; 7(1): 8680. doi: 10.1038/s41598-017-09325-8.

36. Meimoun M, Bayle N, Baude M et al. Intensity in the neurorehabilitation of spastic paresis. Rev Neurol (Paris) 2015; 171(2): 130–140. doi: 10.1016/j.neurol.2014.09.011.

37. Gandolla M, Ward NS, Molteni F et al. The neural correlates of long-term carryover following functional electrical stimulation for stroke. Neural Plast 2016; 2016: 4192718. doi: 10.1155/2016/4192718.

38. Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. Neurobiol Learn Mem 2000; 74(1): 27–55. doi: 10.1006/nlme.1999.3934.

39. Nudo RJ, Milliken GW, Jenkins WM et al. Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. J Neurosci 1996; 16(2): 785–807.

40. Kimberley TJ, Samargia S, Moore LG et al. Comparison of amounts and types of practice during rehabilitation for traumatic brain injury and stroke. J Rehabil Res Dev 2010; 47(9): 851–862.

41. Bulley C, Mercer TH, Hooper JE et al. 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. doi: 10.3109/17483107.2014.913713.

42. Bulley C, Shiels J, Wilkie K et al. 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. doi: 10.1016/j.physio.2010.11.001.

43. Lairamore CI, Garrison MK, Bourgeon L et al. Lower Extremity functional electrical stimulation during inpatient rehabilitation: a pilot study investigating gait and muscle activity in persons with stroke or brain injury. Percept Mot Skills 2014; 119(2): 591–608. doi: 10.2466/15.25.PMS.119c19z5.

44. Kunkel D, Pickering RM, Burnett M et al. Functional electrical stimulation with exercises for standing balance and weight transfer in acute stroke patients: a feasibility randomized controlled trial. Neuromodulation 2013; 16(2): 168–177. doi: 10.1111/j.1525-1403.2012.00488.x.

45. Aaron SE, Vanderwerker CJ, Embry AE et al. FES-assisted cycling improves aerobic capacity and locomotor function postcerebrovascular accident. Med Sci Sports Exerc 2018; 50(3): 400–406. doi: 10.1249/MSS.0000000000001457.

46. Peri E, Ambrosini E, Pedrocchi A et al. Can FES-augmented active cycling training improve locomotion in post-acute elderly stroke patients? Eur J Transl Myol 2016; 26(3): 6063. doi: 10.4081/ejtm.2016.6063.

47. Wilkinson IA, Burridge J, Strike P et al. A randomised controlled trial of integrated electrical stimulation and physiotherapy to improve mobility for people less than 6 months post stroke. Disabil Rehabil Assist Technol 2015; 10(6): 468–474. doi: 10.3109/17483107.2014.917125.

proLékaře.cz | 20.8.2025

48. O'Dell MW, Dunning K, Kluding P et al. Response and prediction of improvement in gait speed from functional electrical stimulation in persons with poststroke drop foot. PM R 2014; 6(7): 587–601. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.01.001.
49. Sota K, Uchiyama Y, Ochi M et al. Examination of factors related to the effect of improving gait speed with functional electrical stimulation intervention for stroke patients. PM R 2018; 10(8): 798–805. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.02.012.
50. Taylor PN, Burridge JH, Dunkerley AL et al. 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. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90333-7.
51. van Swigchem R, van Duijnhoven HJ, den Boer J et al. 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. doi: 10.2522/ptj.20100405.
52. Wilkie KM, Shiels JE, Bulley C et al. „Functional electrical stimulation (FES) impacted on important aspects of my life": a qualitative exploration of chronic stroke patients' and carers' perceptions of FES in the management of dropped foot. Physiother Theory Pract 2012; 28(1): 1–9. doi: 10.3109/09593985.2011.563775.
53. 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. doi: 10.2340/16501977-1090.
54. 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. doi: 10.1111/j.1525-1403.2009.00250.x.

Na webu csnn.eu naleznete další přílohy k tomuto článku.