

Aus dem
Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik
Abteilung III – Trainingswissenschaftliche Interventionsforschung
der Deutschen Sporthochschule Köln
Geschäftsführender Leiter: Prof. Dr. Daniel Memmert

Anwendbarkeit & Effektivität von Ganzkörper- Elektromyostimulation in athletischen, gesunden & klinischen Populationen

An der Deutschen Sporthochschule Köln
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Sportwissenschaft (Dr. Sportwiss.)

angenommene Dissertation

vorgelegt von

Florian Micke

aus
Greven

Köln, 2023

Erster Gutachter: Prof. Dr. Lars Donath
(Deutsche Sporthochschule Köln)

Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Patrick Wahl
(Deutsche Sporthochschule Köln)

Vorsitzender des
Promotionsausschusses: Prof. Dr. Mario Thevis
(Deutsche Sporthochschule Köln)

Datum der Disputation: 09. Mai 2023

Eidesstattliche Versicherungen gem. § 7 Abs. 2 Nr. 4 und 5 der
Promotionsordnung der Deutschen Sporthochschule Köln, 20.02.2013:

Hierdurch versichere ich:

Ich habe diese Arbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen
Quellen und technischen Hilfen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur
Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder
Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Hierdurch erkläre ich, dass ich die „Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis“ der
Deutschen Sporthochschule Köln eingehalten habe.

11.05.2023,



Datum, Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Zusammenfassung	1
Abstract (English).....	4
1 Einleitung	6
2 Forschungsstand	9
3 Ziel der Dissertation	17
4 Studienübersicht	20
4.1 Publikation 1	20
4.2 Publikation 2	22
4.3 Publikation 3	24
5 Diskussion.....	26
6 Ausblick	37
Literaturverzeichnis.....	43
Publikationsliste	56
Peer Reviewed Journals.....	56
Konferenzbeiträge	57

Abkürzungsverzeichnis

CK	Kreatinkinase
CNBP	Chronische, unspezifische Rückenschmerzen
CON	Kontrollgruppe
CT	Konventionelles Training
EMG	Elektromyografie
EMS	Elektromyostimulation
ES	Elektrische Stimulation
FES	Funktionale Elektrische Stimulation
F _{max}	Maximalkraft
FU	Follow Up
INT	Interventionsgruppe
LC	Leg Curl
LE	Leg Extension
LP	Leg Press
mNMES	Neuromuskuläre Elektrische Stimulation am Muskelbauch
MPI	Mittlere Schmerzintensität
MVC	Maximal Voluntary Contraction
NMA	Netzwerk Meta-Analyse
NMES	Neuromuskuläre Elektrische Stimulation
nNMES	Neuromuskuläre Elektrische Stimulation am Nervenstamm
P _{max}	Maximale Leistung
RCT	Randomisierte kontrollierte Interventionsstudien
SMD	Standardisierte Mittelwertdifferenz
TENS	Transkutane Elektrische Stimulation
WB-EMS	Whole Body Electromyostimulation
WBV	Ganzkörper-Vibration

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Publikationsübersicht. Die Zitationsdaten sind dem InSite Journal Citation Report (Clarivate Analytics) entnommen.....	8
Abbildung 2: Zusammenfassende Übersicht der EMS-Effekte auf die Maximalkraft in Bezug auf die Referenzbedingung „aktive Kontrolle“. Ausgewählte Daten der Studien 1 & 2 (Micke et al. 2018; Micke et al. 2021) sowie der Netzwerk Meta-Analyse (Micke et al. 2022).	27

Zusammenfassung

Elektromyostimulation (EMS) ist gekennzeichnet durch die elektrische Stimulation oberflächlicher Skelettmuskeln, sodass sichtbare Muskelkontraktionen hervorgerufen werden. Eine willkürliche Kontraktion ist dafür nicht erforderlich, kann aber simultan hinzugezogen werden. EMS wird in der Trainingspraxis verwendet, um immobilisierte Muskeln bei Patient*innen zu stimulieren oder das Training bei gesunden Populationen zu intensivieren. Während zur lokalen EMS-Stimulation bereits zahlreiche Forschungsarbeiten existieren, ist die Evidenzlage bezüglich Ganzkörper-EMS (engl. Whole Body Electromyostimulation (WB-EMS)) sowohl bei athletischen als auch klinischen Populationen aufgrund fehlender Arbeiten nicht eindeutig. Daher wurden im Rahmen dieser Dissertation zwei randomisiert kontrollierte Interventionsstudien mit der Trainingsmethode WB-EMS und unterschiedlichen Populationen sowie eine Netzwerk Meta-Analyse zu den Effekten von lokaler EMS und WB-EMS bei Athlet*innen durchgeführt.

Das Ziel der ersten Interventionsstudie war es, die Auswirkungen eines achtwöchigen, dynamischen, überlagerten, submaximalen WB-EMS Trainings auf die maximalen Kraft- und Leistungsparameter der Beinmuskulatur im Vergleich zu einem dynamischen Training ohne WB-EMS zu evaluieren. Dafür wurden in einem randomisierten und kontrollierten Studiendesign 18 männliche Probanden auf zwei verschiedenen Studienarme verteilt (WB-EMS vs. Kontrolle). Signifikante Zeiteffekte konnten sowohl für Kraft- als auch für Leistungsparameter der Kniestreckung (LE F_{\max} +5%; 0.24 η_p^2) und Kniebeugung (LC P_{\max} +13.5%; 0.35 η_p^2) gefunden werden. Ein signifikanter Interaktionseffekt wurde lediglich für die F_{\max} der Kniestreckung nachgewiesen (0.21 η_p^2), wobei die WB-EMS Gruppe größere Kraftzuwächse zeigte (WB-EMS: +7.7%, SMD 0.61; Kontrolle: +2.1%, SMD 0.17). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die dynamische, submaximale Stimulation mit WB-EMS geeignet ist, um Verbesserungen der Kraft- und Leistungsparameter hervorzurufen. Dennoch belegt diese Studie auch, dass die erzielten Verbesserungen bei jungen, männlichen Sportlern vergleichbar mit denen des dynamischen Krafttrainings ohne WB-EMS sind.

Im Rahmen der zweiten, randomisiert kontrollierten, zwölfwöchigen Interventionsstudie wurde überprüft, inwiefern die Anwendung der Trainingsmethode WB-EMS bei Patient*innen mit chronischen, unspezifischen Rückenschmerzen zu einer Verbesserung der Schmerzsymptomatik und der Rumpfkraft im Vergleich zu den zwei etablierten Trainingsverfahren Ganzkörper-Vibration (WBV) und klassischem Krafttraining für den Rücken (CT) führt. Dafür wurden 240 Patient*innen auf drei Studienarme verteilt (WB-EMS vs. WBV vs. CT). Alle drei Trainingsmethoden führten zu einer signifikanten Verringerung der Rückenschmerzen (WB-EMS: $29.7 \pm 39.1\%$ (SMD 0.50) vs. WBV: $30.3 \pm 39.3\%$ (SMD 0.57) vs. CT: $30.5 \pm 39.6\%$ (SMD 0.59)) und zur Verbesserung der Rumpfkraft. Keine Interaktionseffekte konnten für die jeweiligen Gruppen gefunden werden. WB-EMS, WBV und CT sind demnach vergleichbar effektiv, um bei Patient*innen mit chronischen, unspezifischen Rückenschmerzen die Schmerzintensität zu lindern und die Rumpfkraft zu steigern. Dennoch ist zu beachten, dass die Trainingseffekte bei WB-EMS in einer insgesamt kürzeren Trainingszeit erzielt wurden.

Mit Hilfe einer Netzwerk Meta-Analyse wurde innerhalb der dritten Studie die Effektivität von unterschiedlichen EMS-Trainingsformen auf Performanceparameter bei Athlet*innen evaluiert. Hierfür wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Insgesamt flossen die Ergebnisse von 36 unterschiedlichen Studien mit 1.092 Proband*innen in die Gesamtanalyse ein. Es konnten vier aussagekräftige Netzwerke zu den Outcome-Parametern Maximalkraft, Sprungperformance, Sprintperformance und aerobe Kapazität gebildet werden sowie eine Rangfolge bezüglich der Effektivität unterschiedlicher Trainingsformen erstellt werden. Die größten Effekte wurden für eine Kombination von Krafttraining mit überlagertem EMS und zusätzlichem Sprungtraining gefunden (Kraftoutcome: SMD 4.43; Sprungoutcome: SMD 3.14). Die Ergebnisse dieser Übersichtsarbeit lassen darauf schließen, dass die Wahl der EMS-spezifischen Faktoren und somit der Applikationsmodus, die Kombination mit willkürlicher Muskelaktivierung sowie die Wahl des Stimulationsprotokolls einen Einfluss auf die Trainingseffektivität haben. Für Athlet*innen scheinen insbesondere eine hohe

Stimulationsintensität, ein relativ geringes EMS-Volumen und zielgerichtete Übungsausführungen die Anpassungen positiv zu beeinflussen.

Abstract (English)

Electromyostimulation (EMS) is characterized as an electrical stimulation of superficial skeletal muscles so that visible muscle contractions are elicited. Voluntary contractions are not required but can be performed simultaneously. EMS is used as a training tool to stimulate immobilized muscles in patients who are unable to perform voluntary contractions or to intensify the training in healthy populations. While a large body of research already exists on local EMS stimulation, evidence regarding whole-body EMS (WB-EMS) in both athletic and clinical populations is inconclusive due to a lack of existing studies. Therefore, this dissertation includes two randomized controlled intervention studies with the training method WB-EMS and different populations as well as a network meta-analysis on the effects of local and WB-EMS in athletes.

The aim of the first intervention study was to assess the effects of an eight-week, dynamic, superimposed, submaximal WB-EMS training on maximal strength and power parameters of the leg muscles compared with a similar dynamic training without WB-EMS. For this purpose, 18 male subjects were allocated to two different study arms (WB-EMS vs. Control) in a randomized controlled trial design. Significant time effects were found for both strength and power parameters of leg extension (LE F_{\max} +5%; 0.24 η^2) as well as leg curl (LC P_{\max} +13.5%; 0.35 η^2). A significant interaction effect was merely observed for knee extension F_{\max} (0.21 η^2), with the WB-EMS group showing greater strength gains (WB-EMS: +7.7%, SMD 0.61; Control: +2.1%, SMD 0.17). The results show that dynamic, submaximal stimulation with WB-EMS is suitable to induce improvements in strength and performance parameters. Nevertheless, the results of this study also suggest that the improvements obtained in young male athletes are comparable to those obtained with dynamic strength training without WB-EMS.

The second randomized and controlled intervention study examined the effects of a twelve-week WB-EMS training in patients with chronic non-specific back pain on pain symptoms and trunk strength compared to established training methods like whole-body vibration (WBV) and classic strength training for the back (CT). For this purpose, 240 patients were distributed among three study arms (WB-EMS vs. WBV vs. CT). All three training methods led to

significant reductions in back pain (WB-EMS: $29.7 \pm 39.1\%$ (SMD 0.50) vs. WBV: $30.3 \pm 39.3\%$ (SMD 0.57) vs. CT: $30.5 \pm 39.6\%$ (SMD 0.59)) and improvements in trunk strength. No interaction effects were found for the respective groups. Accordingly, WB-EMS, WBV, and CT are comparably effective in relieving back pain and increasing trunk strength in patients with chronic non-specific low back pain. Nevertheless, it should be noted that the training effects with WB-EMS were achieved in an overall shorter training time.

For the third study, a network meta-analysis (NMA) was created to evaluate the effectiveness of different EMS interventions on performance parameters in athletes. For this purpose, a systematic literature research was conducted. In total, the results of 36 different studies with 1,092 subjects were included in the analysis. Four networks on the outcome parameters of maximum strength, jumping performance, sprint performance and aerobic capacity could be built and a ranking of the different exercise methods was achieved. The largest effects were found for a combination of strength training with superimposed EMS and additional jump training (strength outcome: SMD 4.43; jump outcome: SMD 3.14). The results of this NMA suggest that the choice of EMS-specific factors, such as the mode of application, the combination with voluntary muscle activation and the choice of the stimulation protocol, have an influence on training effectiveness. In particular, a high stimulation intensity, a relatively low EMS volume, and outcome-specific movement patterns appear to positively influence adaptations.

1 Einleitung

„Elektromyostimulation“ (EMS), ebenfalls bekannt unter den Begrifflichkeiten „neuromuskuläre elektrische Stimulation“ (NMES) oder „elektrische Stimulation“ (ES), kann definiert werden als die Applikation einer Reihe von intermittierenden elektrischen Stimulationen auf oberflächliche Skelettmuskeln, um sichtbare Muskelkontraktionen durch die Aktivierung intramuskulärer Nervenäste hervorzurufen (Maffiuletti, 2010). In Abgrenzung zur EMS, welche durch eine intermittierende, hoch-intensive Stimulationsform gekennzeichnet ist, finden sich in der Literatur weitere elektrische Stimulationsformen, die allerdings durch ihre gewählten Stimulationsparameter nicht für das sportliche Training bzw. zur unmittelbaren Erzeugung von Muskelkontraktionen vorgesehen sind. Dazu zählen die sogenannte „transkutane elektrische Stimulation“ (TENS) mit einer kontinuierlichen, niedrig-intensiven elektrischen Stimulation zur Schmerzbehandlung und die sogenannte „funktionale elektrische Stimulation“ (FES) mit einer zyklischen, moderat-intensiven elektrischen Stimulation, um Bewegungen zu generieren (Maffiuletti et al., 2011). Während eine FES auf koordinierte sowie sequenzielle Weise Muskelkontraktionen auslöst und bestimmte Funktionen, wie ein Gangtraining von Paraplegiker*innen, unterstützt, werden bei einer TENS mit der Zielstellung einer Schmerzbehandlung keine Muskelkontraktionen erzeugt, sondern durch die niedrig-intensive Stimulation lediglich die Erregungsleitung der Nervenfasern teilweise blockiert (Sivaramakrishnan et al., 2018).

Im überwiegend therapeutischen und medizinischen Setting existieren bereits seit den 1970er Jahren wissenschaftliche Studien zum Themenbereich EMS (Baker et al., 1979; Eriksson & Häggmark, 1979). Mit der Zielstellung EMS als Trainingsmethode zur Verbesserung von Kraft- und Leistungsparametern bei gesunden Proband*innen einzusetzen, wurden erstmals in den 1980er Jahren Trainingsinterventionsstudien durchgeführt (Currier & Mann, 1983; Eriksson et al., 1981; Nobbs & Rhodes, 1986; Soo et al., 1988). Neben akuten Veränderungen nach einem EMS-Training, wie zum Beispiel der Entleerung der Phosphat- und Glykogenspeicher oder der Bildung von Laktat (Eriksson et al., 1981), wurden chronische Anpassungen nach mehrwöchigem EMS-

Training auf maximale Kraftparameter untersucht (Currier & Mann, 1983; Nobbs & Rhodes, 1986). Lange Zeit handelte es sich überwiegend um lokale Stimulationsformen, bei denen ausschließlich ein einzelner Muskel (bspw. Quadrizeps Femoris) stimuliert wurde. Später entwickelte sich EMS mit weiterem technischen Fortschritt zur sogenannten Ganzkörper-EMS (engl. Whole Body Electromyostimulation (WB-EMS)) Trainingsmethode (Filipovic et al., 2012). Hierbei können mehrere Muskeln gleichzeitig über ein Westen-/Gurtsystem mit integrierten Elektroden synchron stimuliert werden.

Auf Grundlage der aktuellen Literatur sind vier wesentliche Unterschiede beim Einsatz und der Beurteilung von EMS zu berücksichtigen. Erstens wird hinsichtlich der gewählten Applikationsmethode und somit zwischen der lokalen Stimulation einzelner Muskeln und der gleichzeitigen Stimulation mehrerer Muskeln (WB-EMS) unterschieden. Zweitens besteht bei beiden Applikationsmethoden die Möglichkeit, den EMS-Reiz mit eigenständiger Muskelaktivierung bzw. willentlichen Bewegungen zu kombinieren. Eine simultane Kombination, d.h. EMS zeitgleich zur aktiven Bewegung, eine sequenzielle Kombination, d.h. EMS vor oder nach einer spezifischen aktiven Bewegung, oder keinerlei Kombination, d.h. eine Stimulation des Muskels ohne eigene willentliche Aktivierung, werden in der Literatur voneinander abgegrenzt. Als dritter Aspekt muss die Wahl des Stimulationsprotokolls angeführt werden. Um die elektrische Stimulation zu modellieren, lassen sich bei den Stimulationsgeräten unterschiedliche Protokolle auswählen oder programmieren. Haupteinstellungsmöglichkeiten betreffen die Stimulationsfrequenz, die Impulsbreite, die Impulsform, die Stimulationsintensität und die Dauer sowie Pause der einzelnen Stimulationen. Vierter und letzter wichtiger Unterschied für den praktischen Einsatz und die Beurteilung der Auswirkungen einer EMS-Intervention ist der Trainingsstatus der Person, bei der die Stimulation eingesetzt wird. Neben gesunden und aktiven Personen, bei denen die Zielstellung der EMS-Anwendung auf einer Verbesserung von Kraft- und Performancefaktoren liegt, findet eine Anwendung von EMS auch in klinischen Populationen statt. Zum einen kann die Zielstellung einer Aufrechterhaltung der Kraft und Leistung bei akuter Immobilisation verfolgt und zum anderen die Wiederherstellung der

Kraft und Leistung nach einer längeren Zeit der Immobilisation oder Inaktivität anvisiert werden.

Als Folge der unterschiedlichen Anwendungsbereiche und möglichen Stimulations-/Kombinationsmöglichkeiten zeigt sich in der Literatur ein zum Teil heterogenes Bild hinsichtlich der Effekte von EMS. So weisen einige Studien zum Teil große Effekte von EMS-Training auf unterschiedliche Performance- und Gesundheitsparameter nach, während andere Untersuchungen von vernachlässigbaren bis reduzierten Effekten von EMS-Training im Vergleich zu herkömmlichem Training ausgehen (Bax et al., 2005). Aus diesem Grund war das übergeordnete Ziel der vorliegenden Dissertation, weitere Evidenz in das Forschungsfeld EMS zu bringen und Forschungslücken hinsichtlich Populationsgruppen und Kombinationsmöglichkeiten zu schließen. Zusätzliche Erkenntnisse sollen insbesondere im Bereich der Trainingsmethodik WB-EMS gewonnen werden, um Forschungslücken zu dynamischen Trainingsformen zu schließen. Weiterhin sollen für athletische Population bestmögliche Kombinationen gefunden werden, sodass Athlet*innen zukünftig eine fundiertere Entscheidungsgrundlage hinsichtlich der unterschiedlichen EMS-Trainingsmöglichkeiten haben. Dazu wurden zwei randomisiert kontrollierte Interventionsstudien (RCT), zum einen mit trainierten Probanden (Micke et al., 2018) und zum anderen mit Patient*innen (Micke et al., 2021), durchgeführt. Weiterführend wurde eine Netzwerk Meta-Analyse zu den Effekten von EMS bei trainierten Athlet*innen auf relevante Leistungsparameter erstellt (Micke et al., 2022) (Abbildung 1).

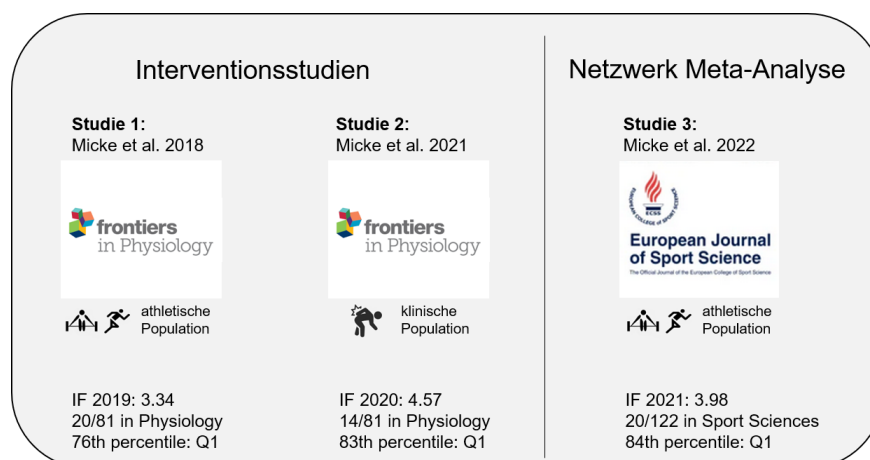


Abbildung 1: Publikationsübersicht. Die Zitationsdaten sind dem InSite Journal Citation Report (Clarivate Analytics) entnommen.

2 Forschungsstand

Im Gegensatz zu einer willkürlichen Muskelkontraktion und mechanischen Stimulationsformen werden während einer EMS motorische Einheiten perkutan aktiviert (Paillard, 2008). Dabei werden die Muskeln nicht direkt gereizt, sondern die Reizung der Muskeln erfolgt über ihre versorgenden Nerven, die im Vergleich zur Muskelfasermembran eine geringere Reizschwelle aufweisen (Hultman et al., 1983). Die gute Leitfähigkeit des Extrazellularraums begünstigt hierbei das Umgehen der physiologischen Muskelaktivierung. Ältere Untersuchungen stellen in diesem Zusammenhang fest, dass bei EMS, entgegen des Henneman'schen Rekrutierungsprinzips von willkürlichen Muskelkontraktionen, zunächst große motorische Einheiten rekrutiert werden (Lexell et al., 1984). Aktuellere Ergebnisse zeigen, dass sich das Rekrutierungsmuster bei EMS nicht umkehrt, sondern unabhängig von der Intensität der Stromstärke eine nicht-selektive, lokale und synchrone Rekrutierung von motorischen Einheiten erfolgt (Gregory & Bickel, 2005). Somit werden aufgrund der spezifischen, räumlich abgegrenzten und vor allem synchronen Aktivierung der motorischen Einheiten hohe mechanische Spannungen in den aktivierten Muskelfasern erzeugt (Nosaka et al., 2011). Des Weiteren führt EMS zu einer bevorzugten Rekrutierung von motorischen Einheiten, die direkt unterhalb der auf der Haut platzierten Oberflächenelektroden liegen (Paillard, 2008). Lexell et al. (1984) halten fest, dass gerade die großen motorischen Einheiten oberflächlich in der stimulierten Muskulatur lokalisiert sind. Es bestehen physiologisch betrachtet also wesentliche Unterschiede zwischen einem Trainingsreiz, der durch rein willkürliche Muskelkontraktionen hervorgerufen wird, und einer künstlich, rein elektrisch herbeigeführten Muskelkontraktion. Laut Hortobágyi & Maffiuletti (2011) umfassen die Unterschiede der elektrisch induzierten Kontraktion die Aktivierung der motorischen Einheiten (nicht-selektiv vs. geordnet), die Muskelaktivierung (zielgerichtet vs. synergistisch), die antagonistische Aktivierung (nicht-koordiniert vs. koordiniert) und den Ursprung der Kontraktion (external vs. internal). Trotz dieser Unterschiede zeigen Studienergebnisse, dass die Anpassungen hinsichtlich der Kraft bei einer *Maximal Voluntary Contraction* (MVC) vergleichbar mit willkürlichem Training sind (Hortobágyi & Maffiuletti, 2011). Insbesondere neuronale Mechanismen

spielen in diesem Zusammenhang eine zentrale Rolle. Laut Hortobágyi & Maffiuletti (2011) gibt es starke Evidenz dafür, dass akute elektrische Muskelstimulationen sensorische, sensomotorische und motorische Bereiche sowie interhemisphärische Bahnen im Gehirn aktivieren können.

Unabhängig vom Einsatzgebiet, sei es in der Rehabilitationsmedizin oder bei sportlichem Training, wird grundsätzlich zwischen lokalem EMS und WB-EMS unterschieden. Während bei der lokalen EMS in der Regel ausschließlich einzelne Muskeln elektrisch stimuliert werden, werden beim WB-EMS simultane elektrische Muskelstimulation über mindestens sechs Stromkanäle gleichzeitig erzeugt (Kemmler, Kleinöder, et al., 2020). Obwohl sich die Trainingstechnologie WB-EMS seit ihrer Einführung im Jahre 2009 insbesondere in Europa stark verbreitet hat und in der Praxis eingesetzt wird, ist die Forschungslage zu dieser Thematik noch sehr begrenzt (Kemmler, Kleinöder, et al., 2020). Dominiert wird die wissenschaftliche EMS-Literatur von Untersuchungen mit rein lokalen Stimulationsformen, die bereits seit den 1970er Jahren angewandt werden (vgl. Baker et al., 1979; Eriksson & Häggmark, 1979). Die meisten der bisherigen Interventionsstudien im Gebiet der EMS umfassen Untersuchungen isometrischer Kontraktionen lokaler Muskeln mit maximalen Stimulationsintensitäten (Filipovic et al., 2011). Daher sind weitere Forschungsarbeiten, insbesondere zur Trainingstechnologie WB-EMS, für eine umfassende Evaluation der Trainingsmethode notwendig.

Auf Grundlage der physiologischen Besonderheiten der Muskelrekrutierung wird EMS sowohl in der Forschung als auch im klinischen Bereich weitgehend als Rehabilitations-/Trainingsmethode eingesetzt. Abhängig vom jeweiligen Trainingszustand des stimulierten Muskels kann EMS (1) zur Erhaltung der Muskelmasse und -funktion bei längerer Inaktivität oder Immobilisierung, (2) zur Wiederherstellung der Muskelmasse und -funktion nach längerer Inaktivität oder (3) zur Verbesserung der Muskelfunktion in verschiedenen gesunden Bevölkerungsgruppen eingesetzt werden (Maffiuletti, 2010). Demnach verteilen sich die Einsatzgebiete von EMS im Sport auf zwei wesentliche Bereiche. Zum einen erfolgt ein Einsatz von EMS im Rahmen der Rehabilitationsmedizin von Athlet*innen, um nach Verletzungen oder Operationen zur schnellen Wiederherstellung der muskulären Eigenschaften beizutragen. EMS kann in der Rehabilitation bei klinischen Populationen

ebenfalls dazu beitragen, einer Muskelatrophie und einem Kraftverlust in den betroffenen Muskeln entgegenzuwirken. Ein weiteres Ziel ist, den Verlust von funktionalen Fähigkeiten, wie dem Gehen oder Treppensteigen, so klein wie möglich zu halten (Paillard, 2008). Zum anderen wird EMS im Bereich des sportlichen Trainings eingesetzt, bei dem die Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit von gesunden Athlet*innen im Vordergrund steht. Ein langfristiger Einsatz von EMS im Training kann über den Erhalt der muskulären Fähigkeiten hinaus auch zu einer Vergrößerung der Muskelmasse, einer Steigerung der Kraft sowie Leistung und einer verbesserten Muskelaktivität führen (Paillard, 2008). Sowohl für den Einsatz innerhalb der Rehabilitationsmedizin als auch im (leistungs-)sportlichen Kontext kann EMS in unterschiedlichsten Formen angewandt werden. Während aufgrund der geringen Mobilität von Patient*innen innerhalb von Rehabilitationsmaßnahmen überwiegend lokales EMS in statischen Bedingungen genutzt wird, kommen im sportlichen Training neben lokal isometrischen auch dynamische Bewegungsformen mit simultaner (WB-)EMS vor.

Mit Blick auf die Effektivität dieser verschiedenen EMS-Anwendungen bezüglich maximaler Kraftparameter wiesen bisherige Meta-Analysen nach, dass EMS-Training bei gesunden Individuen positive Adaptationen der Quadrizepsmuskulatur im Unterschied zur Kontrollbedingung „*No Exercise*“ aufweist (Bax et al., 2005). Allerdings zeigt der Vergleich von Training mit EMS und willkürlichem Training ohne EMS tendenziell höhere Kraftanpassungen bei rein willkürlichem Training von gesunden Proband*innen (Bax et al., 2005). Weil die Anzahl sowie Qualität der zugrundeliegenden Studien gering und die Effekte der einzelnen Untersuchungen heterogen sind, sollten die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden (Bax et al., 2005). Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass Studien für den Vergleich herangezogen wurden, in denen sowohl isoliertes EMS ohne weitere willkürliche Bewegungen als auch überlagertes EMS mit gleichzeitiger willkürlicher Bewegung genutzt wurde. Ein anderes Bild ergab sich mit Blick auf die Untersuchungen immobilisierter Personen, zum Beispiel mit Gips, bei denen EMS den Kraftverlust während der Immobilisation sogar wirksamer minimieren konnte

als rein willkürliches Training (Bax et al., 2005). Weitere Subgruppenanalysen dieser Übersichtsarbeit deuten ebenfalls darauf hin, dass die Adaptationen bei gesunden Individuen nach EMS-Training hinsichtlich einer Verbesserung von Maximalkraftparametern geringer ausfallen als die von zuvor immobilisierten Individuen (Bax et al., 2005). Da es sich bei den inkludierten Studien der gesamten Übersichtsarbeit ausschließlich um lokale Stimulationen am Quadrizeps Femoris handelt und andere Muskelgruppen oder simultane Stimulationen mehrerer Muskeln nicht hinzugezogen wurden, ist zusätzliche Forschung notwendig. Aufgrund der geringen Anzahl an qualitativ hochwertigen WB-EMS-Interventionsstudien (Pano-Rodriguez et al., 2019) existieren insbesondere für athletische Populationen keine größeren Übersichtsarbeiten oder Meta-Analysen zur Trainingstechnologie WB-EMS. Die bisher durchgeführten Interventionsstudien konzentrieren sich mehrheitlich auf spezifische Populationsgruppen mit besonderen Bedürfnissen bzw. Krankheitsbildern, sodass zuverlässige Schlussfolgerungen über die Auswirkungen von WB-EMS wegen der geringen externen Validität in anderen Populationen kaum möglich sind (Pano-Rodriguez et al., 2019). Zukünftige WB-EMS-Untersuchungen sollten sich folglich vermehrt an aktive, nicht-beeinträchtigte Populationen richten, bei denen klassische und in der Praxis verwendete Bewegungsprogramme evaluiert werden. Dazu gehören beispielsweise dynamische Trainingsprogramme mit simultaner WB-EMS bei aktiven Individuen.

Der Unterschied in der Höhe der Adaptationen zwischen leistungsstärkeren (athletischen Populationen) und leistungsschwächeren Individuen (Athlet*innen nach/während einer Immobilisation, Individuen mit überwiegend sitzenden Tätigkeiten oder klinischen Populationen) zeigt sich auch in weiteren Studien. Auf der einen Seite stellt eine aktuelle systematische Übersichtsarbeit und Meta-Analyse von Kemmler et al. (2021) in diesem Zusammenhang große und signifikante Effekte hinsichtlich Kraftanpassungen und Steigerungen der Muskelmasse für nicht-athletische Populationen fest. Auf der anderen Seite konnten in einer (Mini-)Meta-Analyse von Wirtz et al. (2019) übergreifend für athletische Populationen keine signifikanten Effekte von EMS gegenüber vergleichbarem willentlichen Training detektiert werden. Vor dem Hintergrund, dass Kraftadaptationen insbesondere in der frühen Phase eines EMS-

Krafttrainingsprogrammes primär durch neuronale Adaptationen und weniger stark durch morphologische Adaptationen hervorgerufen werden (Hortobágyi & Maffiuletti, 2011), scheinen inaktive bzw. immobilisierte Populationen wegen des neuronalen Inputs besonders stark von EMS zu profitieren.

Aufgrund dieser mehrfach berichteten Erkenntnisse bei inaktiven Personen findet die Anwendung von EMS auch bei klinischen Populationen zunehmend statt. Daher wurden in den letzten Jahren viele wissenschaftliche Interventionsstudien mit der Trainingsmethode WB-EMS durchgeführt und die Forschungsgruppen fokussierten verschiedene Fragestellungen mit ganz unterschiedlichen Krankheitsbildern. Dazu gehören unter anderem Studien zu Sarkopenie (Kemmler, von Stengel, et al., 2020; Teschler et al., 2021), dem metabolischen Syndrom (Bellia et al., 2020; Reljic et al., 2020), einer Form der frühen Parkinson (Fiorilli et al., 2021), Osteoarthritis (Burgess et al., 2021) oder Rückenschmerzen (Konrad et al., 2020; Weissenfels et al., 2019). Insbesondere die Forschung zur Thematik Rückenschmerz ist wegen der hohen Prävalenz (Hoy et al., 2012), der multifaktoriellen Ursachen (Manchikanti et al., 2014) und der persönlichen, gesellschaftlichen sowie finanziellen Belastungen (Rapoport et al., 2004) sehr bedeutend. Zwar ist die Evidenzlage bezüglich der guten Wirksamkeit von konventionellen Bewegungsprogrammen zur Schmerzreduktion bei chronischen, unspezifischen Rückenschmerzen (CNBP) eindeutig (Searle et al., 2015), dennoch zeigen Forschungsarbeiten, dass chronische Rückenschmerzpatient*innen Bewegung vermeiden, da sie sich anfällig für (Wieder-)Verletzungen fühlen (Ishak et al., 2017). Weiterführend berichten CNBP-Patient*innen, dass neben dieser Form der Kinesiophobie zeitliche Gründe gegen die Aufnahme eines regelmäßigen, individuellen Bewegungsprogramms sprechen (Korsch et al., 2016). Deshalb scheinen zeiteffektive Bewegungsprogramme, die auch von wenig aktiven Personen durchgeführt werden können, besonders ansprechend zu sein. Der Einsatz von WB-EMS innerhalb dieser Population sollte somit stärker evaluiert und die Wirksamkeit in Vergleichsstudien mit konventionellen Bewegungsprogrammen untersucht werden.

Neben klassischen und neueren Determinanten zur detaillierten Trainingssteuerung im Krafttraining, wie der Höhe des Spannungswiderstands, der Anzahl an Wiederholungen, der Anzahl an Sätzen, etc. (vgl. Toigo & Boutellier, 2006), sind für das EMS-Training weitere Parameter von großer Relevanz. Die wichtigsten Parameter, mit denen sich ein EMS-Training modulieren lässt, sind die Impulsfrequenz, Impulsbreite, Impulsform und Impulsintensität. Filipovic et al. (2011) weisen in ihrer Übersichtsarbeit darauf hin, dass in zahlreichen Untersuchungen zur EMS verschiedene Stimulationsparameter genutzt wurden. Unterschiedlich gewählte Parameter können die Effektivität der Trainingsintervention beeinflussen, sodass sie unbedingt an das entsprechende Trainingsprogramm angepasst werden müssen, um gewünschte Adaptationsprozesse zu erzielen. Die Impulsfrequenz kennzeichnet die Anzahl der einzelnen Impulse pro Sekunde. Um maximale Kraft- und Leistungssteigerungen zu erzielen, empfehlen Filipovic et al. (2011) auf Grundlage ihrer Übersichtsarbeit eine Stimulationsfrequenz von ≥ 60 Hz.

Die Impulsbreite beschreibt die Dauer eines einzelnen Impulses. Je länger ein einzelner Impuls andauert, desto tiefer dringt der Impuls ins Gewebe ein, wodurch vermehrt motorische Einheiten rekrutiert werden können. Allerdings kann sich eine lange Impulsbreite auch unangenehm oder sogar schmerzhaft anfühlen. Vor diesem Hintergrund empfehlen Bossert et al. (2006) eine Impulsbreite zwischen 300 und 400 μ s. Einerseits kann so ein möglichst wirksamer Trainingsreiz gesetzt werden, andererseits soll die Durchführung des Trainings nicht vom Schmerzempfinden der trainierenden Person beeinträchtigt werden.

Die Impulsform spiegelt den Aufbau eines einzelnen Impulses dar. Ein rechteckiger Impulsanstieg wird von der Mehrheit der durchgeführten Interventionsstudien genutzt. Dabei erfolgt der Impuls biphasisch, d.h. mit einem gleichgroßen positiven wie negativen Anteil (Babault et al., 2007; Jubeau et al., 2008; Maffiuletti et al., 2009). Dies ermöglicht eine hohe Impulsintensität und hat somit einen positiven Einfluss auf die Verbesserung der Kraftfähigkeiten.

Die Impulsintensität beschreibt die für ein Training gewählte Stromstärke und hat demnach einen entscheidenden Anteil am Grad der Muskelkontraktion. Je

höher die Intensität, desto mehr neue und tieferliegende Muskelfasern können bei jeder elektrisch induzierten Kontraktion depolarisiert werden (Maffiuletti, 2010). Eine Impulsintensität von ≥ 50 mA stellte sich als erforderliche Kenngröße heraus, um Anpassungen im Bereich der Krafftigkeiten zu erzielen (Filipovic et al., 2011). Dennoch besteht eine Problematik bezüglich der Impulsintensität. Die Intensität der eingeleiteten Stromstärke lässt sich zwar bestimmen, doch wie diese aufgrund unterschiedlicher Leitfähigkeit und Widerstände des Gewebes auf die Muskulatur wirkt, bleibt fraglich und ist schwer messbar zu machen (Filipovic et al., 2011). Viele Autoren nutzen zur Bestimmung der Impulsintensität daher die individuell maximale Schmerzschwelle bzw. die individuell maximal ertragbare Amperezahl der Athleten*innen (Brocherie et al., 2005; Jubeau et al., 2008; Maffiuletti et al., 2000). Eine hohe Impulsintensität beeinträchtigt allerdings dynamische Bewegungsausführungen, sodass die Impulsintensität bei dynamischen Bewegungen mit zusätzlicher EMS entsprechend reduziert werden muss, damit sich agonistische und antagonistische Kontraktionen nicht gegenseitig beeinträchtigen.

Die Forschungsergebnisse verdeutlichen, dass es eine Vielzahl von Belastungsmerkmalen und Parametern gibt, die während eines EMS-Trainings moduliert und entsprechend kombiniert werden können. Neben den Determinanten zur Trainingsplansteuerung müssen auch spezifische EMS-Parameter berücksichtigt werden. Wegen dieser vielen Einstellungs- und Kombinationsmöglichkeiten sind die zum Teil heterogenen Ergebnisse hinsichtlich der Effekte von EMS-Training nicht verwunderlich. Mit der wachsenden Anzahl von WB-EMS-Studien, bei denen noch weitere Kombinations- und Anwendungsformen möglich sind, werden systematische Übersichtsarbeiten zum Einsatz der Trainingsmethode (WB-)EMS immer wichtiger. Deshalb sollte die Zielstellung zukünftig in der Kondensierung von Befunden liegen, um mit Hilfe von wissenschaftlichen Analysen evidenzbasierte Praxisempfehlungen für die Wahl der EMS-Parameter und Trainingsdeterminanten ableiten zu können.

Zusammenfassend kann auf Grundlage der aktuellen Literatur festgehalten werden, dass der Forschungsstand zu WB-EMS im Gegensatz zur lokalen EMS-Stimulation noch wenig umfangreich ist. Im Besonderen fehlen

Forschungsarbeiten zu athletischen Populationen mit dynamischen und in der Sportpraxis durchgeführten Bewegungsprogrammen, die auf eine Verbesserung von Performanceparametern abzielen. Bei klinischen Populationen hat sich der Einsatz von WB-EMS in ersten Studien bei Rückenschmerzpatient*innen als erfolgreich dargestellt (Weissenfels et al., 2019). Gerade wegen der hohen Prävalenz von Rückenschmerzen und der beschriebenen Vorteile hinsichtlich der Zeiteffizienz sowie des geringen eigenen Bewegungsaufwandes (Kemmler, Kleinöder, et al., 2020; Paillard, 2018) von EMS im Gegensatz zu anderen Trainings- und Therapieansätzen ist weitere Forschung in diesem Gebiet notwendig. Insbesondere große Vergleichsstudien zu etablierten Verfahren sind von Interesse, um die Effekte der Schmerzreduktion nach WB-EMS-Training einordnen zu können. Mit Blick auf die Wirksamkeit von WB-EMS-Training existieren zum Teil sehr heterogene Ergebnisse und es fehlen systematische Übersichtsarbeiten, die unterschiedliche EMS-Applikationsmethoden und Bewegungsprogramme in Bezug setzen, damit konkrete Praxisempfehlungen für das sportliche Training gegeben werden können.

3 Ziel der Dissertation

Ausgehend vom aktuellen Forschungsstand wurden im Rahmen dieser Dissertation drei Studien durchgeführt, die jeweils in Form eines internationalen Forschungsartikels publiziert wurden, um sowohl für athletische als auch klinische Populationen weitere wissenschaftliche Evidenz hinsichtlich der (WB-)EMS zu liefern.

Die erste Studie umfasste die Evaluation eines submaximal ausgeführten, überlagerten, dynamischen WB-EMS-Trainings auf Kraft- und Leistungsparameter der Beinmuskulatur. Wie aus dem aktuellen Forschungsstand hervorgeht, wurde diese spezifische Form des Trainings mit EMS bisher nur unzureichend untersucht. Vorherige Trainingsinterventionsstudien zielten vermehrt auf maximale Stimulationsformen mit lokalem und häufig statischem EMS bei trainierten Proband*innen ab. In diesem Zusammenhang ist nicht nur die reine Steigerung der Kraft und Leistung für trainierte Populationen relevant, sondern vor allem auch der funktionelle Transfer dieser Steigerung in sportartspezifische Bewegungen, insbesondere im Leistungssport. Um diesen Transfer zu ermöglichen, könnte eine sportartspezifische Ausrichtung des WB-EMS Trainings mit dynamischen Übungen den Anforderungen der trainierten Proband*innen entgegenkommen. Das übergelagerte Ziel dieser Studie war daher ein Vergleich dieser neuartigen Stimulationsform mit einem „gematchten“ Training ohne EMS und es galt folgende offene Forschungsfragen zu beantworten:

- Führt ein submaximales, überlagertes, dynamisches WB-EMS zu Verbesserungen der Kraft- und Leistung der Beinmuskulatur sowie zu Verbesserungen der Sprung- und Sprintperformance bei moderat trainierten Proband*innen?
- Führt diese spezifische Trainingsform durch die Applikation des elektrischen Reizes über die gesamte Muskellänge und die Intensivierung des Techniktrainings zu größeren Anpassungen auf die Kraft- und Leistungsparameter als ein vergleichbares Training ohne EMS mit „gematchtem“ Volumen?

Neben angestrebten Kraft- und Leistungsverbesserungen, die vor allem für trainierte Populationen von besonderem Interesse sind, sind für klinische Populationen die Linderung von Symptomen bzw. die Bekämpfung der Ursachen relevant. Im Rahmen der zweiten Studie wurde daher die Trainingsmethode WB-EMS hinsichtlich der Schmerzreduktion von Patient*innen mit chronischen, unspezifischen Rückenschmerzen evaluiert. Obwohl einzelne Vorgängerstudien zu diesem Thema erste positive Auswirkungen von WB-EMS Training auf Schmerzen detektieren konnten, fehlen Vergleichsstudien mit anderen, in der Praxis eingesetzten Trainingsmethoden. Aus diesem Grund war das primäre Ziel dieser Studie ein groß angelegter Vergleich zwischen (1) der zeiteffektiven und von wenig aktiven Patient*innen einfach durchzuführenden Trainingsmethode WB-EMS und zwei etablierten Trainingsverfahren für Rückenschmerzpatient*innen: (2) der klassischen „Rückenschule“, vornehmlich ein Training zur Kräftigung und Mobilisierung der Rumpfmuskulatur mit dem eigenen Körpergewicht, und (3) einem Ganzkörper-Vibrationstraining. Folgende Hauptfragestellungen sollten in dieser Studie beantwortet werden:

- Führt die Trainingsmethode WB-EMS zur Reduktion von Rückenschmerzen und Steigerung der Rumpfkraft bei Patient*innen mit chronischen, unspezifischen, unteren Rückenschmerzen?
- Sind die Effekte der Trainingsmethode WB-EMS trotz geringerem Trainingsvolumen vergleichbar mit bereits etablierten Trainingsmethoden wie der „Rückenschule“ und dem Vibrationstraining?

Neben den beiden einzelnen Trainingsinterventionsstudien (Studie 1 & 2) wurde als dritte Studie am Ende dieser Dissertation eine literaturbasierte, systematische Übersichtsarbeit über die Effekte von EMS und WB-EMS bei sportlich trainierten Athlet*innen erstellt. Hintergrund dieser Übersichtsarbeit sind die zum Teil sehr heterogenen Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen von EMS auf Athlet*innen sowie die uneinheitlichen Trainings- und Stimulationsprogramme dieser Studien. Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand lassen sich nur schwer Empfehlungen zur Ausrichtung des

Trainings mit EMS im Leistungssport geben. Ausgehend vom bisherigen Forschungsstand kann zwar geschlussfolgert werden, dass EMS-Training vergleichbare Anpassungen wie herkömmliches Krafttraining bewirkt, einzelne Kombinationen und Interventionen führten jedoch immer wieder zu größeren Kraft- und Leistungssteigerungen. Diese Erkenntnis zeigt, dass eine evidenzbasierte Ermittlung der Effektivität zur Verbesserung der Leistungsparameter bei Sportler*innen, abhängig von verschiedenen EMS-Faktoren und EMS-Anwendungsmodi, wünschenswert wäre. Traditionelle Meta-Analysen, die zu diesem Zweck durchgeführt werden könnten, können wegen des sehr heterogenen Methodeneinsatzes bisheriger Interventionsstudien bei Athlet*innen nur paarweise Vergleiche ähnlicher Studien mit vergleichbaren Methoden liefern. Im Gegensatz dazu sind Netzwerk Meta-Analysen (NMA) in der Lage, Vergleiche unterschiedlicher Methodenvarianten zu ziehen. Denn anstelle von paarweisen Ansätzen berücksichtigt die NMA sowohl direkte als auch indirekte Vergleiche verschiedener Interventionen und ermöglicht zudem ein anschließendes Ranking ihrer Wirksamkeit (Ioannidis, 2017). Vorteilhaft ist, dass so zum einen mehr Studien in die Analyse einbezogen werden und zum anderen Unterschiede zwischen verschiedenen EMS-Methoden herausgestellt werden können.

Zielstellung ist, am Ende dieser Dissertation die Erkenntnisse der zugrundeliegenden Studien auf Basis folgender Hauptfragestellungen zu kondensieren, um daraus Praxisempfehlungen abzuleiten:

- Weist die Trainingsmethode EMS das Potenzial auf, Performancefaktoren wie die Maximalkraft, die Sprung- und Sprintfähigkeit sowie die aerobe Kapazität bei bereits (hoch)trainierten Athlet*innen zu steigern?
- Welche Kombinationsmöglichkeiten von EMS mit willentlichen Bewegungsformen weisen die größten Effekte hinsichtlich der Verbesserung der Performancefaktoren auf?
- Welche Kombinationsmöglichkeiten von EMS mit willentlichen Bewegungsformen weisen die niedrigsten Effekte hinsichtlich der Verbesserung der Performancefaktoren auf?

4 Studienübersicht

4.1 Publikation 1

Effects of an Eight-Week Superimposed Submaximal Dynamic Whole-Body Electromyostimulation Training on Strength and Power Parameters of the Leg Muscles: A Randomized Controlled Intervention Study

Florian Micke, Heinz Kleinöder, Ulrike Dörmann, Nicolas Wirtz and Lars Donath (2018)

Frontiers in Physiology

doi: 10.3389/fphys.2018.01719

(IF 2019: 3.34; 20/81 in Physiology, 76th percentile: Q1)



Vollständiger Artikel

Abstract: The purpose of this study was to assess the effects of dynamic superimposed submaximal whole-body electromyostimulation (WB-EMS) training on maximal strength and power parameters of the leg muscles compared with a similar dynamic training without WB-EMS.

Eighteen male sport students were either randomly assigned to a WB-EMS intervention (INT; n=9; age: 22.8 ± 3.0 years; body mass: 80.2 ± 6.6 kg; strength training experience: 4.6 ± 2.8 years) or a traditional strength training group (CON; n=9; age: 22.8 ± 2.5 years; body mass: 77.6 ± 9.0 kg; strength training experience: 4.5 ± 2.9 years). Both training intervention programs were performed 2 times a week over a period of 8 weeks with the only difference that the INT group performed all dynamic exercises (e.g., split squats, glute-ham raises, jumps, tappings) with superimposed WB-EMS. WB-EMS intensity was adjusted to 70% of the individual maximal pain threshold to ensure dynamic movement. Before (PRE), after (POST) and 2 weeks after the intervention (FU), performance indices were assessed by maximal strength (F_{max}) and maximal power (P_{max}) testing on the leg extension (LE), leg curl (LC) and leg press (LP) machine as primary endpoints. Additionally, vertical and horizontal jumps and 30m sprint tests were conducted as secondary endpoints at PRE, POST and FU testing.

Significant time effects were observed for strength and power parameters on LE and LC (LE F_{\max} +5.0%; LC P_{\max} +13.5%). A significant time x group interaction effect was merely observed for F_{\max} on the LE where follow-up post-hoc testing showed significantly higher improvements in the INT group from PRE to POST and PRE to FU (INT: +7.7%, $p < 0.01$; CON: +2.1%).

The findings of this study indicate that the combination of dynamic exercises and superimposed submaximal WB-EMS seems to be effective in order to improve leg strength and power. However, in young healthy adults the effects of superimposed WB-EMS were similar to the effects of dynamic resistance training without EMS, with the exception of a significantly greater increase in leg extension F_{\max} in the WB-EMS group.

4.2 Publikation 2

Similar Pain Intensity Reductions and Trunk Strength Improvements following Whole-Body Electromyostimulation vs. Whole-Body Vibration vs. Conventional Back-Strengthening Training in Chronic Non-specific Low Back Pain Patients: A 3-armed randomized controlled trial

Florian Micke, Anja Weissenfels, Nicolas Wirtz, Simon von Stengel, Ulrike Dörmann, Matthias Kohl, Heinz Kleinöder, Lars Donath, Wolfgang Kemmler
(2021)

Frontiers in Physiology

doi: 10.3389/fphys.2021.664991

(IF 2020: 4.57; 14/81 in Physiology, 83th percentile: Q1)



Vollständiger Artikel

Abstract: The aim of this multicenter trial was to compare the effects of Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) and Whole-Body Vibration (WBV) with conventional back-strengthening training (CT) on changes in mean back pain intensity (MPI) and trunk strength in patients suffering from chronic non-specific low back pain (CNLBP).

Two-hundred-forty CNLBP patients (40-70 years; 62% female) were randomly assigned to three intervention arms (WB-EMS: n=80 vs. WBV: n=80 vs. CT: n=80). All training intervention programs were performed for 12 weeks in their usual commercial training setting. Before and during the last four weeks of the intervention MPI was recorded using a 4-week pain diary. Additionally, maximal isometric trunk extension and -flexion strength was assessed on the BackCheck[®] machine.

A moderate but significant decrease of MPI was observed in all groups (WB-EMS: 29.7 ± 39.1% (SMD 0.50) vs. WBV: 30.3 ± 39.3% (SMD 0.57) vs. CT: 30.5 ± 39.6% (SMD 0.59); p < 0.001). Similar findings were observed for maximal isometric strength parameters with a significant increase in all groups (extension: WB-EMS: 17.1 ± 25.5% vs. WBV: 16.2 ± 23.6% vs. CT: 21.6 ± 27.5%; p<0.001; flexion: WB-EMS: 13.3 ± 25.6% vs. WBV: 13.9 ± 24.0% vs. CT: 13.9 ± 25.4%; p<0.001). No significant interaction effects for MPI

($p=0.920$) and strength parameters (extension: $p=0.436$; flexion: $p=0.937$) were observed.

WB-EMS, WBV and CT are comparably effective in improving MPI and trunk strength. However, training volume of WB-EMS was 43% or 62% lower, compared with CT and WBV.

4.3 Publikation 3

Effects of electromyostimulation on performance parameters in sportive and trained athletes: A systematic review and network meta-analysis

Florian Micke, Steffen Held, Jessica Lindenthal, and Lars Donath
(2022)

European Journal of Sport Science

doi: 10.1080/17461391.2022.2107437

(IF 2021: 3.98; 20/122 in Sport Sciences, 84th percentile: Q1)



Vollständiger Artikel

This systematic review and network meta-analysis aimed to evaluate the effectiveness of different electromyostimulation (EMS) training interventions on performance parameters in trained athletes. The research was conducted until May 2021 using the online databases PubMed, Web of Science, Cochrane and SPORTDiscus for studies with the following inclusion criteria: (a) controlled trials, (b) EMS trials with at least one exercise and/or control group, (c) strength and/or jump and/or sprint and/or aerobic capacity parameter as outcome (d) sportive/trained subjects. Standardized mean differences (SMD) with 95% confidence interval (CI) and random effects models were calculated. Thirty-six studies with 1.092 participants were selected and 4 different networks (strength, jump, sprint, aerobic capacity) were built. A ranking of different exercise methods was achieved. The highest effects for pairwise comparisons against the reference control “active control” were found for a combination of resistance training with superimposed EMS and additional jump training (outcome strength: 4.43 SMD [2.15; 6.70 CI]; outcome jump: 3.14 SMD [1.80;4.49]), jump training with superimposed whole-body electromyostimulation (WB-EMS) (outcome sprint: 1.65 SMD [0.67; 2.63 CI] and high intensity bodyweight resistance training with superimposed WB-EMS (outcome aerobic capacity: 0.83 SMD [-0.49; 2.16 CI]. These findings indicate that the choice of EMS-specific factors such as the EMS application mode, the combination with voluntary

activation, and the selection of stimulation protocols has an impact on the magnitude of the effects and should therefore be carefully considered, especially in athletes. Superimposed EMS with relatively low volume, high intensity and outcome-specific movement pattern appeared to positively influence adaptations in athletes.

5 Diskussion

Das übergeordnete Ziel dieser Dissertation war, weitere Evidenz in das aktuelle Forschungsfeld EMS zu bringen. Durch die drei veröffentlichten Forschungsartikel konnten sowohl für athletische Populationen (Micke et al., 2018, 2022) als auch für Patient*innen mit Rückenschmerzen (Micke et al., 2021) neue Erkenntnisse zum Einsatz und zu den Effekten von EMS-Training gewonnen werden.

Alle detaillierten Informationen und spezifischen Ergebnisse der drei Publikationen können den originalen Forschungsartikeln entnommen werden. Zur Übersichtlichkeit werden an dieser Stelle die wesentlichsten Hauptergebnisse der Arbeiten berichtet, um darauf eine zusammenhängende Diskussion der gesamten Arbeit aufzubauen.

Generelle Hauptergebnisse:

- *Publikation 1:* Dynamisches, überlagertes, submaximales WB-EMS führt bei trainierten Individuen zu Steigerungsraten der Kraft- und Leistungsparameter der Beinmuskulatur zwischen 8-15%. Allerdings bietet diese Stimulationsmethode keinen größeren Effekt als vergleichbares Training ohne EMS und die Transfereffekte auf die Sprung- sowie Sprintperformance sind begrenzt.
- *Publikation 2:* WB-EMS-Training führt zu einer Reduktion der Schmerzintensität bei Rückenschmerzpatient*innen mit CNBP und zu einer Steigerung der Rumpfkraft. Obwohl vergleichbare Effekte wie bei einem konventionellen Rückentrainingsprogramm erreicht werden, ist WB-EMS zeiteffizienter.
- *Publikation 3:* Die Netzwerk Meta-Analyse zeigt, dass die Effektivität eines EMS-Trainings bei Athlet*innen wesentlich von der gewählten EMS-Methodik abhängt. Die größten Effekte konnten für eine Kombination von Krafttraining mit überlagertem EMS und zusätzlichem Sprungtraining gefunden werden (SMD: 3.14 - 4.43). Weiterhin scheinen das Trainingsvolumen, die EMS-Intensität und die Übungs- sowie Bewegungsspezifität die wichtigsten Faktoren für eine effektive Anwendung zu sein.

Auf Grundlage der erzielten Studienergebnisse kann die Wirksamkeit von (WB-)EMS für die in Kapitel 3 aufgeführten Fragestellungen bestätigt werden. Sowohl im Hinblick auf die Performanceparameter Kraft, Sprungfähigkeit und Sprintschnelligkeit als auch auf die Schmerzreduktion bei Rückenpatient*innen kann (WB-)EMS als Trainingstool zu signifikanten Verbesserungen führen. Die Ergebnisse der RCT-Untersuchungen zeigen jedoch auch, dass die Effekte hinsichtlich der Verbesserungen im Bereich der Steigerungsraten von konventionellem (Kraft-)Training liegen. Abbildung 2 fasst die Ergebnisse dieser Dissertation hinsichtlich der Effekte von EMS-Training auf die Maximalkraft zusammen. Der Parameter Maximalkraft wurde in allen drei Studien erfasst und eignet sich somit als gemeinsame Variable, um einen zusammenfassenden Gesamtüberblick zu geben. Zur Verknüpfung der Studien werden die gepoolten Daten aus Studie 1 (Micke et al. 2018) und Studie 2 (Micke et al. 2021) mit ausgewählten Daten aus der NMA (Micke et al. 2022) zusammen in einem *Forest Plot* berichtet. Wie auch in der NWM wurde als Referenzbedingung die aktive Kontrollbedingung gewählt, da dieser Vergleich die größten Rückschlüsse auf die Effektivität der EMS-Applikation ermöglicht. Bezogen auf den Parameter Maximalkraft zeigen die Ergebnisse in Abbildung 2, dass die beiden Interventionsstudien dieser Dissertation mit vernachlässigbaren bis kleinen Effektstärken im Rahmen von vergleichbaren Trainingsprogrammen ohne EMS liegen.

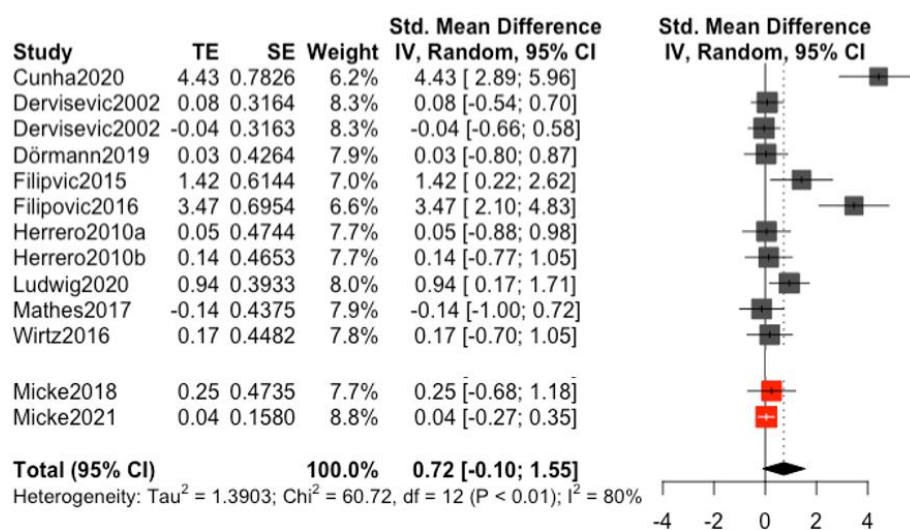


Abbildung 2: Zusammenfassende Übersicht der EMS-Effekte auf die Maximalkraft in Bezug auf die Referenzbedingung „aktive Kontrolle“. Ausgewählte Daten der Studien 1 & 2 (Micke et al. 2018; Micke et al. 2021) sowie der Netzwerk Meta-Analyse (Micke et al. 2022).

Diese erzielten Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen den bisherigen Forschungsstand im Forschungsfeld EMS. Neue Erkenntnisse lassen sich im Speziellen für WB-EMS-Programme und die Auswahl der Belastungskonstellationen für athletische Populationen ableiten. Eine Veränderung dieser Belastungskonstellationen führt zu unterschiedlichen Ergebnissen, sodass eine spezifische Betrachtung der Reizkonstellation wichtig ist, um die Ergebnisse entsprechend einordnen zu können. Als wesentlichste und veränderbare Parameter haben sich hierbei die Maximalkraft und die maximale Leistung herausgestellt. Die erzielten Kraft- sowie Leistungsverbesserungen in den Studien 1 sowie 2 liegen für trainierte Personen zwischen 5-15% nach einer achtwöchigen Trainingsintervention und zwischen 10-20% bei Patient*innen mit Rückenschmerzen nach einer zwölfwöchigen Trainingsintervention. Maffioletti (2010) stellt in diesem Zusammenhang in einem Übersichtsartikel über die Nutzung von lokalem EMS fest, dass die Trainingseffekte vor allem dann groß ausfallen, wenn der Muskel zum Zeitpunkt der Intervention wenig ausgebildet ist. Darauf basierend kann auf Grundlage der Ergebnisse dieser Dissertation die Nutzung der Trainingsmethode EMS insbesondere jenen Populationen empfohlen werden, die bedingt durch eine akute Immobilisation oder längerfristige Nichtbenutzung (inaktiver Lebensstil) eine schwach ausgebildete Muskulatur aufweisen. Abgeleitet werden kann außerdem, dass bei trainierten Individuen die Effektivität proportional zum Aktivitätsstatus sinkt (Maffioletti, 2010). Trotz der vergleichbaren Effekte zwischen (WB-)EMS und konventionellem Training können die neuartige Trainingsreizsetzung, die Rekrutierung von schnellen Muskelfasern bei bereits geringer Intensität, die Realisierung eines intensiven Trainings in kurzer Zeit sowie eine Reduzierung der mechanischen Belastung als praktische Vorteile der EMS-Anwendung für Athlet*innen und Patient*innen gesehen werden (vgl. Gregory & Bickel, 2005; Kemmler, Kleinöder, et al., 2020; Paillard, 2008). Als nachteilig müssen an dieser Stelle die komplexere Trainingssteuerung und -betreuung sowie das durch die perkutane elektrische Stimulation bei einigen Individuen wahrgenommene Unwohlsein erwähnt werden (vgl. Delitto et al., 1992; Filipovic et al., 2012).

Die Ergebnisse dieser Dissertation zeigen, dass die erzielten Kraft- und Leistungsverbesserungen vor allem von den gewählten EMS-Programmen

abhängen. Vor diesem Hintergrund stellt die submaximale, dynamische, überlagerte Stimulation mit WB-EMS innerhalb von **Studie 1** aufgrund der gewählten Übungsspezifität ein Novum innerhalb der Trainingsmethodik dar. Gewählt wurde die dynamische Ausführung, damit ein Transfer der erworbenen Kraft- und Leistungsverbesserungen auch in dynamische und sportartspezifische Bewegungsmuster ermöglicht werden kann (Cormie et al., 2011a, 2011b). Bedingt durch die Applikationsweise von WB-EMS kann die Stimulationsintensität bei dynamischen Bewegungen nur submaximal eingeleitet werden, da maximale Stimulationsformen wegen der hohen Muskelfaserrekrutierung von Agonisten und Antagonisten zur selben Zeit keine zusätzlichen willentlichen Bewegungen zulassen. Neben der Ermöglichung von dynamischen Bewegungsformen werden durch die submaximale Stimulation zu intensive Trainingsbelastungen vermieden, was im Hinblick auf die Sicherheit ein weiterer Vorteil ist. Dieser Vorzug ist insbesondere beim Einsatz von WB-EMS relevant, weil im Gegensatz zu lokalen Stimulationen, bei denen in der Regel nur ein Muskel stimuliert wird, bei WB-EMS über mindestens sechs unterschiedliche Elektroden mehrere Muskelgruppen simultan stimuliert werden. Diese Belastung führt somit sowohl metabolisch (Vanderthommen et al., 2003) als auch in puncto *Muscle Damage* (Jubeau et al., 2008) zu erheblichen Mehrbelastungen im Vergleich zu willkürlichem Training und auch zu lokalem EMS-Training. Obwohl die submaximale Stimulation dynamische Übungsausführungen ermöglicht, werden durch die Stimulationsform weniger Fasern rekrutiert als mit maximalen Stimulationen, wodurch dementsprechend auch die metabolischen Kosten sowie Schädigungen an der Muskulatur reduziert werden.

Auf Grundlage der vergleichbaren Ergebnisse von Studie 1 zwischen EMS-Training und Training ohne EMS muss diese dynamische, submaximale und überlagerte Form differenziert evaluiert werden. Als vorteilig ist die Trainingspezifität zu sehen, weil nur durch eine nicht-maximale Stimulation überhaupt dynamische Bewegungen ausgeführt werden können. Notwendig ist diese submaximale und dynamische Ausrichtung unter der Annahme, dass ein Transfer der zugewonnenen Kraft- und Leistungsverbesserungen nur bei entsprechender Übungs- und Trainingspezifität auch mittel- bis langfristig in dynamische und sportartspezifische Bewegungsmuster ermöglicht werden

kann. Auch aus physiologischen Gesichtspunkten führt die dynamische Ausführung außerdem zu Muskellängenveränderungen und somit auch zu einer kontinuierlichen Positionsveränderung der Muskelfaser in Bezug auf die Elektrode. Dies kann als weiterer Vorteil angesehen werden, da durch die Positionsveränderung weitere Muskelfasern depolarisiert werden (Maffiuletti, 2010).

Mit Blick auf die begrenzten Anpassungen der Sprung- und Sprintparameter innerhalb der Studie 1 muss allerdings festgehalten werden, dass eine alleinige dynamische Ausrichtung nicht zu den gewünschten Ergebnissen führt, wenngleich durch die submaximale Stimulation eine zu intensive Trainingsbelastung vermieden wird. Dieser Aspekt darf für den praktischen Einsatz nicht außer Acht gelassen werden, weil insbesondere initiale Maximalbelastungen bei WB-EMS zu einem hohen Grad an muskulärer Belastung führen. Eine Interventionsstudie von Kemmler et al. (2015) ermittelte in diesem Zusammenhang außergewöhnlich hohe Kreatinkinase(CK)-Werte von 27.410 ± 33.770 IE/l 72h nach einer initialen Ausbelastung mit WB-EMS. Die Vermeidung von hohen CK-Werten durch die submaximale Stimulation kann als vermeintlicher Vorteil gesehen, stimulationsbedingt aber auch als nachteilig diskutiert werden. Die geringere Stimulationsintensität geht einher mit einer geringeren Depolarisation von neuen und tieferliegenden Fasern. Gerade die Hochregulierung der Intensität stellt für Maffiuletti (2010) einen der wesentlichen Mechanismen der Faserrekrutierung dar, um bei jeder evozierten Kontraktion neue und tiefere Muskelfasern zu depolarisieren. Möglicherweise führt die bewusste submaximale Stimulation somit zu geringeren Anpassungen, sodass ein Abwägen zwischen Sicherheitsbedenken (geringe Stimulationsintensität) und der Erzielung von maximalen Effekten (hohe Stimulationsintensität) notwendig ist und individuell (auch populationsabhängig) entschieden werden muss.

Im Rahmen von **Studie 2** wurden Patient*innen mit chronischen, unspezifischen, unteren Rückenschmerzen in einer randomisiert kontrollierten Interventionsstudie mit drei verschiedenen Trainingsprogrammen konfrontiert. Neben einem klassischen, konventionellen Trainingsprogramm wurden die beiden alternativen Trainingsformen Ganzkörper-Vibration (WBV) sowie WB-EMS genutzt und miteinander verglichen. Dieser Vergleich war der erste

seiner Art, bei der in einer randomisiert kontrollierten Studie WB-EMS und zwei etablierte Verfahren gegenübergestellt wurden.

Die vergleichbaren Ergebnisse aller drei Studienarme zeigen die Wirksamkeit von WB-EMS bei CNBP Patient*innen hinsichtlich der Reduktion der Schmerzintensität sowie der Steigerung der Rumpfkraft. In Bezug auf das Thema Schmerzen können die Ergebnisse dieser Studie mit einer Schmerzreduktion von 30% als klinisch relevant eingestuft werden (Farrar et al., 2001). Das Erreichen der klinischen Relevanz ist an dieser Stelle von besonderer Bedeutung, da Schmerzpatient*innen eine Erleichterung im Alltag ermöglicht wird. Im Hinblick auf die Rumpfkraft konnte festgestellt werden, dass sowohl bei der Rumpfextension (+17%) als auch -flexion (+13%) eine Steigerung der Kraft nach WB-EMS erzielt wurde, obwohl die durchgeführten Trainingsübungen nicht speziell für eine Rumpfkraftigung designt wurden. Denn alle WB-EMS-Übungen wurden vorwiegend danach ausgewählt, dass Patient*innen trotz körperlicher Einschränkungen die Übungen ohne Probleme absolvieren können (stehende Position, keine Bodenlage) und der elektrische Reiz entsprechend einwirken kann. Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, dass diese Form des Trainings vor dem Hintergrund einer besonders bei Schmerzpatienten auftreten Angst vor Bewegung (Lüning Bergsten et al., 2012) eine nützliche Alternative sein kann.

Unklarheit besteht noch hinsichtlich des Zusammenhangs von Rumpfkraft und Schmerzen. Auf der einen Seite legen Studienergebnisse nahe, dass es eine Verbindung zwischen körperlicher Aktivität, isometrischer Rückenkraft und Rückenschmerzen gibt (Bo Andersen et al., 2006). Auf der anderen Seite zeigen Übersichtsergebnisse, dass es nur eine schwache Evidenz für einen Zusammenhang zwischen einer Rückenschmerzreduktion und einer Veränderung der Rumpfkraft gibt (Steiger et al., 2012). Da der Schwerpunkt dieser Interventionsstudie auf der Erfassung verhaltensbezogener Outcomes lag, bleiben die der Schmerzreduktion zugrundeliegenden Mechanismen unklar. Diese Mechanismen können wegen ihrer Mehrdimensionalität in Interventionsstudien nicht eindeutig erfasst werden. Ein aktuelles Review untersuchte zu diesem Thema die am häufigsten diskutierten Ursachen der bewegungsbedingten Rückenschmerzplinderung. Detektiert wurden neuromuskuläre, psychosoziale, neurophysiologische und kardiometabolische

Mechanismen (Wun et al., 2021). Alle hier aufgeführten Ursachen könnten auch auf die WB-EMS-Methode zutreffen, da alle fünf aufgeführten Mechanismen durch die muskuläre Adaptation, die sensorische Muskelaktivierung und das Erleben des persönlich begleiteten Trainings über zwölf Wochen angeregt worden sein könnten. Daher sollten die neuronalen, physiologischen, strukturellen sowie psychosozialen Modulationen als Folge des WB-EMS-Trainings in weiteren Studien untersucht werden, um durch detailliertere Erkenntnisse zielgerichtete Trainingsableitungen treffen zu können.

Zur Bewertung der Effektivität von WB-EMS bei CNBP-Patient*innen muss neben den Schmerzreduktionen und Rumpfkraftsteigerungen auch das gesamte Trainingsvolumen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die vergleichbaren Ergebnisse von WB-EMS nach einer insgesamt kürzeren Trainingszeit hervorgerufen wurden. So betrug die Trainingszeit von WB-EMS lediglich 43% der Trainingszeit des CT-Programmes und 62% der Trainingszeit des WBV-Trainingsprogramms. Da CNBP-Patient*innen Zeitmangel als einen der Hauptgründe für ein ausbleibendes sportliches Training gegen ihre Rückenschmerzen angaben, könnte WB-EMS für viele Patient*innen eine neue und zeiteffektive Alternative darstellen.

Die Netzwerk Meta-Analyse im Rahmen von **Studie 3** gibt einen Überblick über den methodisch sehr heterogenen Einsatz von EMS bei athletischen Populationen. Sowohl in Bezug auf die gewählten Strom-Parameter, die Muskelkontraktion während der Applikation des elektrischen Reizes, die genutzte Hardware zur Einleitung des Reizes als auch die Belastungsnormative des Trainingsprogramms unterscheiden sich bisherige Studien. Aufgrund dieser methodischen Unterscheidungen waren allgemeine Ableitungen hinsichtlich einer evidenzbasierten Trainingsempfehlung für einen effektiven Trainingseinsatz bei trainierten Proband*innen nicht möglich, was bisher häufig dazu führte, die heterogenen Formen der EMS-Applikation bei athletischen Populationen als Ganzes zu bewerten und die Art der Stimulation sowie die Arbeitsweise der Muskulatur unberücksichtigt zu lassen. Aus diesem Grund gibt die hier durchgeführte Netzwerk Meta-Analyse wegen des neuartigen methodischen Ansatzes und der Einbeziehung der direkten und

indirekten Vergleiche erste allgemeine trainingspraktische Hinweise zur effektiven Gestaltung des EMS-Trainings für Athlet*innen. Ausgehend von den Ergebnissen sind die Nutzung einer hohen EMS-Intensität, eines relativ geringen EMS-Volumens innerhalb der Trainingseinheiten sowie eine bewegungsspezifische Gestaltung der Trainingsübungen die entscheidenden Merkmale für einen effektiven EMS-Einsatz. Hinsichtlich der Intensität der elektrischen Reizung stellten Lai et al. (1988) bereits fest, dass höhere Stimulationsintensitäten (50% MCV vs. 25% MVC) zu größeren Steigerungen der Maximalkraft führen. Auch weitere Studien mit lokalen Stimulationsformen kommen sowohl für klinische (Snyder-Mackler et al., 1994; Stevens et al., 2004) als auch athletische Populationen (Miller & Thépaut-Mathieu, 1993; Selkowitz, 1985) zu vergleichbaren Schlussfolgerungen. Wie bereits angeführt, nimmt die Rekrutierung mit zunehmender Entfernung von der Elektrode proportional ab (Vanderthommen et al., 2000). Um eine vermehrte Depolarisation von neuen und tieferliegenden Muskelfasern trotz Distanz zur Elektrode zu erreichen, ist eine Erhöhung der EMS-Intensität notwendig (Maffiuletti, 2010). Diese verstärkte Rekrutierung kann als möglicher Grund für die verbesserten Kraftadaptationen gesehen werden. Auch aus neuronaler Perspektive scheinen hohe Intensitäten vorteilhaft zu sein, da sie zu erhöhter kortikaler Aktivität durch periphere und zentrale Mechanismen führen (Collins, 2007). In diesem Zusammenhang werden EMS-bedingte Anpassungen sowohl auf spinaler als auch supraspinaler Ebene diskutiert. Die gewählte Applikationsform scheint eine Rolle für diese neuronalen Mechanismen zu spielen, sodass es an dieser Stelle weiterer Forschung bedarf (Maffiuletti, 2010).

Im Gegensatz zur Diskussion um die EMS-Intensität lassen sich in der Literatur bisher keine vergleichbaren Erkenntnisse bezüglich des EMS-Volumens finden. Trotz dieser Forschungslücke zeigt sich, dass der EMS-Reiz einen verstärkten metabolischen Bedarf aufweist (Vanderthommen et al., 2003) und mit erhöhten muskelschädigenden Prozessen (Jubeau et al., 2008) im Vergleich zu konventionellem Training in Verbindung gebracht werden muss. Begründet werden kann dieser Umstand mit der kontinuierlichen kontraktiven Aktivität bei derselben Population oberflächlicher Muskelfasern, die sich in der Nähe der stimulierenden Elektroden befinden (Vanderthommen

et al., 2000). Die Wahl einer hohen EMS-Intensität bei gleichzeitig hohem EMS-Volumen scheint vor diesem Hintergrund keine empfehlenswerte Option zu sein, da mit Übertrainingssymptomen und langen Regenerationszeiten gerechnet werden muss. Dass in der grundsätzlichen Trainingsausrichtung die Kombination einer hohen Intensität mit einem geringen Volumen die beste Option für Athlet*innen ist, deuten die Ergebnisse dieser NMA an. Hinsichtlich der spezifischen Trainingsausrichtung der Übungen konnte mit der NMA festgestellt werden, dass willkürliche, dynamische, sportartspezifische Bewegungsformen den Transfer beispielsweise in den Performancebereichen der Sprünge und Sprints begünstigen. Ob die sportartspezifische Ausrichtung der Trainingsübungen sequenziell (vor oder nach isoliertem EMS) oder simultan (während der EMS) erfolgt, scheint auf Grundlage der Ergebnisse weniger relevant zu sein.

Nichtsdestotrotz muss für die aufgeführten, evidenzbasierten Empfehlungen immer die Kombination als Ganzes betrachtet werden. An dieser Stelle ist insbesondere der Unterschied zwischen der lokalen Stimulation eines einzelnen Muskels und der Ganzkörper-Stimulation mehrerer Muskeln gleichzeitig hervorzuheben. Ein Grund dafür ist, dass die Einleitung der Stimulation an mehreren Muskeln des Körpers zwangsläufig zu erhöhten metabolischen Kosten sowie Muskelschädigungen bei hohen Stimulationsintensitäten führt. Empfehlungen für rein lokale Stimulationen können und sollten daher nicht exakt für die Applikation von WB-EMS übernommen werden.

Limitationen EMS

Wie auch jede andere Trainingsmethode weist die Anwendung von EMS Limitationen auf. Dieser Einschränkungen sollten sich sowohl Wissenschaftler*innen für die Konzeptionierung neuer Forschungsdesigns als auch Trainer*innen und Sportler*innen bei der Erstellung ihrer Trainingspläne bewusst sein, um Möglichkeiten zur Reduktion der Limitationen nutzen zu können.

Als ein wesentlicher Aspekt für die Effektivität des EMS-Trainings konnte der Stimulationsparameter Intensität herausgearbeitet werden (Micke et al.,

2022). Dieser besagt, dass eine hohe Stimulationsintensität zu positiven Anpassungen der Kraft- und Leistungsparameter führt. Die Frage der richtigen Dosierung hat in diesem Zusammenhang eine zentrale Bedeutung. Übersichtsarbeiten empfehlen Richtwerte von ≥ 50 mA (Filipovic et al., 2011). Durch diese Festlegung der Input-Variable kann zwar eingestellt werden, wie viel Stromintensität appliziert wird, wie viel Strom allerdings tatsächlich an der Zielmuskulatur ankommt (Output-Variable), bleibt fraglich und ist individuell sehr unterschiedlich. Denn interne Faktoren, wie beispielsweise die Dicke des subkutanen Fettgewebes und die Hauttemperatur (Maffiuletti et al., 2008), oder auch externe Faktoren, wie zum Beispiel die Elektrodenpositionierung und die Elektrodengröße, sorgen für Einschränkungen und individuelle Unterschiede bei der Impulsweiterleitung zwischen der Elektrode und der motorischen Einheit. Trotz einer standardisierten Kontrolle der Input-Variable fehlen aufgrund dieser Faktoren Informationen zur Output-Variable. Daher hat sich die Intensitätssteuerung über das subjektive Belastungsempfinden oder die maximal ertragbare Schmerztoleranz in der Praxis durchgesetzt bzw. sollte als Parameter unbedingt miterhoben werden (Maffiuletti, 2010). So erfolgt neben der externalen Erfassung der Belastung (EMS-Input) auch eine internale Erfassung der Belastung über das subjektiv empfundene Gefühl während der Stimulation, was zu einer verbesserten Trainingssteuerung führt. Objektive und kontrollierte Erfassungen der Intensitätssteuerungen via MVC oder Elektromyogramm (EMG) werden in wissenschaftlichen Untersuchungen zwar herangezogen, sind jedoch in der Praxis nicht immer möglich und vor allem schwierig umzusetzen.

Neben dieser methodischen Limitation muss auch die künstliche, elektrisch induzierte Muskelkontraktion kritisch betrachtet werden. Die räumlich begrenzte Depolarisation und letztendlich Rekrutierung der Muskelfasern bedeutet, dass immer dieselben motorischen Einheiten wiederholt durch dieselbe Menge an elektrischem Strom aktiviert werden, was wiederum das Einsetzen der Muskelermüdung beschleunigt (Gondin et al., 2011). Insbesondere wenn mit hohen Intensitäten stimuliert wird, stellt das frühzeitige Auftreten von Ermüdung eine wesentliche Einschränkung von EMS dar und könnte letztendlich eine bedeutende Rolle bei EMS-induzierter *Muscle Damage* spielen (Nosaka et al., 2011). So ist gerade bei der Nutzung von WB-

EMS mit hochintensiver Stimulation Vorsicht geboten, da bereits einige Fälle von Rhabdomyolyse dokumentiert wurden (Kästner et al., 2015; Malnick et al., 2016; Stöllberger & Finsterer, 2019). Um diese Limitation zu minimieren und EMS-bedingte Überbelastungen zu vermeiden, sollte die Leitlinie für ein sicheres und effektives WB-EMS-Training strikt befolgt werden (Kemmler et al., 2016). Vor allem bei initialen WB-EMS-Applikationen sollte keine maximale Intensität, sondern eine progressive Intensitätssteigerung über mehrere Trainingseinheiten gewählt werden. Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung der maximalen Stimulationsintensität empfehlen in diesem Zusammenhang mindestens drei Einheiten, damit Individuen ihre individuelle Intensitätstoleranz subjektiv einschätzen und erreichen können (Berger et al., 2019). Weiterführend wird der Umstand der hohen lokalen Muskelermüdung auch Konsequenzen auf Anpassungsprozesse mit sich bringen. Wie Studie 1 zeigt, ist nach anspruchsvollen WB-EMS-Trainingsprogrammen mit längeren Regenerations- bzw. Adaptationszeiten zu rechnen (Micke et al., 2018). Die Intensitätssteuerung über das subjektive Belastungsempfinden scheint vor diesem Hintergrund das zum aktuellen Zeitpunkt geeignetste Verfahren zu sein, da ohne zusätzliches Equipment schnell und einfach die Intensität reguliert werden kann.

Eine weitere Limitation stellt das wahrgenommene Unwohlsein bis hin zu leichten Schmerzen empfundene Gefühl der Stimulation dar. Zwar vertragen viele Personen den elektrischen Reiz gut, allerdings wird dieser während der Stimulation als unangenehm wahrgenommen (Delitto et al., 1992; Lake, 1992), was weitreichende Auswirkungen auf die Höhe der Trainingsintensität haben kann. Denn wegen der Intensitätssteuerung über das subjektive Belastungsempfinden werden Individuen mit Unwohlsein oder Schmerzen nur geringe Intensitäten wählen, sodass auch die Trainingsantwort beeinflusst sein könnte. Daher sollten zukünftige Forschungsansätze weiterhin nach geeigneten Lösungen für dieses Problem suchen. Bisherige Versuche, das Unwohlsein durch die Veränderung der unterschiedlichen Stimulationsparameter (vor allem Frequenz, Impulsbreite und Impulsform) zu minimieren und gleichzeitig die Rekrutierung der Muskelfasern zu erhöhen, führten nur zu begrenzten Erfolgen (Maffiuletti, 2010).

6 Ausblick

Die drei publizierten Artikel der vorliegenden Dissertation haben zu neuer Evidenz im Forschungsfeld EMS beigetragen. Ausgehend von den wissenschaftlichen Ergebnissen dieser Publikationen lassen sich für die Trainingspraxis folgende Ableitungen treffen:

Praktische Ableitungen für den Einsatz von (WB-)EMS:

- Athletische Populationen:
 - Empfehlungen für ein effektives EMS-Trainingsdesign: (max.) hohe Stimulationsintensität, geringes EMS-Volumen innerhalb einer Trainingseinheit, outcomespezifische Trainingsübungen (simultan oder sukzessiv)
 - detaillierte Stimulationsempfehlungen hinsichtlich der Parameter Frequenz, Impulsbreite und ON:OFF-Ratio sowie unterschiedlicher Trainingsziele bleiben weiter unklar
 - Auswahl der Belastungsnormative und Stimulationsparameter sollten unbedingt im Kontext der gesamten Trainingsbelastung betrachtet werden
 - im Gegensatz zur rein lokalen Stimulation ist bei der Anwendung von WB-EMS immer auf die potenzierende Wirkung der Stromapplikation zu achten → metabolische Anforderungen und *Muscle Damage*
- Klinische Populationen:
 - WB-EMS-Einsatz ist bei CNBP auf Grundlage der Wirksamkeit und Anwendbarkeit sinnvoll
 - WB-EMS ist eine geeignete Trainingsvariante für alle Individuen, die sich nicht willentlich/eigenständig bewegen wollen/können → bewirkt klinisch relevante Verbesserungen

Weiterführend werden an dieser Stelle, ausgehend von den Publikationen dieser Dissertation, weitere und offene Forschungslücken für das Forschungsfeld EMS aufgeführt.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Gewinnung von neuen Erkenntnissen hinsichtlich der zugrundeliegenden neuronalen, morphologischen oder auch schmerzmodulierenden Mechanismen durch EMS-Training. So ist die Evidenzlage für supraspinale Adaptationen (z.B. *Cross Education*, Aktivierung des sensorischen Kortex) nach EMS eindeutig, während Forschungslücken hinsichtlich spinaler Adaptationen (z.B. neuronaler *Drive*, Muskelaktivierung, präsynaptische Hemmung) bestehen (Hortobágyi & Maffiuletti, 2011). Von Interesse ist in diesem Zusammenhang auch die Unterscheidung zwischen akuten und chronischen Adaptationen in Folge eines regelmäßigen EMS-Trainings. Weiterführend sollte angestrebt werden, diese Mechanismen bei gesunden Proband*innen zu verstehen, um die Erkenntnisse bei der Behandlung von Patient*innen anzuwenden und die Trainingseffekte bei Athlet*innen durch eine Modulation des Trainingsreizes zu maximieren. Vor diesem Hintergrund forderten Hortobágyi & Maffiuletti (2011) bereits vor einigen Jahren placebokontrollierte Interventionsstudien, bei denen die elektrische Stimulation durch ein nicht-elektrisches Signal ersetzt wird. Trotz dieser bekannten Problematik bestehen bezüglich einer möglichen *Sham Intervention* bis heute methodische und praktische Probleme, da sowohl Proband*innen als auch Studienpersonal nur schwer geblendet werden können bzw. kann. Unter Berücksichtigung der bevorstehenden technischen Weiterentwicklung sollte in Zukunft angestrebt werden, eine passende *Sham Intervention* zu entwickeln, die ein qualitativ hochwertiges, placebokontrolliertes Studiendesign ermöglicht.

Ausgehend von den EMS-bedingten Limitationen ist die Steuerung der Stromintensität ein weiteres offenes Forschungsfeld. Die Etablierung einer standardisiert zu kontrollierenden Methode zur optimalen Einleitung der Intensität, abhängig von den individuellen Einflussfaktoren der zu trainierenden Person, könnte das subjektive Verfahren der Schmerzwahrnehmung ablösen und so zu optimierten Ergebnisse führen. Intensitätssteuerungen anhand der MVC-Kraft oder des aktuellen EMG-Signals wären methodische Möglichkeiten, deren direkte Anwendung in der Trainingspraxis evaluiert werden müsste.

Auch das Thema der Elektrodenplatzierung, insbesondere im Forschungsfeld der WB-EMS, wurde bisher nur wenig untersucht. Aus Studien mit lokaler EMS

ist bekannt, dass eine Stimulationseinleitung in unmittelbarer Nähe des sogenannten *Motor Point* zur größtmöglichen Muskelfaserrekrutierung führt (Paillard, 2008). Der *Motor Point* ist der Punkt auf der Hautoberfläche über dem Muskelbauch, an dem die geringste Strommenge erforderlich ist, um eine Muskelkontraktion zu erzeugen (Lake, 1992). Dies ist begründet durch intramuskuläre Nervenäste, die an dieser Stelle lokalisiert sind. Zur Identifizierung dieses Punktes wird eine Stift-Elektrode über den zu stimulierenden Muskel geführt (Gobbo et al., 2014). Der Punkt, welcher bei niedriger Stimulationsintensität die größte Muskelkontraktion hervorruft, wird als *Motor Point* bezeichnet und in der Folge als Punkt zur Einleitung der Stimulation genutzt. Durch die richtige Platzierung der Elektrode über dem/den identifizierten *Motor Point(s)* könnten so zumindest teilweise zwei der zuvor beschriebenen Limitationen von EMS überwunden werden: das Unwohlsein bis hin zum schmerzhaft empfundenen Gefühl während der Stimulation und die räumlich begrenzte Rekrutierung (Gobbo et al., 2014). In der Praxis des WB-EMS-Trainings wird die Elektrodenplatzierung in der Regel ohne vorherige Lokalisierung des *Motor Point* vorgenommen und die ideale Positionierung ist auch durch die Manschettenform der Elektrode nicht immer möglich. Neben einer optimierten Platzierung könnten auch die Erkenntnisse über eine Veränderung der Elektrodenplatzierung innerhalb einer Trainingseinheit von Bedeutung sein. Letztere könnte die Rekrutierung von neuen bzw. anderen Muskelfasern fördern und somit *Muscle Damage* und eine metabolische Ermüdung verringern.

Weiterführend gibt es erste vielversprechende Ansätze, die Problematik der Rekrutierung von denselben oberflächlichen Muskelfasern durch eine Modifikation der Stimulation zu lösen. Dadurch könnten trotz intensiven Stimulationseinleitungen eine vorzeitige Ermüdung und *Muscle Damage* reduziert werden. Die Modifikation kann in der Einleitung der Stimulation entweder über den Muskelbauch oder den Nervenstamm erfolgen, welcher den Muskel versorgt. Okuma et al. (2013) fanden via Oberflächen- und Nadel-EMG heraus, dass die Stimulation über dem Muskelbauch mit zunehmender Stimulationsintensität motorische Einheiten von oberflächlich bis tief rekrutiert, während die Stimulation über den Nervenstamm, unabhängig von der Stimulationsintensität, oberflächliche und tiefe motorische Einheiten

gleichermaßen rekrutiert. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse entwickelten Lou et al. (2017) die sogenannte *Interleaved NMES*, eine Mischform aus der Stimulation über den Muskelbauch (mNMES) und Nervenstamm (nNMES), wobei die Impulse immer zwischen einer mNMES und nNMES abgewechselt werden. Dies führt dazu, dass bei jedem zweiten Impuls verschiedene motorische Einheiten (vorwiegend oberflächliche Muskelfasern bei mNMES, sowohl oberflächliche als auch tiefe Muskelfasern bei nNMES) rekrutiert werden, um Entladungsfrequenzen und Muskelermüdung zu reduzieren. In der Praxis bedeutet das allerdings auch, dass eine doppelte Anzahl an Elektroden auf der Haut mit jeweils vorheriger Lokalisation der exakten *Motor Points* angebracht werden muss, um ein und denselben Muskel entweder über den Muskelbauch oder Muskelnerv zu stimulieren. Dies bedarf eines größeren methodischen Aufwands und setzt weitere fachliche Kenntnisse voraus. Ob sich dieser Mehraufwand, auch im Hinblick auf WB-EMS, für den praxisnahen Einsatz lohnt, gilt es in weiterführenden Studien zu klären.

Eine andere Möglichkeit, die rapide Muskelermüdung durch die Applikation von EMS zu verringern, wurde von Malešević et al. (2010) untersucht. Hintergrund der Studie war die vermehrt auftretende lokale Muskelermüdung beim Einsatz von längerfristiger EMS, beispielsweise bei Einsatzbereichen innerhalb der funktionellen elektrischen Stimulation (FES). Statt den Muskel klassisch durch eine großflächige Elektrode zu stimulieren, umfasst die Idee zur Verringerung von Ermüdung eine räumlich verteilte, sequenzielle Stimulation über mehrere kleinere Elektroden (Multi-Pad-Elektrode). Diese Einzelelektroden werden so synchronisiert, dass zeitlich gleichmäßig verteilte Impulse nacheinander erfolgen. Malešević et al. (2010) konnten bestätigen, dass der Einsatz von Multi-Pad-Elektroden in Kombination mit der räumlich verteilten, sequenziellen Stimulation die Ermüdung verringert, die klassische großflächige Applikation jedoch eine größere Effektivität für Kräftigungsprogramme aufweist. Demnach sollte die Wahl der Applikationsform abhängig vom Interventionsziel gewählt werden. Insbesondere für athletische Populationen könnten großangelegte Interventionsstudien zukünftig zu neuen Erkenntnissen führen. Die Ergebnisse eines direkten Vergleichs zwischen einer *Interleaved NMES*, einer sequenziellen Stimulation via Multi-Pad-Elektrode und einer klassischen

Applikationsform in Bezug auf akute und chronische Performanceadaptationen, Ermüdungserscheinungen, *Muscle Damage* sowie Stimulationsverträglichkeiten könnten von großem Wert für trainingspraktische Ableitungen und Trainingsempfehlungen sein. Abgeleitet von den Ergebnissen der NMA dieser Dissertation können als Trainingsempfehlungen hohe Stimulationsintensitäten und outcomespezifische Trainingsübungen gegeben werden. Ob durch diese alternativen Stimulationsverfahren möglicherweise weniger Stimulationsintensität für gleichwertige Adaptationen nötig ist, um dadurch die Trainingsspezifität mit dynamischen Bewegungsausführungen simultan zu ermöglichen, bleibt zu prüfen.

Diese beiden Beispiele der Modifikation der Elektrodenplatzierung unterstreichen die Wichtigkeit dieses Aspekts und zeigen den weiteren Forschungsbedarf im Bereich der WB-EMS auf. Weil sich die aktuellen (WB-) EMS Geräte aufgrund des schnellen technischen Fortschritts kontinuierlich weiterentwickeln, sollten zukünftig auch weitere methodische Faktoren untersucht werden. Ein wissenschaftlicher Fokus könnte zum Beispiel auf sehr dynamische Bewegungsformen gelegt werden, da die Durchführung durch neuere kabellose Geräte in großem Maße vereinfacht wird. Ein weiterer Erkenntnisgewinn zum in Studie 1 und 3 diskutierten Verhältnis von submaximaler Stimulation (für dynamische Bewegungsausführungen notwendig), erforderlicher Bewegungsspezifität und dem Krafttransfer in sportartrelevante Performanceparameter wäre somit möglich. Vor allem für das Training mit athletischen Populationen könnte auch die Entkopplung von agonistischer und antagonistischer Stimulation der Extremitäten, die aktuell den Standard im Rahmen der WB-EMS darstellen, von weiterer Bedeutung sein. So kann auf der einen Seite die Intensität unabhängig für die einzelnen Muskeln gewählt und auf der anderen Seite die stimulationsbedingte antagonistische Hemmung reguliert werden.

Neben diesen technisch methodischen Faktoren der Stimulationseinleitung sollten in Zukunft auch weitere klinische Fragestellungen in den Blick genommen werden. Der klinische Einsatz von (WB-)EMS ist, ausgehend von den großen Effekten bei der Aufrechterhaltung der Muskelmasse von Patient*innen während längerer Phasen teilweiser oder vollständiger Immobilisierung, perspektivisch von besonders hoher Relevanz. Denn neben

dem EMS-Einsatz aus rein orthopädischen Gründen der Immobilisierung könnte EMS auch auf Intensivstationen, beispielsweise bei Patient*innen mit chronischer Herzinsuffizienz, chronisch obstruktiver Lungenerkrankung oder nach Schlaganfällen, die Begleiterscheinungen der langen Immobilisierung positiv beeinflussen. So weist der Einsatz der Trainingsmethode EMS neben der trainingswissenschaftlichen Perspektive auch eine gesamtgesellschaftliche Relevanz auf.

Ausblickend lässt sich aus den Erkenntnissen dieser Dissertation und den im Forschungsstand beschriebenen weiteren Publikationen ableiten, dass die Trainingsmethode EMS sowohl für athletische als auch klinische Populationen das Potenzial aufweist, relevante Kraft- und Leistungsparameter zu verbessern sowie spezifische Symptome zu lindern. Für klinische Populationen scheint der Benefit eines EMS-Trainings bezogen auf die Kraftverbesserungen größer als für bereits trainierte Personen zu sein. Die Ergebnisse dieser Dissertation lassen außerdem den Schluss zu, dass insbesondere die gewählten EMS-Parameter in Kombination mit den gewählten Bewegungsprogrammen einen ganz entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit des Trainings haben. Weiterer Forschungsbedarf besteht daher in der spezifischen Detektion, welche EMS-Applikationsmethode in Kombination mit welchen EMS-Parametern und Bewegungsprogrammen für ein optimales Outcome bei den unterschiedlichen Populationen sorgen. Die zwei Interventionsstudien dieser Dissertation und die Netzwerk-Metaanalyse konnten einen wichtigen Beitrag dazu leisten, auf dem zukünftige Studien aufbauen könnten.

Literaturverzeichnis

Babault, N., Cometti, G., Bernardin, M., Pousson, M., & Chatard, J.-C. (2007). Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 431–437. <https://doi.org/10.1519/R-19365.1>

Baker, L. L., Yeh, C., Wilson, D., & Waters, R. L. (1979). Electrical stimulation of wrist and fingers for hemiplegic patients. *Physical Therapy*, 59(12), 1495–1499. <https://doi.org/10.1093/ptj/59.12.1495>

Bax, L., Staes, F., & Verhagen, A. (2005). Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(3), 191–212. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535030-00002>

Bellia, A., Ruscello, B., Bolognino, R., Briotti, G., Gabrielli, P. R., Silvestri, A., Rosazza, C., Ambruso, F., Lombardo, M., Bernardini, A., Calabrese, C., Lauro, D., & D'Ottavio, S. (2020). Whole-body Electromyostimulation plus Caloric Restriction in Metabolic Syndrome. *International Journal of Sports Medicine*, 41(11), 751–758. <https://doi.org/10.1055/a-1171-2003>

Berger, J., Becker, S., Backfisch, M., Eifler, C., Kemmler, W., & Fröhlich, M. (2019). Adjustment Effects of Maximum Intensity Tolerance During Whole-Body Electromyostimulation Training. *Frontiers in Physiology*, 10, 920. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00920>

Bo Andersen, L., Wedderkopp, N., & Leboeuf-Yde, C. (2006). Association between back pain and physical fitness in adolescents. *Spine*, 31(15), 1740–1744. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000224186.68017.e0>

Bossert, F.-P., Jenrich, W., & Vogedes, K. (2006). *Leitfaden Elektrotherapie: Mit Anwendungen bei über 130 Krankheitsbildern* (1. Aufl). Elsevier, Urban & Fischer.

Brocherie, F., Babault, N., Cometti, G., Maffiuletti, N. A., & Chatard, J.-C. (2005). Electrostimulation training effects on the physical performance of ice

hockey players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 455–460. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155396.51293.9f>

Burgess, L. C., Taylor, P., Wainwright, T. W., Bahadori, S., & Swain, I. D. (2021). Adherence to Neuromuscular Electrical Stimulation Interventions for Muscle Impairment in Hip and Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *Clinical Medicine Insights. Arthritis and Musculoskeletal Disorders*, 14, 11795441211028746. <https://doi.org/10.1177/11795441211028746>

Collins, D. F. (2007). Central contributions to contractions evoked by tetanic neuromuscular electrical stimulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(3), 102–109. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e3180a0321b>

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011a). Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Medicine*, 41(1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011b). Developing maximal neuromuscular power: Part 2—Training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(2), 125–146. <https://doi.org/10.2165/11538500-000000000-00000>

Currier, D. P., & Mann, R. (1983). Muscular strength development by electrical stimulation in healthy individuals. *Physical Therapy*, 63(6), 915–921. <https://doi.org/10.1093/ptj/63.6.915>

da Cunha, R. A., Pinfildi, C. E., de Castro Pochini, A., & Cohen, M. (2020). Photobiomodulation therapy and NMES improve muscle strength and jumping performance in young volleyball athletes: A randomized controlled trial study in Brazil. *Lasers in Medical Science*, 35(3), 621–631. <https://doi.org/10.1007/s10103-019-02858-6>

Delitto, A., Strube, M. J., Shulman, A. D., & Minor, S. D. (1992). A study of discomfort with electrical stimulation. *Physical Therapy*, 72(6), 410–421; discussion on 421-424. <https://doi.org/10.1093/ptj/72.6.410>

Dervisevic, E., Bilban, M., & Valencic, V. (2002). *The influence of low-frequency electrostimulation and isokinetic training on the maximal strength of*

m. Quadriceps femoris. 10(4), 203–209. <https://doi.org/10.3233/IES-2002-0105>

Dörmann, U., Wirtz, N., Micke, F., Morat, M., Kleinöder, H., & Donath, L. (2019). The Effects of Superimposed Whole-Body Electromyostimulation During Short-Term Strength Training on Physical Fitness in Physically Active Females: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Physiology*, 10, 728. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00728>

Eriksson, E., & Häggmark, T. (1979). Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. A preliminary report. *The American Journal of Sports Medicine*, 7(3), 169–171. <https://doi.org/10.1177/036354657900700305>

Eriksson, E., Häggmark, T., Kiessling, K. H., & Karlsson, J. (1981). Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 2(1), 18–22. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1034578>

Farrar, J. T., Young, J. P., LaMoreaux, L., Werth, J. L., & Poole, R. M. (2001). Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale. *Pain*, 94(2), 149–158. [https://doi.org/10.1016/s0304-3959\(01\)00349-9](https://doi.org/10.1016/s0304-3959(01)00349-9)

Filipovic, A., Grau, M., Kleinöder, H., Zimmer, P., Hollmann, W., & Bloch, W. (2016). Effects of a Whole-Body Electrostimulation Program on Strength, Sprinting, Jumping, and Kicking Capacity in Elite Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(4), 639–648.

Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U., & Mester, J. (2011). Electromyostimulation—A systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3218–3238. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212e3ce>

Filipovic, A., Kleinöder, H., Dörmann, U., & Mester, J. (2012). Electromyostimulation—A systematic review of the effects of different

electromyostimulation methods on selected strength parameters in trained and elite athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2600–2614. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2cd1>

Filipovic, A., Kleinöder, H., Plück, D., Hollmann, W., Bloch, W., & Grau, M. (2015). Influence of Whole-Body Electrostimulation on Human Red Blood Cell Deformability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2570–2578. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000916>

Fiorilli, G., Quinzi, F., Buonsenso, A., Casazza, G., Manni, L., Parisi, A., Di Costanzo, A., Calcagno, G., Soligo, M., & di Cagno, A. (2021). A Single Session of Whole-Body Electromyostimulation Increases Muscle Strength, Endurance and proNGF in Early Parkinson Patients. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(10), 5499. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105499>

Gobbo, M., Maffiuletti, N. A., Orizio, C., & Minetto, M. A. (2014). Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 17. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-17>

Gondin, J., Cozzone, P. J., & Bendahan, D. (2011). Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes? *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2473–2487. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2101-2>

Gregory, C. M., & Bickel, C. S. (2005). Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Physical Therapy*, 85(4), 358–364.

Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010a). Short-Term Effect of Plyometrics and Strength Training With and Without Superimposed Electrical Stimulation on Muscle Strength and Anaerobic Performance: A Randomized Controlled Trial. Part II. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1616–1622. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d8e84b>

Herrero, A. J., Martín, J., Martín, T., Abadía, O., Fernández, B., & García-López, D. (2010b). Short-Term Effect of Strength Training With and Without Superimposed Electrical Stimulation on Muscle Strength and Anaerobic Performance. A Randomized Controlled Trial. Part I. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1609–1615. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dc427e>

Hortobágyi, T., & Maffiuletti, N. A. (2011). Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2439–2449. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2012-2>

Hoy, D., Bain, C., Williams, G., March, L., Brooks, P., Blyth, F., Woolf, A., Vos, T., & Buchbinder, R. (2012). A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis and Rheumatism*, 64(6), 2028–2037. <https://doi.org/10.1002/art.34347>

Hultman, E., Sjöholm, H., Jäderholm-Ek, I., & Krynicky, J. (1983). Evaluation of methods for electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 398(2), 139–141. <https://doi.org/10.1007/BF00581062>

Ioannidis, J. (2017). Next-generation systematic reviews: Prospective meta-analysis, individual-level data, networks and umbrella reviews. *British Journal of Sports Medicine*, 51(20), 1456–1458. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097621>

Ishak, N. A., Zahari, Z., & Justine, M. (2017). Kinesiophobia, Pain, Muscle Functions, and Functional Performances among Older Persons with Low Back Pain. *Pain Research and Treatment*, 2017, 3489617. <https://doi.org/10.1155/2017/3489617>

Jubeau, M., Sartorio, A., Marinone, P. G., Agosti, F., Van Hoecke, J., Nosaka, K., & Maffiuletti, N. A. (2008). Comparison between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris for growth hormone response and muscle damage. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 104(1), 75–81. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00335.2007>

Kästner, A., Braun, M., & Meyer, T. (2015). Two Cases of Rhabdomyolysis After Training With Electromyostimulation by 2 Young Male Professional Soccer Players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 25(6), e71-3. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000153>

Kemmler, W., Froehlich, M., von Stengel, S., & Kleinöder, H. (2016). Whole-Body Electromyostimulation – The Need for Common Sense! Rationale and Guideline for a Safe and Effective Training. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*, 2016(09), 218–221. <https://doi.org/10.5960/dzsm.2016.246>

Kemmler, W., Kleinöder, H., & Fröhlich, M. (2020). Editorial: Whole-Body Electromyostimulation: A Training Technology to Improve Health and Performance in Humans? *Frontiers in Physiology*, 11, 523. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00523>

Kemmler, W., Shojaa, M., Steele, J., Berger, J., Fröhlich, M., Schoene, D., von Stengel, S., Kleinöder, H., & Kohl, M. (2021). Efficacy of Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) on Body Composition and Muscle Strength in Non-athletic Adults. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 12, 451. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.640657>

Kemmler, W., Teschler, M., Bebenek, M., & von Stengel, S. (2015). [(Very) high Creatinkinase concentration after exertional whole-body electromyostimulation application: Health risks and longitudinal adaptations]. *Wiener Medizinische Wochenschrift (1946)*, 165(21–22), 427–435. <https://doi.org/10.1007/s10354-015-0394-1>

Kemmler, W., von Stengel, S., Kohl, M., Rohleder, N., Bertsch, T., Sieber, C. C., Freiberger, E., & Kob, R. (2020). Safety of a Combined WB-EMS and High-Protein Diet Intervention in Sarcopenic Obese Elderly Men. *Clinical Interventions in Aging*, 15, 953–967. <https://doi.org/10.2147/CIA.S248868>

Konrad, K. L., Baeyens, J.-P., Birkenmaier, C., Ranker, A. H., Widmann, J., Leukert, J., Wenisch, L., Kraft, E., Jansson, V., & Wegener, B. (2020). The effects of whole-body electromyostimulation (WB-EMS) in comparison to a multimodal treatment concept in patients with non-specific chronic back pain-

A prospective clinical intervention study. *PloS One*, 15(8), e0236780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236780>

Korsch, S., Herbold, D., Wiezoreck, M., Geigner, B., Beddies, A., Worringer, U., & Hampel, P. (2016). Förderfaktoren, Barrieren und Barrierenmanagement zur Umsetzung gesundheitsförderlicher Verhaltensweisen von Rehabilitanden mit chronischem Rückenschmerz—Eine qualitative Analyse. *Die Rehabilitation*, 55(4), 210–216. <https://doi.org/10.1055/s-0042-106844>

Lai, H. S., Domenico, G. D., & Strauss, G. R. (1988). The effect of different electro-motor stimulation training intensities on strength improvement. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 34(3), 151–164. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60607-3](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60607-3)

Lake, D. A. (1992). Neuromuscular electrical stimulation. An overview and its application in the treatment of sports injuries. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 13(5), 320–336. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213050-00003>

Lexell, J., Downham, D., & Sjöström, M. (1984). Distribution of different fibre types in human skeletal muscles. *Journal of the Neurological Sciences*, 65(3), 353–365. [https://doi.org/10.1016/0022-510X\(84\)90098-4](https://doi.org/10.1016/0022-510X(84)90098-4)

Lou, J. W. H., Bergquist, A. J., Aldayel, A., Czitron, J., & Collins, D. F. (2017). Interleaved neuromuscular electrical stimulation reduces muscle fatigue: Interleaved NMES. *Muscle & Nerve*, 55(2), 179–189. <https://doi.org/10.1002/mus.25224>

Ludwig, O., Berger, J., Schuh, T., Backfisch, M., Becker, S., & Fröhlich, M. (2020). Can A Superimposed Whole-Body Electromyostimulation Intervention Enhance the Effects of a 10-Week Athletic Strength Training in Youth Elite Soccer Players? *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(3), 535–546.

Lüning Bergsten, C., Lundberg, M., Lindberg, P., & Elfving, B. (2012). Change in kinesiophobia and its relation to activity limitation after multidisciplinary rehabilitation in patients with chronic back pain. *Disability and Rehabilitation*, 34(10), 852–858. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.624247>

- Maffiuletti, N. A. (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, 110(2), 223–234. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1502-y>
- Maffiuletti, N. A., Bramanti, J., Jubeau, M., Bizzini, M., Deley, G., & Cometti, G. (2009). Feasibility and efficacy of progressive electrostimulation strength training for competitive tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 677–682. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b784>
- Maffiuletti, N. A., Cometti, G., Amiridis, I. G., Martin, A., Pousson, M., & Chatard, J. C. (2000). The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 437–443. <https://doi.org/10.1055/s-2000-3837>
- Maffiuletti, N. A., Herrero, A. J., Jubeau, M., Impellizzeri, F. M., & Bizzini, M. (2008). Differences in electrical stimulation thresholds between men and women. *Annals of Neurology*, 63(4), 507–512. <https://doi.org/10.1002/ana.21346>
- Maffiuletti, N. A., Minetto, M. A., Farina, D., & Bottinelli, R. (2011). Electrical stimulation for neuromuscular testing and training: State-of-the art and unresolved issues. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2391–2397. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2133-7>
- Malešević, N. M., Popović, L. Z., Schwirtlich, L., & Popović, D. B. (2010). Distributed low-frequency functional electrical stimulation delays muscle fatigue compared to conventional stimulation: Distributed Low-Frequency FES. *Muscle & Nerve*, 42(4), 556–562. <https://doi.org/10.1002/mus.21736>
- Malnick, S. D. H., Band, Y., Alin, P., & Maffiuletti, N. A. (2016). It's time to regulate the use of whole body electrical stimulation. *BMJ*, i1693. <https://doi.org/10.1136/bmj.i1693>
- Manchikanti, L., Singh, V., Falco, F. J. E., Benyamin, R. M., & Hirsch, J. A. (2014). Epidemiology of low back pain in adults. *Neuromodulation: Journal of the International Neuromodulation Society*, 17 Suppl 2, 3–10. <https://doi.org/10.1111/ner.12018>

- Mathes, S., Lehnen, N., Link, T., Bloch, W., Mester, J., & Wahl, P. (2017). Chronic effects of superimposed electromyostimulation during cycling on aerobic and anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 117(5), 881–892. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3572-6>
- Micke, F., Held, S., Lindenthal, J., & Donath, L. (2022). Effects of electromyostimulation on performance parameters in sportive and trained athletes: A systematic review and network meta-analysis: European Journal of Sport Science. *European Journal of Sport Science*, 1–94. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2107437>
- Micke, F., Kleinöder, H., Dörmann, U., Wirtz, N., & Donath, L. (2018). Effects of an Eight-Week Superimposed Submaximal Dynamic Whole-Body Electromyostimulation Training on Strength and Power Parameters of the Leg Muscles: A Randomized Controlled Intervention Study. *Frontiers in Physiology*, 9, 1719. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01719>
- Micke, F., Weissenfels, A., Wirtz, N., von Stengel, S., Dörmann, U., Kohl, M., Kleinöder, H., Donath, L., & Kemmler, W. (2021). Similar Pain Intensity Reductions and Trunk Strength Improvements Following Whole-Body Electromyostimulation vs. Whole-Body Vibration vs. Conventional Back-Strengthening Training in Chronic Non-specific Low Back Pain Patients: A Three-Armed Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Physiology*, 12, 664991. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.664991>
- Miller, C., & Thépaut-Mathieu, C. (1993). Strength training by electrostimulation conditions for efficacy. *International Journal of Sports Medicine*, 14(1), 20–28. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021140>
- Nobbs, L. A., & Rhodes, E. C. (1986). The Effect of Electrical Stimulation and Isokinetic Exercise on Muscular Power of the Quadriceps Femoris. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 8(5), 260–268. <https://doi.org/10.2519/jospt.1986.8.5.260>
- Nosaka, K., Aldayel, A., Jubeau, M., & Chen, T. C. (2011). Muscle damage induced by electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2427–2437. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2086-x>

- Okuma, Y., Bergquist, A. J., Hong, M., Chan, K. M., & Collins, D. F. (2013). Electrical stimulation site influences the spatial distribution of motor units recruited in tibialis anterior. *Clinical Neurophysiology*, *124*(11), 2257–2263. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.04.015>
- Paillard, T. (2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *38*(2), 161–177. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00005>
- Paillard, T. (2018). Training Based on Electrical Stimulation Superimposed Onto Voluntary Contraction Would be Relevant Only as Part of Submaximal Contractions in Healthy Subjects. *Frontiers in Physiology*, *9*, 1428. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01428>
- Pano-Rodriguez, A., Beltran-Garrido, J. V., Hernández-González, V., & Reverter-Masia, J. (2019). Effects of whole-body ELECTROMYOSTIMULATION on health and performance: A systematic review. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *19*(1), 87. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2485-9>
- Rapoport, J., Jacobs, P., Bell, N. R., & Klarenbach, S. (2004). Refining the measurement of the economic burden of chronic diseases in Canada. *Chronic Diseases in Canada*, *25*(1), 13–21.
- Reljic, D., Konturek, P. C., Herrmann, H. J., Neurath, M. F., & Zopf, Y. (2020). Effects of whole-body electromyostimulation exercise and caloric restriction on cardiometabolic risk profile and muscle strength in obese women with the metabolic syndrome: A pilot study. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, *71*(1). <https://doi.org/10.26402/jpp.2020.1.08>
- Searle, A., Spink, M., Ho, A., & Chuter, V. (2015). Exercise interventions for the treatment of chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Clinical Rehabilitation*, *29*(12), 1155–1167. <https://doi.org/10.1177/0269215515570379>

Selkowitz, D. M. (1985). Improvement in isometric strength of the quadriceps femoris muscle after training with electrical stimulation. *Physical Therapy*, 65(2), 186–196. <https://doi.org/10.1093/ptj/65.2.186>

Sivaramakrishnan, A., Solomon, J. M., & Manikandan, N. (2018). Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury—A pilot randomized cross-over trial. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 41(4), 397–406. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1390930>

Snyder-Mackler, L., Delitto, A., Stralka, S. W., & Bailey, S. L. (1994). Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy*, 74(10), 901–907. <https://doi.org/10.1093/ptj/74.10.901>

Soo, C. L., Currier, D. P., & Threlkeld, A. J. (1988). Augmenting voluntary torque of healthy muscle by optimization of electrical stimulation. *Physical Therapy*, 68(3), 333–337. <https://doi.org/10.1093/ptj/68.3.333>

Steiger, F., Wirth, B., de Bruin, E. D., & Mannion, A. F. (2012). Is a positive clinical outcome after exercise therapy for chronic non-specific low back pain contingent upon a corresponding improvement in the targeted aspect(s) of performance? A systematic review. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 21(4), 575–598. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2045-6>

Stevens, J. E., Mizner, R. L., & Snyder-Mackler, L. (2004). Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: A case series. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34(1), 21–29. <https://doi.org/10.2519/jospt.2004.34.1.21>

Stöllberger, C., & Finsterer, J. (2019). Side effects of and contraindications for whole-body electro-myo-stimulation: A viewpoint. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 5(1), e000619. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000619>

Teschler, M., Heimer, M., Schmitz, B., Kemmler, W., & Mooren, F. C. (2021). Four weeks of electromyostimulation improves muscle function and strength

in sarcopenic patients: A three-arm parallel randomized trial. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 12(4), 843–854. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12717>

Toigo, M., & Boutellier, U. (2006). New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 97(6), 643–663. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0238-1>

Vanderthommen, M., Depresseux, J. C., Dauchat, L., Degueudre, C., Croisier, J. L., & Crielaard, J. M. (2000). Spatial distribution of blood flow in electrically stimulated human muscle: A positron emission tomography study. *Muscle & Nerve*, 23(4), 482–489. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4598\(200004\)23:4<482::aid-mus5>3.0.co;2-i](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4598(200004)23:4<482::aid-mus5>3.0.co;2-i)

Vanderthommen, M., Duteil, S., Wary, C., Raynaud, J. S., Leroy-Willig, A., Crielaard, J. M., & Carlier, P. G. (2003). A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved 1H- and 31P-NMRS in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 94(3), 1012–1024. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00887.2001>

Weissenfels, A., Wirtz, N., Dörmann, U., Kleinöder, H., Donath, L., Kohl, M., Fröhlich, M., von Stengel, S., & Kemmler, W. (2019). Comparison of Whole-Body Electromyostimulation versus Recognized Back-Strengthening Exercise Training on Chronic Nonspecific Low Back Pain: A Randomized Controlled Study. *BioMed Research International*, 2019, 5745409. <https://doi.org/10.1155/2019/5745409>

Wirtz, N., Dörmann, U., Micke, F., Filipovic, A., Kleinöder, H., & Donath, L. (2019). Effects of Whole-Body Electromyostimulation on Strength-, Sprint-, and Jump Performance in Moderately Trained Young Adults: A Mini-Meta-Analysis of Five Homogenous RCTs of Our Work Group. *Frontiers in Physiology*, 10, 1336. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01336>

Wirtz, N., Zinner, C., Doermann, U., Kleinoeder, H., & Mester, J. (2016). Effects of Loaded Squat Exercise with and without Application of Superimposed EMS on Physical Performance. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(1), 26–33.

Wun, A., Kollias, P., Jeong, H., Rizzo, R. R., Cashin, A. G., Bagg, M. K., McAuley, J. H., & Jones, M. D. (2021). Why is exercise prescribed for people with chronic low back pain? A review of the mechanisms of benefit proposed by clinical trialists. *Musculoskeletal Science & Practice*, 51, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2020.102307>

Publikationsliste

Peer Reviewed Journals

- Micke, F.**, Held, S., Lindenthal, J., & Donath, L. (2022). Effects of electromyostimulation on performance parameters in sportive and trained athletes: A systematic review and network meta-analysis. *European Journal of Sport Science*.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2107437>
- Micke, F.**, Weissenfels, A., Wirtz, N., von Stengel, S., Dörmann, U., Kohl, M., Kleinöder, H., Donath, L., & Kemmler, W. (2021). Similar Pain Intensity Reductions and Trunk Strength Improvements Following Whole-Body Electromyostimulation vs. Whole-Body Vibration vs. Conventional Back-Strengthening Training in Chronic Non-specific Low Back Pain Patients: A Three-Armed Randomized Controlled Trial. *Frontiers in physiology*, 12, 664991. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.664991>
- Micke, F.**, Kleinöder, H., Dörmann, U., Wirtz, N., & Donath, L. (2018). Effects of an Eight-Week Superimposed Submaximal Dynamic Whole-Body Electromyostimulation Training on Strength and Power Parameters of the Leg Muscles: A Randomized Controlled Intervention Study. *Frontiers in physiology*, 9, 1719. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01719>
- Dörmann, U., Wirtz, N., **Micke, F.**, Morat, M., Kleinöder, H., & Donath, L. (2019). The Effects of Superimposed Whole-Body Electromyostimulation During Short-Term Strength Training on Physical Fitness in Physically Active Females: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in physiology*, 10, 728. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00728>
- Wirtz, N., Dörmann, U., **Micke, F.**, Filipovic, A., Kleinöder, H., & Donath, L. (2019). Effects of Whole-Body Electromyostimulation on Strength-, Sprint-, and Jump Performance in Moderately Trained Young Adults: A Mini-Meta-Analysis of Five Homogenous RCTs of Our Work Group. *Frontiers in physiology*, 10, 1336. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01336>

Konferenzbeiträge

- Micke, F., Held, S., Lindenthal, J., & Donath, L. (2022).** Effects of electromyostimulation on performance parameters in trained athletes: A systematic review and network meta-analysis. *ECSS 2022, August 30th – September 02nd 2022 Sevilla*, Poster Presentation.
- Micke, F., Wirtz, N., Dörmann, U., Kemmler, W., Kleinöder, H., & Donath, L. (2020).** Effects of Whole-Body Electromyostimulation (WB-EMS) vs. Whole-Body Vibration (WBV) vs. conventional back-strengthening training on chronic non-specific low back pain: A 3-armed randomized controlled trial. *ECSS 2020, October 28th – 30th 2020 Online*, Oral Presentation.
- Micke, F., Kleinöder, H., Dörmann, U., Wirtz, N., Donath, L. (2018).** Effects of an eight-week dynamic whole-body electromyostimulation training on strength and power parameters of the leg muscles: a randomized controlled study. *ESCC 2018, July 4th -7th 2018 Dublin*, Oral Presentation.
- Micke, F., Wirtz, N., Dörmann, U., Kleinöder, H., & Donath, L. (2019)** Effects of Whole Body Electromyostimulation (WB-EMS) vs. Whole Body Vibration (WBV) in patients with chronic nonspecific low back pain. *German Exercise Science & Training Conference (GEST19) of the German Society of Sport Science (Dvs), February 20th -22nd 2019 Würzburg*, Oral Presentation.
- Micke, F., Kleinöder, H., Dörmann, U., Wirtz, N., Donath, L. (2018).** Verbesserung der Kraft-und Leistungsfähigkeit der Kniebeugemuskulatur sowie der Hamstring/Quadriceps-Ratio durch dynamisches Elektromyostimulationstraining. 10. Jahrestagung der Sportwissenschaftlichen Gesellschaft der Schweiz (SGS), *February 8th - 9nd 2018 Magglingen*, Oral Presentation
- Micke, F., Kleinöder, H., Dörmann, U., Wirtz, N., Donath, L. (2017).** Effekte eines achtwöchigen dynamischen Elektromyostimulationstrainings auf ausgewählte Kraft- sowie Leistungsparameter der Beinmuskulatur. Jahrestagung der dvs-Sektion Trainingswissenschaft, *September 20th - 22nd 2017 Mainz*, Oral Presentation