

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT



ELEKTRIČNA STIMULACIJA V ŠPORTU

(diplomsko delo)

LUKA ZORKO

Ljubljana, 2017

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

KINEZIOLOGIJA



ELEKTRIČNA STIMULACIJA V ŠPORTU

DIPLOMSKO DELO

MENTOR: Prof. Dr. Vojko Strojnik

AVTOR: Luka Zorko

RECENZENTKA: Izr. prof. Dr. Katja Tomažin

Ljubljana, 2017

Zahvaljujem se profesorju Dr. Vojko Strojniku za spodbudo, podporo, predvsem pa tudi za potrpljenje v poti nastajanja tega dela. Zahvala recenzentki izr. prof. dr. Katji Tomažin za hiter odziv. Veliko mi pomeni pomoč Vida Burnika, za njegov čas in slovnične popravke. Ob raziskovanju sem se izpopolnjeval in tudi veliko naučil. Zahvaljujem se tudi vsem mojim bližnjim in tudi ljudem, ki so mi stali ob strani ob nastajanju tega dela.

Kazalo vsebine

1 Izvleček	1
2. Abstract	2
3 Uvod	3
4 Živčno-mišična električna stimulacija	6
4.1 Stimulacijski parametri	8
5. Mehanizmi delovanja živčno-mišične električne stimulacije	9
5.1 Rekrutacija motoričnih enot in rekrutacija hrbtenjačnih živčnih vlaken.....	9
5.2 Akutni učinki	11
5.3 Dolgotrajni učinki	12
6. Učinki vadbe z živčno-mišično električno stimulacijo	14
6.1 Živčne prilagoditve pri vadbi za moč z ŽMES.....	15
7 Metode dela ŽMES	17
8 Uporaba ŽMES.....	19
8.1 Intenzivnost vadbe z ŽMES.....	19
8.2 ŽMES kot orodje za regeneracijo po vadbi.....	20
9. Optimizacija uporabe ŽMES	22
10. Učinkovitost ŽMES.....	23
10.1 Večja mišična moč v športu s pomočjo ŽMES	23
11. Zaključek.....	25
12. Viri	26

Kazalo slik

Slika 1: Sistematičen pregled dela. Razdelitev fiziologije na akutne in kronične učinke. Sledi metoda izbire optimalne motorične točke stimulacije in atlas motoričnih točk. Na koncu bodo predstavljeni učinki ŽMES.	4
--	---

1 Izvleček

UVOD

Glavna tema diplomskega dela je električna stimulacija v športu. Najprej so na kratko opisane definicija in osnove električne stimulacije ter nekaj o zgodovini električne stimulacije, nato pa električna stimulacija kot orodje za vadbo, metode dela, dolgotrajni in akutni učinki in električna stimulacija kot sredstvo za regeneracijo. Na koncu so opisani primeri učinkov uporabe električne stimulacije.

NAMEN

Cilj diplomske naloge je bilo raziskati učinke živčno-mišične električne stimulacije (ŽMES), njen mehanizem, uporabnost v športu, dolgotrajne in akutne učinke, vpliv pri regeneraciji po športni aktivnosti in rehabilitaciji po poškodbi.

RAZISKOVALNA METODA DELA

Uporabil sem deskriptivno metodo, diplomsko delo je monološkega tipa s pregledom domače in tuje literature.

REZULTATI

Ugotovil sem, da ima ŽMES pomembno vlogo tako v kliničnem kot v športnem okolju, saj je uporaba učinkovita pri ljudeh, ki imajo mišično atrofijo ali poškodbe mišic ter pri športnikih za regeneracijo in tudi kot del vadbene enote.

RAZPRAVA IN SKLEP

Dejstvo je, da ŽMES sama ni tako učinkovita kot takrat, ko je del gibanja v kombinaciji s hotenimi kontrakcijami, kjer ima ŽMES največji potencial tudi v prihodnosti. To kombinirano uporabo bi bilo potrebno v prihodnosti še bolj raziskati.

KLJUČNE BESEDE: električna stimulacija, živčno-mišična električna stimulacija (ŽMES).

2. Abstract

INTRODUCTION

The main theme of diploma paper is electrical stimulation in sport. On the start, there are shortly described definitions, main use of electrical stimulation as a tool and something about history of using it, methodology, chronic and acute effect of NMES (neuromuscular electrical stimulation) and NMES as a regeneration tool. In the end, there are also described effects of using NMES.

AIM

The main goal of diploma paper was to research effects of NMES, mechanisms, its use as a training tool in sport, acute and chronic use, regeneration after sport activity and rehabilitation after sport injury.

RESEARCH METHODOLOGY

Descriptive methods were used in order to make diploma paper, it is a monology. Its references had been found in both, foreign and Slovenian sources.

RESULTS

It was found out that NMES has important part in both, clinical and sport use. It is effective in case of muscle atrophy, muscle injury, as a regeneration tool or as a part of training methods.

DISCUSSION AND CONCLUSION

In fact, NMES as its core itself is not as effective the way like when it is used as a part of the voluntary contractions. In the future, there must be a lot of researches done in this way in order to make NMES more widely used.

KEY WORDS: electrical stimulation, neuromuscular electrical stimulation (NMES).

3 Uvod

Električna stimulacija mišic je postopek, ki omogoči proces krčenja mišic zaradi zunanjih električnih impulzov. Poznamo akutne in dolgotrajne učinke električne stimulacije. Akutni so tisti, ki jih hitro pridobimo, a tudi hitro izgubimo, na primer mišična aktivacija. Dolgotrajni učinek električne stimulacije pa je na primer pridobivanje mišične mase.

Električno stimulacijo uporabljamo za meritve, in sicer za meritev kontraktilnih lastnosti mišic, za merjenje nivoja mišične aktivacije ter za merjenje mišične utrujenosti (centralna-periferna, nizko-visokofrekvenčna)

Električno stimulacijo uporabljamo kot vadbeno enoto v rehabilitaciji, pri povečevanju mišične mase (hipertrofija), na področju izboljšanja prenosa akcijskih potencialov, v regeneraciji, kjer električno stimulacijo uporabljamo predvsem za izplakovanje, protibolečinske terapije ter za spremembe kontraktilnih lastnosti, kjer bi lahko rekli, da spreminjamo razmerje med hitrimi in počasnimi mišičnimi vlakni, v drugih panogah pa še za druge pozitivne učinke.

Električna stimulacija deluje na živčne končiče, zato s tem, ko namestimo elektrodo na mišico, ne stimuliramo mišice direktno, temveč živčne končiče, ki se nahajajo tik pod motorično ploščo. Poznamo več vrst tokov, in sicer istosmerni, izmenični, interferenčni, ruski in impulzni tok. Vsak tok deluje drugače in ga uporabljamo za drugačen učinek, v diplomskem delu pa raziskujem predvsem živčno-mišično električno stimulacijo (ŽMES) in njeno uporabnost na področju športa in rehabilitacije.

Cilj diplomske naloge je pridobiti in predstaviti čim več znanja o električni stimulaciji, učinkih uporabe ter uporabnost na področju športa iz virov, domače in tuje znanstvene literature.

Uporabil sem deskriptivno metodo. Diplomsko naloga je monografskega tipa. Literaturo sem iskal v preverjenih virih, s pomočjo katerih sem predstavil ŽMES, njen neizkoriščen potencial in pomen. Diplomsko delo je sestavljeno tako, da je na začetku kratek pregled zgodovine električne stimulacije in opis, zakaj se uporablja, s kakšnim namenom, nato pa so podrobneje opisane metode dela, kakšen je pomen električne stimulacije v rehabilitaciji, kako vpliva na starostnike, v regeneraciji, vpliv na delovanje pri krepitvi mišic ter na živčno-mehanski sistem.

Glavne teme diplomskega dela in njihove podkategorije so prikazane v sliki 1.

1. Prva tema so mehanizmi delovanja. Prva podkategorija te teme je rekrutacija motoričnih enot in rekrutacija hrbtenjačnih živčnih vlaken. Druga podkategorija so akutni (kratkoročni) učinki s poudarkom na poškodbah mišice. Tretja podkategorija pri mehanizmih delovanja so dolgotrajni učinki s poudarkom na živčne prilagoditve.
2. Druga tema so metode dela, pri kateri je cilj metoda izbire optimalne točke stimulacije motorične točke in atlas motoričnih točk.
3. Tretja tema je uporaba ŽMES in njeni učinki pri vadbi za moč ter regeneracija po aktivnosti.

Razlog, ki stoji za vsemi temi funkcijami je, da če želimo izboljšati in optimizirati živčno-mišično funkcionalnost s sredstvi ŽMES (uporaba na sliki 1), moramo najprej izboljšati svoje znanje o ŽMES (mehanizmi delovanja na sliki 1), nato pa šele dejansko uporabo ŽMES (na sliki 1 metode dela), kar vodi v učinke dela z napravami in učinkov delovanja le-teh (uporaba na sliki 1).

MEHANIZMI DELOVANJA			METODE DELA	UPORABA
Pomembne značilnosti	Akutni učinki	Kronični učinki	Optimizacija	Učinki
- rekrutacija motorične enote	- poškodbe mišice	živčno-mišične prilagoditve	- stimulacija motorične točke	- vadba za moč
- rekrutacija hrbtenjačnih živčnih vlaken			- atlas motoričnih točk	- regeneracija po vadbi
IZBOLJŠANJE ZNANJA O ŽMES			IZBOLJŠANJE UPORABE ŽMES	IZBOLJŠANE ŽIVČNO-MIŠIČNE FUNKCIJE

Slika 1: Sistematičen pregled dela. Razdelitev fiziologije na akutne in kronične učinke. Sledi metoda izbire optimalne motorične točke stimulacije in atlas motoričnih točk. Na koncu bodo predstavljeni učinki ŽMES.

Zelo pomembno je, da povezujemo in iščemo različne članke in izkušnje različnih raziskovalcev in raziskav iz različnih področij (načrtna vadba, mehanizmi vadbe, medicina športa in tudi splošna medicina). Glavni interes diplomskega dela je optimizacija funkcije skeletnih mišic s pomočjo ŽMES.

4 Živčno-mišična električna stimulacija

Po Štefančiču in drugih (2011) se skeletno oziroma progasto mišičje v normalnih pogojih hotene kontrakcije aktivira pod vplivom impulzov, ki po perifernih živcih prihajajo iz centralnega živčevja. Aktivacija progastih mišic je pod našo refleksno in zavestno kontrolo. Da bi opravljale svojo osnovno funkcijo, morajo biti mišice v primernem trofičnem stanju. Prav tako morajo imeti ustrezno mišično moč oziroma silo kontrakcije.

Dejstvo je, da lahko krčenje mišic dosežemo tudi umetno s pomočjo električnega toka, ki se v stanju normalnega oživčenja aktivira prek vlaken motoričnih živcev. Depolarizacija vzdražljivih membran, ki jo sproži električni impulz, se širi po živcu v obliki akcijskega potenciala in pri normalno oživčenih mišicah prenaša prek sinaps – motoričnih ploščic na mišična vlakna; električnemu odgovoru v mišici sledi mehanski odgovor – mišična kontrakcija. Z električnimi impulzi torej dražimo motorične enote pod pogojem, da imajo mišična vlakna ohranjeno primerno sposobnost krčenja (kontraktilnost) (Štefančič in drugi, 2011).

Električno stimulacijo so uporabljali že v 18. stoletju kot sredstvo za rehabilitacijo, od približno leta 1970 naprej pa tudi pri zdravih posameznikih, predvsem pri športnikih kot dodatek k vadbi. Ker sta pri tej vrsti električne stimulacije vključena oba sistema, živčni in mišični, se imenuje živčno-mišična električna stimulacija. Ta tehnika se uporablja predvsem za ohranjanje mišične mase in za izboljšanje funkcionalnosti mišice med in po določenem času neaktivnosti ali pri pojavu mišične atrofije. Uporabljamo jo tudi pri izboljšanju funkcionalnosti mišice pri posameznikih (po Enoka, 2015).

Po Maffiulettu in drugih (2011) živčno-mišično električno stimulacijo (ŽMES) uporabljamo pri statičnih pogojih (brez pojavljajočega funkcionalnega gibanja) pri dovolj visokem in primerno intenzivnem toku. Znane so tudi druge oblike električne stimulacije, na primer transkutana električna stimulacija (TENS) in funkcionalna električna stimulacija (FES). ŽMES v zadnjih letih sprejema vse več pozornosti, saj ima velik potencial, da služi kot:

- Pri zdravih osebah in športnikih kot orodje za vadbo za moč, saj lahko z dolgotrajno uporabo ŽMES povzročimo živčno-mišične prilagoditve, ki so lahko podobne ali komplementarne vadbi za moč s hoteno aktivacijo; (Maffiuletti in drugi, 2011).

- Orodje za rehabilitacijo in preventivo pri delno ali popolnoma imobiliziranih bolnikih, ker lahko z dolgotrajno uporabo ohranjamo mišično maso in funkcijo mišice, ki je atrofirala med dolgotrajnim obdobjem zmanjšane ali omejene mišične aktivnosti; (Maffiuletti in drugi, 2011).
- Orodje za testiranje pri ocenjevanju živčne in/ali mišične funkcije v "vivo", saj je možno izzvati standardizirano krčenje mišic, katerih električne (EMG) in mehanske (navor) lastnosti so lahko enostavno kvantifirane; (Maffiuletti in drugi, 2011).
- Orodje za regeneracijo po vadbi za športnike, saj je njena vloga da poveča pretok krvi v mišicah zaradi kontrakcije in se zato metabolični produkti hitreje izplakujejo, kar pomeni, da se poveča hitrost (kinetika) regeneracije med in po vadbi (Maffiuletti in drugi, 2011).

Prenosne naprave za izvedbo ŽMES so široko dostopne širši populaciji prebivalstva. Poslovna uporaba v zvezi z ŽMES pogosto daleč presega veljavne znanstvene dokaze. Poleg tega je problem to, da so zaradi pomanjkanja splošnega konsenza pri znanstveni skupnosti o glavnih mehanizmih delovanja in značilnostih metod delovanja ŽMES končni uporabniki soočeni z nejasnostmi v zvezi z njegovo uporabo in učinkovitostjo, tako da pogosto raje ne uporabljajo ŽMES ali pa jo uporabljajo izjemno previdno (Maffiuletti in drugi, 2011).

Najpogosteje se živčno-mišična električna stimulacija uporablja za zmanjšanje mišične atrofije, zmanjšanje mišične utrujenosti, zmanjšanje izgube kostne mase in tudi za zmanjšanje upada srčno-žilnih funkcij.

Dober primer učinkovitosti in kompatibilnosti uporabe ŽMES kot orodja za vadbo je raziskava Andreea Harkoppa in drugih (2003), kjer so raziskovali vpliv vadbe ŽMES na kontraktilne in metabolične lastnosti mišic iztegovalk zapestja pri osebah, paraliziranih v 5/6 vratnih vretenc. Mišice iztegovalke zapestja preiskovancev so stimulirali 30 minut na dan 5 dni v tednu 12 tednov. Frekvenca stimulacije se je gibala med 15-30 Hz, trajanje pulza pa je bilo 250 μ s, 5-sekundni vlaki so bili ločeni z intervali počitka, ki so trajali med 5-20 sekund. Rezultati so pokazali, da se je povečala zmožnost večjega izvajanja sile, prav tako je bila utrujenost mišice zmanjšana za 40 %.

4.1 Stimulacijski parametri

Zanimivo je, da kljub obsežni svetovni literaturi o študijah učinkov ŽMES pri krepitvi mišic še vedno ni jasnega stališča, kateri načini ŽMES in v kakšnih pogojih so najbolj učinkoviti. To ni presenetljivo, saj so učinki odvisni od vrste različnih dejavnikov, ki vsak na svoj način vplivajo na končni izid. Tudi protokoli tovrstnih študij se med seboj zelo razlikujejo, tako po vadbi z ŽMES kot tudi po različnih načinih ocenjevanja doseženih učinkov (Štefančič in drugi, 2011).

Po Štefančiču in drugih (2011) ter Novaku in drugih (2016) je lahko zelo različna že izbira različnih parametrov uporabljenih električnih impulzov, kot so oblika impulzov, frekvenca (nosilna in modulacija z dodatnimi frekvencami), časovna širina posamičnega impulza in trajanje paketov (vlakov) impulzov, odmori med njimi, amplituda, trajanje posameznega postopka, pogostnost oziroma zaporedje postopkov in trajanje celotnega programa. Razlike so tudi pri izbiri vrste, oblike, velikosti in postavitve elektrod. Pomembno je, če je vadba z ŽMES izvedena v izometričnih ali v izotoničnih pogojih in kakšen je položaj telesa med vadbo. Pri ŽMES stegenskih mišic je pomemben zlasti položaj kolka in kolena.

Pridobivanje na mišični moči je povezano z utrujanjem mišičja (Po Štefančiču in drugih, 2011), zato je nujno potrebno pri vsakem terapevtskem ukrepu za krepitev progastega mišičja in pri ocenjevanju pridobivanja mišične moči upoštevati možnost, da nastopi bolj ali manj izrazita utrujenost mišic. Ustrezno izbrano zaporedje sekvenc krepitve mišic in vmesnih odmorov ter trajanje terapije je lahko ključ do izboljšanja vzdržljivosti mišične aktivnosti. Po Štefančiču in drugih (2011) je pravilna izbira časa krčenja mišic in odmora ter razmerja med njima (t. i. režima obremenitev, angl. *duty cycle*) poleg ustrezne amplitude električnih impulzov ključnega pomena pri pričakovani uspešnosti terapije z ŽMES.

5. Mehanizmi delovanja živčno-mišične električne stimulacije

Prva podkategorija te teme je rekrutacija motoričnih enot in rekrutacija hrbtenjačnih živčnih vlaken. Druga podkategorija so akutni (kratkoročni) učinki s poudarkom na poškodbah mišice. Tretja podkategorija pri mehanizmih delovanja so dolgotrajni učinki s poudarkom na živčne prilagoditve.

5.1 Rekrutacija motoričnih enot in rekrutacija hrbtenjačnih živčnih vlaken

Bickel in drugi (2011) so raziskovali dejstva o vrstnem redu rekrutacije motoričnih enot pri električni stimulaciji. V kliničnem okolju se ŽMES pogosto uporablja za aktiviranje skeletnih mišic, saj lahko z njeno pomočjo posnemamo hotene kontrakcije mišic. Namen imitacije kontrakcije je izboljšanje in rehabilitacija skeletnih mišic. ŽMES se uporablja tudi kot orodje za raziskovanje in oceno učinkovitosti mišic ali nivojev aktivacije oziroma delovanja živčnega sistema; perifernega, spinalnega in supraspinalnega. Da bi lahko bilo oblikovanje ŽMES protokola čim bolj učinkovito, je potrebno upoštevati bistvene razlike med hoteno in umetno aktivacijo motoričnih enot (Maffiuletti in drugi, 2011).

Po Enoki (2015) lahko jakost mišice, ki je izzvana s pomočjo živčno-mišične električne stimulacije, vpliva na periferne in centralne prilagoditve. Periferne zasledimo predvsem v velikem številu aktiviranih mišičnih vlaken, medtem ko centralne prilagoditve opazimo predvsem pri senzoričnih prilagoditvah.

Poznamo mnoge pozitivne učinke vzorca rekrutacije. Po Maffiulettu in drugih (2011) se pozitivni učinki ŽMES pojavijo zaradi več različnih mehanizmov. Eden teh mehanizmov je obrnjen vzorec rekrutacije pri ŽMES kakor pri hotenem rekrutacijskem vzorcu. Rekrutacija motoričnih enot pri ŽMES ima neselektiven, prostorsko in časovno določen sinhron vzorec. V primerjavi s hotenimi aktiviranimi akcijami rekrutacijski vzorec ŽMES prispeva k večji utrujenosti. Zelo pomembno je, da ŽMES uporabljamo kot orodje za vadbo in rehabilitacijo, saj bomo tako bolje razumeli, kako električna stimulacija rekrutira motorične enote in njene omejitve.

V nasprotju z določenim vrstnim redom hotene aktivacije pri rekrutaciji motoričnih enot je pri ŽMES značilno, da povzroči stimulacija živca ravno obratno aktivacijo vrstnega reda motoričnih enot, saj aksoni, ki imajo večji premer, pripadajo večjim in hitrejšim mišičnim enotam. Ti aksoni se veliko hitreje in lažje vzdražijo, ko jih stimuliramo z električno stimulacijo kakor aksoni z manjšim premerom (aksoni počasnejših mišičnih enot) (Maffiuletti in drugi, 2011).

Po Vanderthommnu in Duchateauju (2007) lahko zaradi velikega premera aksonov z ŽMES lažje aktiviramo velike in hitre mišične motorične enote kakor bi jih s hoteno aktivacijo. Pri hoteni aktivaciji je vrstni red rekrutacije mišičnih vlaken obraten kakor pri električni stimulaciji. Ko uporabimo vir električnega toka in gre ta skozi elektrode, ki so nameščene na kožo, razdalja med elektrodami in mišičnimi aksoni povzroči, da normalni vrstni red (hoteni vrstni red) rekrutacije ne velja, temveč se aktivirajo najprej motorične enote, ki so v bližini elektrode. Posledično se rekrutacijski vrstni red obrne od hoteno izzvanega, iz česar sledi, da se najprej aktivirajo hitrejša mišična vlakna, nato pa počasnejša.

V primeru, ko mišico stimuliramo z ŽMES pri površinski mišični stimulaciji s spreminjajočo intenzivnostjo, se dobro opazi, da ima aktivacijski prag aksonskih vej vse manjšo vrednost. To pomeni, da je rekrutacija motoričnih enot naključna; motorične enote se aktivirajo brez specifičnega določanja aktivacije v zvezi z vrsto ali velikostjo enote med ŽMES. To imenujemo tudi neurejena rekrutacija (Maffiuletti in drugi, 2011).

Lep primer o višini rekrutacijskega praga je moč zaslediti v raziskavi, kjer so Jacques Duchateau in drugi (po Enoka, 2015) primerjali višino rekrutacijskega praga motoričnih enot mišice tibialis anterior. Primerjava je potekala med rekrutacijskim pragom pri hoteni aktivaciji in rekrutacijskim pragom pri električni stimulaciji. Testirali so približno 250 parov motoričnih enot z višjim motoričnim pragom. Pri hoteni mišični aktivaciji je rezultat pokazal, da se je pri hoteni aktivaciji aktiviralo 5,7 % hitrih mišičnih enot z višjim motoričnim pragom. Pri uporabi ŽMES se je aktiviralo 35 % parov mišičnih enot z višjim rekrutacijskim pragom. To pomeni, da je bila aktivacija mišičnih enot s uporabo ŽMES bolj učinkovita z vidika aktivacije večjega števila hitrih motoričnih enot.

Bergquist in drugi (2011) so raziskovali, kako periferna (neposredna aktivacija aksonov motoričnih vej) in centralna (rekrutacija hrbtenjačnih aksonov motoričnih vej) mehanizma

prispevata k električno izzvani kontrakciji. Pomembna razlika je, da je rekrutacija motoričnih enot po centralnem mehanizmu aktivacije bolj organizirana in manj sinhrona kakor periferni mehanizem. Ugotovili so, da lahko nekatere omejitve ŽMES (zlasti neugodje in naključna rekrutacija) zmanjšamo s povečanjem aktivacije centralnih poti. Maffiuletti (2010) pravi, da če izvedemo predaktivacijo, je rekrutacija motoričnih enot skozi centralne poti veliko bolj urejena, manj sinhrona in bolj prostorsko razpršena po vsej mišici kakor rekrutacija, izzvana samo po periferni poti.

5.2 Akutni učinki

Akutni učinki so značilni po tem, da so opazni v kratkem času uporabe ŽMES. Vidijo se predvsem kot poškodba mišice in v povečanju mišične moči. Ena izmed bolj tveganih posledic akutne uporabe ŽMES je lahko rabdomioliza.

Mackey in ostali (2011) so nedavno pokazali, da se posledice poškodb mišice gastrocnemius, povzročene zaradi ŽMES vidijo v neorganiziranih odzivih v znotrajcelični vezivni matriki. Kot posledica temu sledi anaboličen odziv, ki vodi v ekstracelularno matrično preoblikovanje. Pomembno je, da se najdejo odgovori na mehanizme, povzročene zaradi ŽMES pri akutni uporabi. Po Maffiuletto in ostalih (2011) je zlasti pomembno odkriti, ali je poškodba, povzročena z živčno-mišično električno stimulacijo, specifična za določeno vrsto dražljaja ali pa se spreminja s podaljšanjem kontrakcij, kar predstavlja tradicionalen eksperimentalni model za preučevanje poškodb mišic in regeneracije.

Eden izmed akutnih učinkov je, da se pri vadbi za moč z ŽMES poveča sila pri maksimalni hoteni kontrakciji zaradi živčnih prilagoditev v zdravi mišici. Kljub temu, da aktivacija pri električni stimulaciji in aktivacija pri hoteni kontrakciji aktivirata mišice na drugačen način, obstajajo dokazi, da električna stimulacija spremeni vzdražljivost specifičnih živčnih poti in pomembno prispeva k povečanju sile pri maksimalni hoteni kontrakciji (Maffiuletti, 2011).

Akutni učinek uporabe ŽMES je lahko tudi poškodba mišice. Nosaka in ostali (2011) so po analizi najnovejših razpoložljivih dokazov o poškodbah mišic ugotovili, da so bile poškodbe mišic zaradi uporabe ŽMES podobne poškodbam mišic, povzročenim s hoteno ekscentrično kontrakcijo. Nosaka in ostali (2011) so primerjali akutno uporabo ŽMES v primerjavi s

hotenimi kontrakcijami. Ugotovili so, da so bile posledice hotenih kontrakcij v manjši maksimalni moči, v povečanem nivoju kroženja mišičnih proteinov v krvi in DOMS-u.

Guarascio in drugi (2004) so poročali o primeru rabdomiolize (stanje, v katerem se poškodovana skeletna mišica hitro utruje, je šibka, pride do pojava razkroja skeletne mišičnine) pri mladem moškem, kjer je bilo moč zaslediti hudo astenijo in večjo raven mišičnih beljakovin v krvnem obtoku kot posledico prekomerne uporabe ŽMES. Tudi če pri rutinskih meritvah v krvnem obtoku ne zasledimo mišičnih beljakovin, kot sta kreatin kinaza in mioglobin, je med uporabo ŽMES vseeno priporočljivo opraviti meritve pred vadbo in oceno ščitnice in ledvic, da olajšamo vrednotenje nadaljnjih omejitev mišic.

Še posebej moramo biti pozorni pri posameznikih, ki izvajajo vadbo z ŽMES in so izpostavljeni zdravljenju z zdravili, ki bi lahko povzročila spremembe v mišici (na primer statini) ali v primeru posebnih skupin bolnikov (na primer kritično bolnih bolnikov). Prav tako je zelo pomembno, da opozorimo vse osebe, ki uporabljajo ŽMES, da prenehajo z uporabo v primeru pojava različnih simptomov, na primer pri šibkejših mišicah ali temnejšem obarvanju urina (Maffiuletti in drugi, 2011).

Potrebno je razjasniti, ali so učinki vadbe z ŽMES na mišico in živčno plastičnost zmanjšani s tem, ko se poškodba mišice zmanjša, problem pa je pomanjkanje raziskav. Hipoteza je, da je nekaj poškodbe nujno potrebne za doseg mišične hipertrofije in izboljšanje moči, ki bi ju lahko dosegli z ŽMES (Maffiuletti, 2011).

5.3 Dolgotrajni učinki

Dolgotrajni učinki so vidni kot rezultat posledice dolgotrajne uporabe ŽMES. Pri dolgotrajnih učinkih raziskujemo mišične in živčne prilagoditve s poudarkom na slednjih.

Po Vanderthommnu in Duchateau (2007) vadba za moč z ŽMES vpliva tako na živčne kot tudi mišične prilagoditve, ki so primerljive učinkom vadbe za moč s hotenimi mišičnimi aktivacijami (voluntary resistance training). Pomembno je, da se raziskave o dolgotrajnih učinkih usmerijo v procese živčnih prilagoditev, povzročenih zaradi ŽMES. Ti mehanizmi, na primer vzdražnost možganske skorje, se lahko po Gondinu in drugih (2011a) raziskujejo s

pomočjo transkranijske magnetne stimulacije in funkcionalno magnetno resonanco s tehnologijo, ki je danes razmeroma dostopna.

Dejavnike, ki vplivajo na rezultate pri vadbi za moč, še posebej tiste, ki jih je potrebno kontrolirati, na primer intenzivnost vadbe, je potrebno še bolj podrobno raziskati. Ko bodo fiziološki mehanizmi, povezani z živčnimi ali mišičnimi spremembami zaradi vadbe z ŽMES utemeljeni z dokazi študij, bodo lahko tudi bolj usmerjeni v skladu z individualnimi potrebami končnega uporabnika. To bo privedlo do bolj znanstvene in kompatibilne uporabe ŽMES v kliničnem okolju (Gondin in drugi, 2011b).

6. Učinki vadbe z živčno-mišično električno stimulacijo

Ponekod po svetu električno stimulacijo uporabljajo pri športnikih, torej pri zdravih ljudeh za večjo mišično maso in mišično silo. Največ so jo uporabljali v Sovjetski zvezi, predvsem pri športnikih, ki potrebujejo večjo mišično moč. Nekateri fiziologi menijo, da je električni tok najboljše sredstvo za zunanje draženje sicer normalno oživčenih mišic, saj ga je mogoče poljubno dozirati. S površinsko električno stimulacijo je mogoče selektivno izvajati vadbo za posamezno pomembno mišico in mišično skupino, ki je razmeroma blizu pod kožo. Sistematična električna stimulacija, ki povzroča krčenje mišic, poveča prostornino oziroma maso stimuliranih mišic in tako poveča sile hotenega krčenja le-teh. Vadba z uporabo električne stimulacije v izometričnih pogojih pa ne vpliva na sposobnost koordinacije pri voljnem gibanju (Štefančič in drugi, 2011).

Po Štefančiču in drugih (2011) lahko v primerjavi s hotenim krčenjem mišic električna stimulacija maksimalno aktivira ves kontrakcijski aparat ali pa vsaj privede k močnejšemu krčenju mišic, kot ga dosežemo pri hotenem nadzoru. Poleg tega se maksimalna kontrakcija mišic, ki jo dosežemo s pomočjo električne stimulacije, obdrži dosti dlje kot pri hotenem naprežanju in jo lahko tudi ponavljamo. Zato lahko z uporabo električne stimulacije mišično maso povečamo, pri čemer pa ni nujno, da bi oseba, ki ji mišice stimuliramo, uporabila kakršen koli napor. Uporablja se tudi možnost vadbe hotenega mišičnega krčenja sočasno z uporabo električne stimulacije.

Po Enoki (2015) je glavni cilj vadbe z ŽMES izboljšati funkcijo mišice, v največ primerih mišično moč. Dokazano je, da se po nekaj tednih uporabe živčno-mišične električne stimulacije funkcija mišice izboljša podobno kot če bi trenirali s hotenimi mišičnimi kontrakcijami.

Kot primer učinka vadbe z ŽMES na mišično moč so Julien Gondin in drugi (2005) preučevali 20 mladih moških v 8-tedenskem programu živčno-mišične električne stimulacije na kvadriceps femorisu. Na mišice vastus lateralis in vastus medialis so namestili elektrode s površino 5 cm x 5 cm, eno elektrodo s površino 10 cm x 5 cm pa približno 6 cm pod dimljami. Protokol ŽMES je izvajal pravokotne pulze (400 μ s vsak vlak impulzov pri 75 Hz pa je trajal 6,25 sekunde). Premor med vsakim izmed 40 vlakov impulzov je trajal 20 sekund. Rezultat po

32 vadbenih enotah za mišice iztegovalke kolena pri maksimalni hoteni kontrakciji je bila sila, za 27 % večja od sile, izvedene pred začetkom raziskave.

Podobni rezultati, predvsem v boljši funkcionalnosti mišice, so vidni tudi v kliničnih raziskavah. Primeri s pozitivnim napredkom so vidni tudi na področju rehabilitacije po operaciji sklepov, na primer v raziskavi Stevens-Lapsleya in drugih (2012), kjer so ŽMES uporabili po operaciji križne vezi za krepitev kvadricepsa. Po Enoki (2015) je zelo učinkovita in uspešna rehabilitacija z ŽMES atrofirane skupine mišic, ki tvori kvadriceps femoris. Po dlje časa trajajoči mišični neaktivnosti, na primer pri atrofiji kvadriceps femoris, je hotena mišična kontrakcija majhna, z živčno-mišično električno stimulacijo pa je mogoče doseči uspešno rehabilitacijo.

6.1 Živčne prilagoditve pri vadbi za moč z ŽMES

Po Hortobagyiju in Maffiulettu (2011) je pri vadbi za moč možno učinkovito vključiti ŽMES, vendar na vadbo z ŽMES gledamo bolj na živčno kakor mišično tehniko zdravljenja zlasti pri nevroloških bolnikih.

Hortobagyij in Maffiuletti (2011) sta raziskovala spremembe v delovanju centralnega živčnega sistema (živčne prilagoditve), ki se lahko pojavijo pri vadbi za moč z ŽMES, kjer se vključujejo hrbtenjačni in nadhrbtenjačni mehanizmi. Ugotovila sta, da se povečanje maksimalne hotene kontrakcije zaradi vadbe z ŽMES bolj opazi na nadhrbtenjačni ravni kakor na nivoju hrbtenjače. Dejstvo je da lahko imata ŽMES in vadba s hoteno aktivacijo za moč različne nadhrbtenjačne učinke na kontralateralni homologni mišici. Somatosenzorični in nociceptivni vhodi, povezani z uporabo ŽMES, lahko privedejo do sprememb vzdraženosti v motorični skorji, kar lahko povzroči funkcionalne izboljšave. Poleg tega obstajajo dokazi, da je s pomočjo ŽMES možno spremeniti vzdraženost interhemisferičnih povezav ter verjetno tudi ravnotežje med interhemisferično ekscitacijo in inhibicijo. Ta dejstva vodijo k domnevi, da na vadbo z ŽMES gledamo bolj na živčno kakor na mišično tehniko zdravljenja (Hortobagyij in Maffiuletti, 2011).

Po Douchateau in drugih (1992) je živčno-mišična električna stimulacija del vadbe s hoteno aktivacijo ker specifično vzbudi aktivacijo večjih motoričnih enot, ki jih je sicer težko aktivirati

s hotenimi kontrakcijami. Mišična sila, ki nastane zaradi vadbe z živčno-mišično električno stimulacijo, je podobna, največkrat ne veliko večja od sile, ki jo povzroči vadba s hoteno aktivacijo.

Živčno-mišična električna stimulacija se uporablja za krepitev mišic pacientov s patologijami kot tudi gibalno neaktivnih in zdravih oseb. ŽMES učinkovito zavira propadanje mišic zaradi denervacije ali imobilizacije ter optimizira obnovo mišične moči med rehabilitacijo. Učinkovita je tudi pri športnikih s poškodovanimi in bolečimi okončinami, saj lahko skrajša čas rehabilitacije in pomaga pri krepitvi živčnih poti ter pomaga pri varni vrnitvi v tekmovalno formo (Douchateau in drugi, 1992).

7 Metode dela ŽMES

Cilj tega poglavja je pojasniti metode dela in opisati optimalne točke stimulacije motorične točke ter atlas motoričnih točk.

Gobbo in ostali (2011) so objavili prepričljive dokaze o pomembnosti določitve motorične točke za zmanjšanje jakosti toka in nelagodja ter za povečanje mišične napetosti, ki nastane kot posledica ŽMES. Namen raziskave je bilo ugotoviti vpliv dveh različnih ŽMES na izzvan navor mišice ter na lokalno oksigenacijo tkiva. V prvem načinu (MP) je bila katoda (negativna elektroda) na glavni motorični točki mišice in je bila amplituda ŽMES nastavljena na takšno stopnjo, da je izzvala maksimalno električno aktivacijo glede na amplitudo EMG. V drugem načinu (RC) so bile elektrode nameščene na motorične točke v skladu z navodili in priporočili proizvajalcev električnih stimulatorjev, medtem ko je bila amplituda določena glede na toleranco testirane osebe. Mišice desetih preiskovancev (28 ± 8,2 let), ki so jih testirali, so bile tibialis anterior in vastus lateralis. Testiranje je potekalo s pomočjo posebnih dinamometrov za merjenje izometričnega navora. Za lažje zaznavanje električne aktivnosti in lokalnih presnovnih sprememb so bili na trebuh mišice nameščeni EMG in sonda infrardeče spektroskopije. Stimulacijski protokol je bil sestavljen iz postopnega povečevanja frekvence iz 2 Hz do 50 Hz v 7,5 sekundah.

Analizirani parametri krčenja pri MP načinu so bili tako kontraktilni (vrh skrčka, tetanični navor, površina pod navorom) kot tudi presnovni dejavniki (poraba kisika in hiperemija zaradi kopičenja presnovkov). Pri MP načinu so bile sile večje. Pomemben rezultat pri MP načinu je bila bolj udobna izvedba za preiskovance. Če temeljimo na predpostavkah, da so mehanske in metabolične stimulacije nujen pogoj za krepitev mišic, rezultati jasno kažejo pomen optimalne, torej udobne in učinkovite stimulacije za spodbujanje omenjenih mišic k spremembam. Pri tej raziskavi so uporabili tudi skoraj-infrardečo spektroskopijo, ki je kot tehnika še posebej primerna za preiskovanje lokalnih metaboličnih sprememb pri stimuliranih mišicah. Niso pa mogli dokazati, da se je poleg kontraktilne dejavnosti poraba kisika v mišicah znatno povečala v primeru, ko je bila lokacija motorične točke določena z igelno elektrodo ali ko je bila določena z drugimi klasično uporabljenimi motoričnimi točkami. Za optimizacijo uporabnosti ŽMES je nujno, da se postopek, opisan v tej raziskavi, dosledno vključi v oba, klinični ter raziskovalni kontekst (Gobbo in ostali, 2011).

Botter in ostali (2011) so raziskovali enotnost lokacije motoričnih točk mišic spodnjih okončin pri zdravih osebah in našli različne motorične točke, ki so inervirale različne dele kvadricepsa, zadnje stegenske mišice in mišice tibialis anterior. Namen raziskave je bilo ugotoviti enotnost lokacije mišične motorične točke spodnjih udov zdravih oseb. Pri raziskavi je sodelovalo petintrideset oseb obeh spolov (starost 18–50 let). Motorične točke mišic so bile opredeljene za naslednjih 10 mišic spodnjega uda: vastus medialis, rectus femoris in vastus lateralis pri kvadricepsu, biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus, tibialis anterior, peroneus longus ter oba gastrocnemiusa. Motorične točke mišic so bile identificirane s "skeniranjem" površine kože s stimulacijsko igelno elektrodo. Pri vsaki mišici so našli lokacijo točke nad mišico, kjer je električni impulz izzval skrček v mišici z najmanjšo količino toka. V vsako preiskovano mišico so bili preko igelne elektrode poslani kvadratni impulzi dolžine 15 ms pri majhni amplitudi toka (<10 mA) in majhni frekvenci (2 Hz).

V tej raziskavi so Botter in ostali (2011) v 10 preiskovanih mišicah identificirali 16 motoričnih točk, in sicer 3 za vastus lateralis, 2 za rectus femoris, 2 za vastus medialis, 2 za biceps femoris, 2 za tibialis anterior, 1 motorično točko pa pri ostalih mišicah. Pomembno variabilnost je bilo moč opaziti pri položaju naslednjih 4 od 16 motoričnih točk: vastus lateralis, biceps femoris, semimembranosus in pri medialnem gastrocnemiusu. Dejstvo je, da so bile različne pozicije elektrod in različnih postopkov električne stimulacije drugačne in niso bile na istih mestih kakor pri običajnih postopkih iskanja motoričnih točk v mišicah spodnjih okončin.

Na podlagi tega so ugotovili, da bi lahko izboljšali prostorsko rekrutacijo pri ŽMES s pomočjo večkanalne stimulacijske tehnike, ki vključuje nesinhrono aktiviranje različnih volumnov mišice. Nedavno so dokazali, da asinhrona nizkofrekvenčna (16 Hz) stimulacija kvadricepsa z uporabo elektrode (štirje kanali) izzove močno združeno (fused) kontrakcijo z manjšo mišično utrujenostjo v primerjavi s stimulacijo z enim kanalom pri visoki frekvenci (30 Hz) (po Maffiuletti in drugi, 2011).

8 Uporaba ŽMES

V tem poglavju je cilj razjasniti uporabo ŽMES za izboljšanje mišične funkcije in njene učinke pri vadbi za moč, kako na uporabo vpliva intenzivnost ŽMES ter uporabo električne stimulacije kot orodja za regeneracijo.

V Millet in ostali (2011) je moč zaslediti podatek, ki predstavlja potencial in prednosti električne stimulacije, saj so potrdili, da so v nasprotju z maksimalnimi hotenimi kontrakcijami kontrakcije z električno stimulacijo malo ali pa sploh neodvisne od vpliva motivacijskih faktorjev in so zato zlahka standardizirane.

Heterogenosti različnih postopkov električne stimulacije za vadbo z ŽMES je zelo pomembna pri analizi raziskav, prav tako pa tudi vrednotenje živčno-mišičnih funkcij, saj imajo različni laboratoriji kot tudi raziskovalci različne stimulacijske naprave, karakteristike električnega toka, ureditve elektrod in ostalih dejavnikov. Zagotovo je vse večja uporaba magnetne stimulacije zmanjšala takšno heterogenost, čeprav, kot so razpravljali Millet in ostali (2011), maksimalna izhodna moč sodobnih magnetnih stimulatorjev enostavno ni dovolj primerna za osebe z veliko podkožnega maščobnega tkiva, saj ne prodre dovolj globoko v tkivo.

V Gondin in drugi (2011b) je bila ŽMES priznana kot učinkovito orodje, ki vodi v vidne izboljšave v izometrični maksimalni moči s hoteno aktivacijo. Vendar pa so rezultati, ki kažejo na spremembe v dinamični moči, v motoričnih spretnostih in pri eksplozivnih gibih (na primer skoki, šprinti) še vedno nejasni. Učinkovitost ŽMES je najbolj opazna, ko jo uporabimo v kombinaciji z dinamično vadbo s hoteno aktivacijo, na primer s pliometrijo (po Enoka, 2015 in Gondin in drugi, 2011b). Poleg tega so učinki uporabe ŽMES na mišično utrujenost še vedno slabo pojasnjeni in zahtevajo nadaljnje preiskave.

8.1 Intenzivnost vadbe z ŽMES

Kot je že poudaril Maffiuletti (2010), je tako imenovana intenzivnost vadbe z ŽMES glavna determinanta učinkovitosti vadbe. Glavni dejavnik pri ŽMES je torej učinkovitost rekrutacije. Z drugimi besedami, mišice opravijo največjo relativno tenzijo, ko jih stimuliramo z ŽMES (Maffiuletti in drugi, 2011).

Učinkovitost ŽMES je delno povezana z različnimi zunanjimi faktorji, kot so intenzivnost vadbe, intenzivnost električne stimulacije, trajanje stimulacijskega impulza, od načrtovanja vadbe (število kontrakcij na vadbeno enoto) in od anatomskih značilnosti (na primer morfološka organizacija aksonskih vej v mišici). To so glavni faktorji, ki predstavljajo razlike v odzivu na ŽMES. Živčno-mišično električno stimulacijo ni primerno šteti kot metodo za nadomestilo vadbe temveč kot dodatek k vadbi s hoteno kontrakcijo za vzdržljivost. Kombinacija teh dveh načinov vadbe izboljša in optimizira delovanje mišic (Gondin in drugi, 2011a).

Po Lai in drugi (1988) lahko v kombinaciji ŽMES in hotenimi kontrakcijami pri vadbi za moč povečamo oziroma maksimiziramo silo kot če bi jo izzvali samo s hotenimi kontrakcijami pri vadbi za moč. Maffiuletti in drugi (2011) so zbrali različne podatke o pridobivanju mišične moči pri maksimalni hoteni kontrakciji iz različnih študij glede na intenzivnost vadbe. Na podlagi teh podatkov so potrdili, da obstaja pomembno razmerje med dvema spremenljivkama, intenzivnostjo in pridobivanjem moči s hoteno kontrakcijo.

8.2 ŽMES kot orodje za regeneracijo po vadbi.

Izboljšanje procesov regeneracije po vadbi je bistvenega pomena in obstaja veliko različnih možnosti in načinov za izvedbo regeneracije. Med njimi je ŽMES v veliki meri dobrodošla in uporabljena pri veliko različnih športov, še posebej pri vzdržljivostnih športih in pri ekipah elitnih športnikov (Babault in drugi, 2011).

Babault in drugi (2011) so se ukvarjali z najnovejšimi razpoložljivimi dokazi o učinkovitosti ŽMES kot orodja za regeneracijo po vadbi. Profesionalni šport zahteva veliko količino zelo visoko intenzivne vadbe, kar neizogibno povzroča živčno-mišično utrujenost, to pa negativno vpliva na telesno zmogljivost, zato je uspešna in učinkovita regeneracija nujno potrebna.

Pri električni stimulaciji za regeneracijo po vadbi športniki uporabljajo majhne stimulacijske frekvence, ki povzročijo kontrakcije s kratkim trajanjem in manjšo intenzivnostjo, kar je primerljivo z aktivno regeneracijo. To koristi mišici, saj se tako hitreje odstranijo odpadni metaboliti, kar pospeši proces regeneracije med in po vadbi ali tekmi. Kljub temu, da živčno-mišično električno stimulacijo pogosto uporabljamo za regeneracijo, obstaja malo dokazov o

učinkih za izboljšanje večine fizioloških spremenljivk ali za zmanjšanje subjektivne ocene mišičnih bolečin (Maffiuletti in drugi, 2011).

Zelo pomembno je, da se pri vadbi z ŽMES poveča pretok krvi, kar povzroči pospešeno izplakovanje odpadnih produktov. Ker je mišična rekrutacija z električno stimulacijo zelo omejena in neurejena, si je teoretično težko predstavljati, kako bi to pospešilo časovni potek regeneracije po vadbi športnikov, čeprav v praksi deluje (Maffiuletti in drugi, 2011).

Po Barnettu (2006) se ni nobena od najpogostejših metod za regeneracijo (na primer masaža, aktivna vadba in raztezanje) izkazala za učinkovito pri pospeševanju procesa regeneracije športnikov, tako da je morda vprašanje, ki se ga moramo vprašati, ali enostavno zapravljamo naš čas z raziskovanjem (Maffiuletti, 2011)? V zvezi za psihološke koristi regeneracije kot tudi z bolečino, ki je povzročena med vadbo z ŽMES, je potrebno opraviti še veliko raziskav in zbrati veliko dokazov, preden se odločimo, ali je ŽMES zagotovo veljavno sredstvo za okrevanje in regeneracijo po vadbi.

9. Optimizacija uporabe ŽMES

Po Maleseviću in drugih (2010) ter Bustamanteju in drugih (2010) sta glavni omejitvi, povezani z uporabo ŽMES, nelagodje in relativno nepopolna rekrutacija mišice. Več pozornosti je potrebno nameniti alternativnim tehnikam, strategijam in orodjem, ki so zmožni zmanjšati vpliv teh dveh omejitev pri uporabi ŽMES, na primer uporabo distributiranja ŽMES. Električna stimulacija z več kanali, z velikimi elektrodami in magnetno stimulacijo bi morala biti bolj pod drobnogledom raziskav kakor klasična ŽMES, ki je veliko bolj raziskana. Svetovno soglasje za standardizacijo ŽMES terminologije bi moralo vključevati karakteristike kontrakcije in bolj enotno uporabo ŽMES tako v raziskavah kot v kliničnih okoljih.

10. Učinkovitost ŽMES

Čeprav so ŽMES v zvezi z vadbo za moč najprej uporabljali za zdravljenje mišične atrofije in posledično za imobilizacijo ali denervacijo mišic (Maffiuletti in drugi, 2011), je bila uporaba običajno namenjena v raziskovalne namene, medtem ko je bila uporaba ŽMES v kliničnem okolju relativno omejena. Posledično je bil izvor (živčni VS mišični) in časovni potek prilagoditev vadbe za moč z ŽMES obširno preučevan v zdravi, vendar ne tudi patološki populaciji. Zelo pomembno je, da se vrzel, ki je ostala za klinično raziskovanje ŽMES, izpopolni. Izkušnje, pridobljene iz raziskav mehanizmov vadbe, je potrebno usmeriti k uporabi za patološke pojave. Pacienti iz srčno-žilne in interne medicinske oskrbe, kjer kritično bolni s pomočjo električne stimulacije uspešno ohranjajo svojo mišično maso in funkcijo mišic, so dober dokaz potencialne uporabe ŽMES (Vivodzev in drugi, 2008).

Živčno-mišična električna stimulacija se pogosto uporablja za zmanjšanje mišične atrofije, zmanjšanje utrujenosti, zmanjšanje izgube kostne mase in tudi za zmanjšanje upada srčno-žilnih funkcij (Maffiuletti in drugi, 2011).

10.1 Večja mišična moč v športu s pomočjo ŽMES

Na povečevanje mišične moči s pomočjo ŽMES vplivajo številni dejavniki: oblika, trajanje in intenziteta impulzov, frekvenca, trajanje stimulacije, celotno število apliciranih impulzov, velikost in pozicija elektrod, število in razpored seans ... Po Novaku in drugih (2016) naj bi bil najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na porast mišične moči pri frekvencah nad 14 Hz skupno število apliciranih impulzov, ki jim je mišica podvržena. Pravilna izbira trajanja kontrakcij in odmorov ter razmerja med njimi (t. i. režima obremenitev, angl. duty cycle) ima poleg ostalih uporabljenih parametrov ključno vlogo pri uspešnosti ŽMES (Novak in drugi, 2016).

Zanimiv primer uporabe ŽMES za povečanje moči je potekal na igralcih ragbija. Mišice kvadriceps femoris, gluteus maximus in triceps surae so bile izometrično izolirane, vadba z ŽMES v kombinaciji z vadbo s hoteno aktivacijo pa je imela po dvanajstih tednih vadbe rezultate v povečanju največje (maksimalne) zavestne moči (Dehail in drugi, 2008).

V Dehail in drugi (2008) so vzporedno delali še eno raziskavo na istih testirancih, kjer so uporabljali kombinacijo električne stimulacije in vadbo pliometrije za mišico kvadriceps femoris. Po 3-tedenski uporabi kombinacije obeh vadb se je pri igralcih ragbija povečala maksimalna mišična moč, prav tako pa vertikalni skok in šprint. Izkazalo se je, da se je pri vadbi, kjer so uporabili samo električno stimulacijo brez dodatnih pliometričnih vaj hitrost šprinta celo malo zmanjšala. To pomeni, da je električna stimulacije večinoma najbolj učinkovita, kadar se izvaja v kombinaciji z vadbo, v tem primeru s pliometrijo.

11. Zaključek

Da bi razvili najbolj optimalno uporabo in možnosti ŽMES v kliničnem okolju ter raziskati njeno učinkovitost ter časovni potek živčnih prilagoditev za posebne populacije bolnikov, je potrebnih še veliko raziskav.

Ker je testiranje mišic zahtevno opravilo, bodo zagotovo prihodnje raziskave lahko dosegle nove ugotovitve z uporabo stimulacijskih vzorcev, ki so blizu realnim razmeram in zelo pomembni za nadaljnje vrednotenje obstoječih metod dela ali pa se bodo zasnovali novi vzorci električne stimulacije. Pomembno je, da se potrdi hiter, enostaven, standardiziran in celovit postopek za oceno in vivo delovanja živčno-mišičnega sistema v kliničnih okoljih ter določiti, s katerimi parametri bi najlažje manipulirali glede na značilnosti bolnikov in zastavljene cilje (Maffiuletti in drugi, 2011).

To bi dalo jasno sliko o centralni (aktiviranje mišic) in periferni (kontraktilnost mišic) komponenti delovanja živčno-mišičnega sistema in vsekakor zmanjšalo heterogenost ter izboljšalo vrednotenje živčno-mišične električne stimulacije. V zvezi z optimizacijo okrevanja po vadbi se je pri prihodnjih raziskavah potrebno osredotočiti predvsem na akutne fiziološke učinke, ki so netetanični in na nizke intenzivnosti ŽMES (na primer povečana prekrvavitev in metabolične spremembe). Ker ni znanstvenih dokazov, da bi lahko ŽMES zagotavljala nekatere fiziološke koristi za športnike, njena uporaba ne sme biti nujno ali edino sredstvo za regeneracijo po vadbi, vsaj s fiziološkega vidika ne (Maffiuletti in drugi, 2011).

12. Viri

1. Babault N., Cometti C., Maffuletti NA. In Deley G. (2011). *Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery?* European journal of Applied Physiology. Oktober 2011. pridobljeno iz: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00421-011-2117-7>
2. Bergquist A., Clair J, Lagerquist O in drugi (2011). *Neuromuscular electrical stimulation: implications of the electrically-evoked sensory volley.* Eur J Appl Physiol. Pridobljeno iz: <http://10.1007/s00421-011-2087-9>
3. Bickel CS., Gregory CM. in Deal JC. (2011). *Motor recruitment during neuromuscular electrical stimulation: A critical appraisal.* European Journal of Applied Physiology. Oktober 2011. Pridobljeno iz: <http://10.1007/S00421-011-2128-4>. Epub 2011
4. Botter A., Oprandi G., Lanfranco F., Allasia S., Maffiuletti NA. in Minetto MA. (2011). *Atlas of the muscle mototr points for lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning.* European Journal of Applied Physiology. Oktober 2011. Pridobljeno iz: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00421-011-2093-y>
5. Bustamante V., Lopez E., Gorostiza A., Jimenez U. in Galdiz JB. (2010). *Muscle training with repetitive magnetic stimulation of quadriceps in severe COPD patients.* Respir Med 104:237-2456.
6. Dehail P., Duclos C. in Barat M. (2008). *Electrostimulation et gain de force musculaire.* Universite de mont real. Quebec, Canada
7. Doucet B., Lam A. in Griffin L. (2012). *Neuromuscular ES for skeletal muscle function.* Yale J Biol Med. Pridobljeno iz <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3375668/>
8. Enoka Roger M. (2015). *Neuromechanics of human movement.* University of colorado, Boulder. Fifth edition.
9. Gobbo M., Gaffurini P., Bissolotti L., Esposito F. in Orizio C. (2011). *Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation: Influence of electrode positioning and stimulus*

amplitude settings on muscle response. Eur J Appl Physiol. Pridobljeno iz:

<http://10.1007/s00421-011-2047-4>

10. Gondin J., Brocca L., Bellinzona E., D'Antona G., Maffiuletti NA., Miotti D., Pellegrino MA. in Bottinelli R (2011a). *Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: a functional and proteomic analysis.* J Appl Physiol. 110:433–450

11. Gondin J., Cozzone PJ. in Bendahan D. (2011b). *Is High frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes?* European Journal of Applied Physiology. Oktober 2011. Pridobljeno iz: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00421-011-2101-2>

12. Gondin J., Guette M., Ballay Y. in Martin A. (2005). *Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture.* Medicine and science in sports and exercise, 37, 1291-1299

13. Guarascio P., Lusi EA. In Soccorsi F. (2004). *Electronic muscular stimulators: a novel unsuspected cause of rhabdomyolysis.* Br J Sports Med 38:505

14. Hainaut K. in Duchateau J. (1992). *Neuromuscular electrical stimulation and voluntary exercise.* Sports med, aug 142, 100-113. Pridobljeno iz: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1509225>

15. Harkopp A., Harridge S.D.R., Mizuno M., Rathevicus A., Quistorff B., Kjaer M., Biering-Sorensen F. (2003). *Effect of training on contractile and metabolic properties of wrist extensors in spinal cord-injured individuals.* Muscle and Nerve, 27, 127-140.

16. Hortobagyi T. in Maffiuletti NA (2011). *Neural adaptations to ES strength training.* Eur J Appl Physiol. Oktober 2011, 2439–2449. Pridobljeno iz <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3175340/>

17. Lai HS., De Domenico G. in Strauss GR (1988). *The effect of different electro-motor stimulation training intensities on strength improvement.* Aust J Physiother 34:151–164

18. Mackey AL., Brandstetter S., Schjerling P., Bojsen-Moller J., Qvortrup K., Pedersen MM., Doessing S., Kjaer M., Magnusson SP. in Langberg H (2011). *Sequenced response of*

extracellular matrix deadhesion and fibrotic regulators after muscle damage is involved in protection against future injury in human skeletal muscle. FASEB J, 25:1943–1959

19. Maffiuletti NA., Minetto MA., Farina D. in Bottinelli R. (2011). *Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: State-of-the art and unsolved issues.* European Journal of Applied Physiology. Avgust 2011. Pridobljeno iz: <http://www.10.1007/s00421-011-2133-7>

20. Maffiuletti NA. (2010). *Physiological and ethodical considerations for the use of the neuromuscular electrical stimulation.* European Journal of Applied Physiology. September 2010. Pridobljeno iz: <http://www.10.1007/s00421-010-1502-y>

21. Malesević NM., Popović LZ, Schwirtlich L in Popović DB. (2010). *Distribited low-frequency functional electrical stimulaton delays muscle fatigue compared to conventional stimulation.* Muscle nerve 42: 556-562

22. Millet GY., Martin V., Martin A., in Verge S. (2011). *Electrical stimulation for testing neuromuscular function: from sport to pathology.* Eur J Appl Physiol. Pridobljeno iz: <http://10.1007/s00421-011-1996-y>

23. Nosaka K., Aldayel A., Jubeau M. in Chen TC (2011). *Muscle damage induced by electrical stimulation.* Eur J Appl Physiol. Pridobljeno iz: <http://10.1007/s004021-011-2086-x>

24. Novak P., Vidmar G., Bajuk S., Tomšič I. in Štefančič M. (2016). *Moč mišične kontrakcije, izvabljene z električno stimulacijo.* Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS-Soča, Ljubljana. Revija Rehabilitacija. Izdaja 25, št. 3 (2016)

25. Stevens-Lapsley, J.E., Balter J.E., Wolfe P., Eckoff D.G.in Kohrt W.M. (2012). *Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplast: a randomized controlled trial.* Physical therapy, 92, 210-226

26. Štefančič M., Bajuk S., Vidmar G., Novak P., Zupanc A., Tomšič, I., Petrovšek Gregorin R., Kic N., Omerzo M. in Cikajlo I. (2011). *Prikaz dveh načinov krepite skeletnih mišic z električno stimulacijo.* Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS-Soča, Ljubljana. Revija Rehabilitacija. Izdaja 10, št. 1 (2011)

27. Vanderthommen M. in Duchateau J. (2007). *Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system.* Exerc Sport Sci Rev 35:180–185

28. Vivodtzev I., Lacasse Y. in Maltais F. (2008). *Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease*. J. Cardiopulm Rehabil Prev 28:79-91