

Bachelorarbeit

Ist NMES eine effektive Trainingsoption für Patienten mit fortgeschrittener COPD?

**Analyse des Effekts bezüglich Aufbau von peripherer
Muskelkraft, Steigerung der Ausdauerkapazität und
Verbesserung der Lebensqualität**

Claudia Kurz, Ruediweg 7, 8404 Winterthur, S06-907-828

Departement: Gesundheit
Institut: Institut für Physiotherapie
Studienjahr: 2008
Eingereicht am: 20.05.2011
Betreuende Lehrperson: Dr. rer. medic. A.J.R. van Gestel

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
1 Einleitung	5
1.1 Einführung und Begründung der Themenwahl.....	5
1.2 Fragestellung	6
1.3 Methodik.....	6
2 Theoretischer Hintergrund.....	9
2.1 COPD – Chronic Obstructive Pulmonary Disease.....	9
2.1.1 Definition	9
2.1.2 Ursache und Symptomatik	9
2.1.3 Akute Exazerbation	10
2.1.4 Dyspnoespirale	11
2.1.5 Pulmonale Rehabilitation	12
2.2 NMES – Neuromuscular Electrical Stimulation	13
2.2.1 Definition	13
2.2.2 Anwendungsgebiet und Indikationen	14
2.2.3 Wirkungsweise und Methodik.....	15
3 Ergebnisse aus der Forschungsliteratur.....	17
3.1 Anwendung und Wirkung von NMES bei COPD-Patienten.....	17
3.1.1 Periphere Muskelkraft	17
3.1.2 Ausdauerkapazität	20
3.1.3 Lebensqualität.....	21
4 Diskussion.....	25
4.1 Effekt von NMES auf die periphere Muskelkraft.....	25
4.2 Effekt von NMES auf die Ausdauerkapazität.....	27
4.3 Effekt von NMES auf die Lebensqualität	29
4.4 Indikation für NMES während akuten Exazerbationen	30
4.5 NMES versus aktives Training	32
4.6 Qualität der verwendeten Studien	34
5 Schlussfolgerung und Prognose	36

6	Verzeichnisse	38
6.1	Literaturverzeichnis	38
6.2	Tabellenverzeichnis.....	47
6.3	Abbildungsverzeichnis.....	47
6.4	Abkürzungsverzeichnis & Glossar.....	48
7	Eigenständigkeitserklärung	49
8	Anhang	50

Abstract

Hintergrund:

Eine der wichtigsten extrapulmonalen Manifestationen von COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) ist die Dekonditionierung der peripheren Muskulatur und eine damit assoziierte Belastungsintoleranz. Körperliches Training wird von Patienten im Spätstadium der Erkrankung und während akuten Exazerbationen daher schlecht toleriert. Folglich besteht das Interesse an alternativen Trainingsoptionen für diese Patientengruppe.

Zielsetzung:

Ziel ist es, die Effekte von NMES (Neuromuscular Electrical Stimulation) auf die periphere Muskelkraft, die Ausdauerkapazität und die Lebensqualität von Patienten mit COPD zu analysieren. Als Nebenziel soll die Indikation von NMES während einer akuten Exazerbation von COPD betrachtet werden.

Methode:

Anhand einer ausführlichen Literaturrecherche wurde die aktuellste Forschungsliteratur aus den relevanten elektronischen Datenbanken selektiert und fünf RCTs (Randomised Controlled Trials) als primäre Grundlage für dieses systematische Review bestimmt.

Ergebnisse:

NMES bewirkt eine signifikante Verbesserung der peripheren Muskelkraft bei COPD-Patienten, welche jedoch nur tendenziell auf eine gesteigerte Ausdauerkapazität und Lebensqualität übertragen werden kann.

Schlussfolgerung:

NMES hat das Potential, künftig eine wertvolle additive Trainingsoption in der pulmonalen Rehabilitation darzustellen. Während akuten Exazerbationen scheint diese Form der Intervention indiziert zu sein. Bezüglich optimaler Stimulationsparameter, geeigneter Patienten, exakter Wirkungsweise und klinischer Relevanz der Effekte ist jedoch noch intensivere Forschung mit grösseren Studienpopulationen und standardisierten Vorgehensweisen notwendig.

Keywords:

copd, nmes, electrical stimulation, exercise intolerance, exercise capacity, peripheral muscle strength, exacerbation, quality of life

1 Einleitung

1.1 Einführung und Begründung der Themenwahl

COPD gilt laut der Lungenliga Schweiz heute weltweit als vierthäufigste Todesursache. Gemäss der Weltgesundheitsorganisation (WHO, 2011) leiden schätzungsweise 80 Millionen Menschen an moderater bis schwerer COPD und bis im Jahr 2030 soll die Lungenerkrankung gar die global dritthäufigsten Todesursache sein. In der Schweiz sind ca. 400'000 Menschen oder 5% der gesamten Landesbevölkerung betroffen (copd-swiss, 2011). Gemäss copd-swiss.ch sind die durch COPD entstehenden Kosten eine beträchtliche Belastung für unser Gesundheitssystem.

COPD ist eine chronisch-progrediente, irreversible Atemwegserkrankung, welche primär durch übermässigen und langjährigen Nikotinabusus entsteht (Steffers & Credner, 2006). Die Erkrankung hat diverse markante, extrapulmonale Auswirkungen, wobei Dysfunktion und Atrophie der peripheren Muskulatur zu den Wichtigsten dieser systemischen Effekte zählen (Rabinovich & Vilaró, 2010). Neben der beeinträchtigten Lungenfunktion ist also auch die Dekonditionierung der peripheren Muskulatur für die bei Patienten mit fortgeschrittener COPD häufig beobachteten Belastungsintoleranz verantwortlich, welche eine eingeschränkte Mobilität und Funktionalität in den ADL (Activities of Daily Living) und damit einhergehend eine verminderte Lebensqualität zur Folge hat (Belfer & Reardon, 2009).

Physisches Training ist ein wichtiger Bestandteil der pulmonalen Rehabilitation, jedoch sind COPD-Patienten häufig durch extreme Dyspnoe und periphere Muskelermüdung in der Höhe der Trainingsintensität limitiert (Ambrosio & Strambi, 2004) und das Trainingsziel der Leistungssteigerung kann folglich nicht oder nur in geringem Masse erreicht werden (Vivodtzev, Lacasse & Maltais, 2008). Es besteht daher aktuell ein grosses Interesse an neuen und effektiven alternativen Rehabilitationsmodalitäten, welche keine Dyspnoe hervorrufen (Seymour et al., 2010; Sillen, Janssen, Akkermans, Wouters, Spruit, 2008).

Neuromuskuläre Elektrostimulation (NMES) wird in der Physiotherapie angewendet zur Verbesserung von Kraft und Ausdauer der peripheren Muskulatur bei verschiedenen Pathologien (Neder et al., 2002), sowie auch zur Prävention von Muskelatrophie und -schwäche (Vivodtzev et al., 2008). Im Rahmen der pulmonalen

Rehabilitation entstand nun die Idee, NMES als Ergänzung zur aktiven Trainingstherapie bei Patienten mit fortgeschrittener COPD einzusetzen (Ambrosino et al., 2008; Vivodtzev et al., 2008).

1.2 Fragestellung

Bei der intensiveren Auseinandersetzung mit dem Kontext zwischen COPD und Dekonditionierung hat sich aufgrund der in der Einführung beschriebenen Problemstellung gezeigt, welche grosse Relevanz dieser Thematik im Arbeitsfeld der Physiotherapie zukommt. Aus diesen Erkenntnissen und dem bestehenden Bedarf an neuen Trainingsmodalitäten ergab sich die folgende Fragestellung:

Führt NMES bei Patienten mit fortgeschrittener COPD zu einer Steigerung der peripheren Muskelkraft sowie der Ausdauerkapazität und damit zu einer Verbesserung der Lebensqualität?

Ein weiteres Ziel ist es, zu analysieren, ob die Anwendung von NMES bei Patienten mit COPD während akuten Exazerbationen indiziert ist.

1.3 Methodik

Um die genannten Ziele zu erreichen und die Fragestellung zu beantworten, wurde die für das Thema relevante Literatur im Rahmen einer ausführlichen Recherche primär in den folgenden elektronischen Datenbanken gesucht: Medline, PubMed, PEDro und ScienceDirect. Zur Recherche wurden Keywords wie „NMES“, „electrical stimulation“, „COPD“, „exercise intolerance“, „exercise capacity“, „peripheral muscle strength“, „exacerbation“ und „quality of life“ verwendet und zur Eingrenzung der Suchresultate in unterschiedlicher Weise mit der AND-Funktion verknüpft. In den für die Bearbeitung der Fragestellung zutreffenden Artikeln wurden die Referenzlisten durchsucht, womit weitere, mit dem Thema in Verbindung stehende, relevante Literatur auffindbar war. Generell wurde die Recherche auf Literatur in englischer oder deutscher Sprache limitiert und Wert auf grösstmögliche Aktualität gelegt. Für die vorliegende Arbeit wurden in erster Linie qualitativ hochwertige Studien ausgewählt, vorzugsweise randomisierte, kontrollierte Studien (RCTs), welche gemäss Abstract explizit einen oder mehrere Aspekte der Fragestellung als Gegenstand ihrer Untersuchungen deklarierten.

Bezüglich peripherer Muskelkraft wird in dieser Arbeit der Fokus bewusst auf die untere Extremität gelegt, da diese Muskulatur einerseits aufgrund ihrer Relevanz für die Lokomotion in den ADL einen bedeutenden Teil der Autonomie eines Patienten ausmacht. Andererseits ist sie bei Inaktivität oder Bettlägerigkeit rascher von Atrophie betroffen als die Muskulatur der oberen Extremität.

Im Laufe des Bearbeitungsprozesses der dieser Bachelorarbeit zugrunde liegenden Fragestellung, kristallisierte sich das weiter oben formulierte Nebenziel über die Indikation von NMES während akuten Exazerbationen heraus. Dieses wurde bisher nur begrenzt in der Forschungsliteratur behandelt, ist jedoch ein durchaus interessanter Gedanke für die zukünftige Gestaltung der pulmonalen Rehabilitation.

Fünf Studien wurden als Grundlage für die Analyse der Auswirkungen und des Nutzens von NMES bei Patienten mit fortgeschrittener COPD selektiert (Tabelle I). Des Weiteren wurden diverse Reviews aus den zutreffenden Suchresultaten extrahiert, welche Teilaspekte der Thematik behandelten und somit neben ausgewählter Literatur in Buchform für die Erarbeitung des theoretischen Wissens und des aktuellen Forschungsstands sinnvoll eingesetzt werden konnten.

Die selektierte Forschungsliteratur wurde kritisch gelesen und die fünf ausgewählten Hauptstudien zusätzlich anhand der PEDro-Kriterien bezüglich ihrer methodologischen Qualität beurteilt.

Tabelle I: Übersicht über die 5 Hauptstudien

Autoren	Titel / (Jahr)	Design	Untersuchte Aspekte mit Relevanz für die Problemstellung		
			K	A	L
Bourjeily-Habr, G., Rochester, C.L., Palermo, F., Snyder, P., Mohsenin, V.	Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with COPD (2002)	RCT	✓	✓	
Dal Corso, S., Nápolis, L., Malaguti, C., Gimenes, A.C., Albuquerque, A., Nogueira, C.R., De Fuccio, M.B., Pereira, R.D.B., Bulle, A., McFarlane, N., Nery, L.E., Neder, A.	Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients (2007)	RCT	✓	✓	
Neder, J.A., Sword, D., Ward, S.A., Mackay, E., Cochrane, L.M., Clark, C.J.	Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with COPD (2002)	RCT	✓	✓	✓
Vivodtzev, I., Pépin, J.-L., Vottero, G., Mayer, B.P., Lévy, P., Wuyam, B.	Improvement in Quadriceps Strength and Dyspnea in Daily Tasks After 1 Month of Electrical Stimulation in Severely Deconditioned and Malnourished COPD (2006)	RCT	✓	✓	✓
Zanotti, E., Felicetti, G., Maini, M., Fracchia, C.	Peripheral Muscle Strength Training in Bed-Bound Patients With COPD Receiving Mechanical Ventilation: Effect of Electrical Stimulation (2003)	RCT	✓		

A= Ausdauerkapazität; COPD= Chronic Obstructive Pulmonary Disease; K= periphere Muskelkraft (untere Extremität); L= Lebensqualität; RCT= Randomised Controlled Trial.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 COPD – Chronic Obstructive Pulmonary Disease

2.1.1 Definition

Gemäss Angabe der Leitlinien der Deutschen Atemwegsliga (Vogelmeier et al., 2007) und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) (Fischer, Schnabel, Sitter, 2007) lautet die Definition von COPD wie folgt:

„Der Begriff COPD beschreibt eine chronisch-progrediente Lungenkrankheit mit einer Obstruktion, die nach Gabe von Bronchodilatoren und/oder Glukokortikoiden nicht vollständig reversibel ist, und der in wechselndem Ausmass eine chronische Bronchitis, Bronchiolitis oder ein Lungenemphysem zugrunde liegt.“

2.1.2 Ursache und Symptomatik

Als hauptsächliche Ursache für die Entstehung einer COPD gilt erwiesenermassen das Rauchen (van Gestel & Teschler, 2010). Charakteristisch für die Erkrankung ist eine progressive Limitierung des Atemflusses, welche auf eine Zerstörung des Lungenparenchyms und daraus resultierender Obstruktion der Atemwege, unter anderem aufgrund von übermässiger Sekretproduktion und Bronchospasmus, zurückzuführen ist (Roig & Reid, 2009). Die Leitsymptome dieser Lungenerkrankung sind gemäss van Gestel & Teschler (2010) Dyspnoe, eine eingeschränkte kardiopulmonale Ausdauerfähigkeit sowie übermässige Sputumbildung.

Bei Patienten in fortgeschrittenen Stadien der COPD ist diese irreversible Krankheit oft nicht nur auf pulmonale Dysfunktionen beschränkt, sondern es finden sich diverse andere systemische Manifestationen wie Rechtsherzinsuffizienz, Malnutrition, Depression und periphere Muskeldysfunktion (Roig & Reid, 2009; van Gestel & Teschler, 2010). Die periphere Muskeldysfunktion ist funktionell durch einen Verlust in Muskelkraft und -ausdauer charakterisiert, was strukturell primär durch eine Muskelatrophie gekennzeichnet ist (Kim, Mofarrahi & Hussain, 2008). Obwohl Immobilisation und Inaktivität wichtige, zur Pathogenese der skelettalen

Muskeldysfunktion beitragende, Faktoren darstellen, sind noch verschiedene andere Ursachen involviert, darunter systemische Entzündung, Malnutrition, Einnahme von Kortikosteroiden (steroidinduzierte Muskelatrophie), Hypoxämie, Alterung und Rauchen (Kim et al., 2008). Die Dysfunktion der skelettalen Muskeln, insbesondere der für die Lokomotion zuständigen Muskulatur, trägt entscheidend zur Belastungsintoleranz bei Patienten mit COPD bei (Casaburi, 1993). Weitere Ursachen sind anormale respiratorische Mechanismen (Belfer & Reardon, 2009), der Zustand der Atemmuskulatur (Montes de Oca, Rassulo & Celli, 1996), ein tiefer BMI (Body Mass Index), der Schweregrad der Atemobstruktion und kardiovaskuläre und hämodynamische Faktoren (van Gestel & Teschler, 2010).

Die Belastungsintoleranz steht in direktem Zusammenhang mit allgemeiner physischer Beeinträchtigung und Schwächung sowie mit Arbeitsunfähigkeit und ist ein starker Prädiktor für mindere Lebensqualität und erhöhte Mortalität (Belfer & Reardon, 2009). Sie trägt so zu einer progressiven Limitierung in den ADL bei (Belfer & Reardon, 2009) und resultiert zudem in einer grossen Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen (Decramer, Gosselink, Troosters, Verschueren, Evers, 1997).

2.1.3 Akute Exazerbation

Die COPD ist keine konstant verlaufende Krankheit, sondern ist von teils grossen Schwankungen mit sogenannten Exazerbationen (akute Verschlechterungen/Schwächungen) geprägt, welche einen entscheidenden Einfluss auf das Fortschreiten der Erkrankung und damit auch auf Morbidität und Mortalität haben (van Gestel & Teschler, 2010). Die Exazerbation wird definiert als eine fortwährende Verschlechterung des Zustands eines Patienten vom stabilen Status aus und in einem Ausmass jenseits der täglichen Schwankungen, was bei einem Patienten mit der Grunderkrankung COPD eine Änderung der regulären medizinischen Behandlung erfordert (Rodriguez-Roisin, 2000).

Charakteristisch für akute Exazerbationen sind eine verstärkte Dyspnoe, eine reduzierte Lebensqualität und eine erhöhte periphere Muskelschwäche, wobei wiederkehrendes Auftreten und Krankenhauseinweisungen häufig sind

(Seymour et al., 2010). Daraus folgend stellt die akute Exazerbation als weitere Konsequenz eine erhebliche ökonomische Belastung für das Gesundheitssystem dar, wobei die grössten direkten Behandlungskosten auf die Hospitalisationsrate zurückzuführen sind (Anzueto, Sethi & Martinez, 2007).

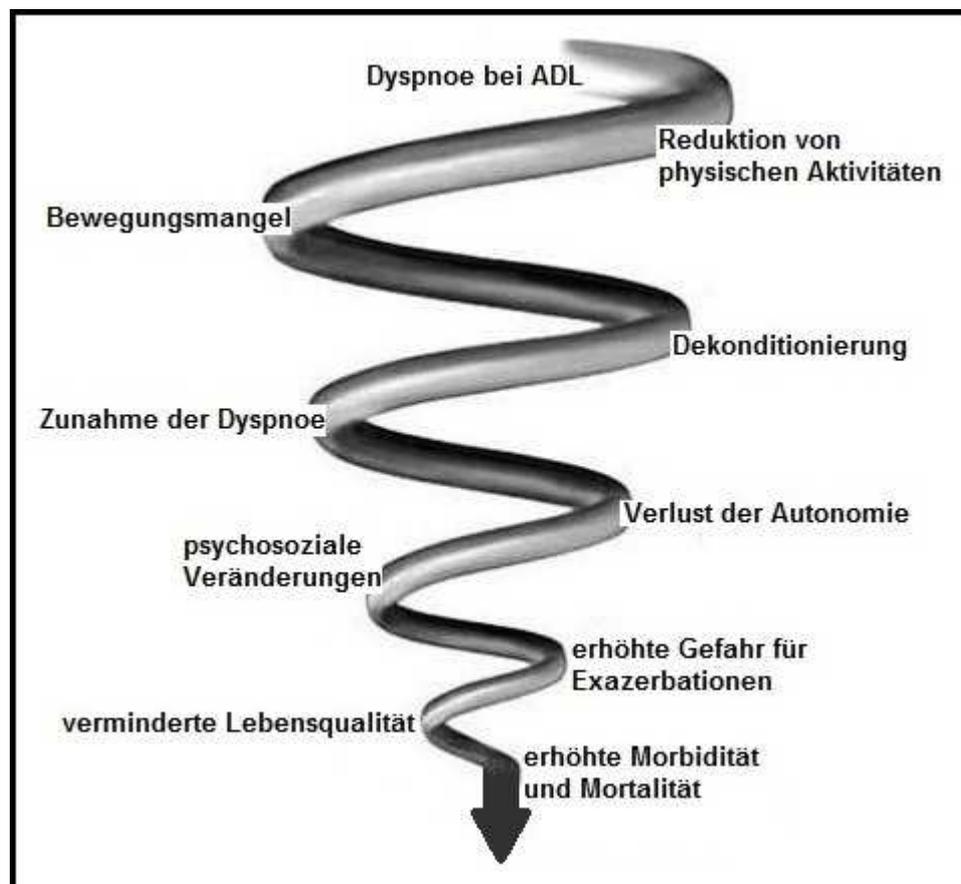
Laut van Gestel & Teschler (2010) treten akute Exazerbationen vorwiegend in fortgeschrittenen Stadien der Krankheit auf und eine optimale Erholung dauert meist mehrere Wochen. Dies unter der Voraussetzung, dass weniger als vier Exazerbationen im Jahr vorkommen, da sonst wahrscheinlich keine vollständige Erholung mehr erfolgen kann (van Gestel & Teschler, 2010).

2.1.4 *Dyspnoespirale*

Im Verlauf der Erkrankung spielen Dyspnoe und Belastungsintoleranz eine zunehmende Rolle (Ambrosio & Strambi, 2004). Progrediente Dekonditionierung ist die Folge eines als Dyspnoe- oder Inaktivitätsspirale bezeichneten Teufelskreises bei fortgeschrittener COPD (Ambrosio & Strambi, 2004; Belfer & Reardon, 2009; Couillard & Prefaut, 2010). Dyspnoe, als eines der Leitsymptome bei COPD, tritt oft schon bei Tätigkeiten des alltäglichen Lebens (ADL) auf und im späteren Verlauf der Erkrankung sogar auch in Ruhe. Dadurch vermeiden die Betroffenen körperliche Aktivitäten, werden zunehmend inaktiver, was unweigerlich zu einer allmählichen Schwächung und Dekonditionierung der peripheren Muskulatur führt und wodurch folglich die physische Leistungsfähigkeit weiter herabgesetzt wird. Erhöhte Dyspnoe, Verlust der Autonomie, soziale Isolation, Depression, erhöhte Gefahr für akute Exazerbationen, Verminderung der Lebensqualität und eine erhöhte Morbidität und Mortalität sind zusätzliche Folgen und ziehen die Spirale weiter abwärts (Abbildung I).

Um die Autonomie und die Lebenserwartung der Patienten zu verbessern ist daher von grosser Wichtigkeit, dass früh auf die Anzeichen der Dyspnoespirale reagiert und versucht wird, diesen Teufelskreis zu durchbrechen, indem der Verschlimmerung der Atrophie und muskulären Dysfunktion durch entsprechende Massnahmen entgegengewirkt wird (Couillard & Prefaut, 2010).

Abbildung I: Dyspnoespirale (modifiziert nach Couillard & Prefaut, 2010)

(Bild entnommen von: www.integralworld.net/mcintosh2.html, 19.04.2011)

2.1.5 Pulmonale Rehabilitation

Die pulmonale Rehabilitation ist eine evidenz-basierte, umfassende und multidisziplinäre Intervention, welche integriert in die individualisierte Behandlung des Patienten dafür konzipiert ist, Symptome zu reduzieren und das funktionelle Leistungsvermögen sowie die Lebensqualität bei Patienten mit COPD oder anderen chronischen Atemwegserkrankungen, ungeachtet des Krankheitsschweregrades, zu verbessern (American College of Chest Physicians, 1997; American Thoracic Society, 1999; Nici et al., 2006; Troosters, Gosselink, Langer & Decramer, 2007). Das Ziel ist, die physische Aktivität und Partizipation zu verbessern und Vorfällen vorzubeugen, welche zu einer verminderten Funktionsfähigkeit in den ADL führen, wie beispielsweise Exazerbationen der Krankheit (Troosters et al., 2007). Durch die pulmonale Rehabilitation können Gesundheitskosten gesenkt werden,

indem systemische Manifestationen der Krankheit stabilisiert oder rückgängig gemacht werden (Nici et al., 2006).

Es hat sich gezeigt, dass körperliches Training als eine charakteristische Komponente der pulmonalen Rehabilitation zu einer verbesserten Belastungstoleranz führt (Lacasse et al., 1996) und Krafttraining im Speziellen einer Minderung der Muskelfunktion des M. quadriceps femoris während akuten Exazerbationen vorbeugt (Troosters et al., 2010). Der Nachteil des körperlichen Trainings ist jedoch die erhöhte Belastung des kardiopulmonalen Systems (=kardiopulmonaler Stress), was dazu führt, dass bei Patienten während einer akuten Exazerbation, oder allgemein im Spätstadium der Erkrankung, das Training schwer realisierbar ist. Bei bis zu einem Drittel der COPD-Patienten, welche physisches Training durchführen, bleibt der erwartete Trainingseffekt aus (Troosters, Gosselink & Decramer, 2001). Diese Patienten sind so geschwächt oder dyspnoisch, dass sie nicht fähig sind, eine adäquate Trainingsintensität zu tolerieren, um überhaupt von der Trainingsintervention zu profitieren (Troosters et al., 2001). Diese Tatsache macht deutlich, dass ein Bedarf an passiven oder assistiv-aktiven Trainingsmodalitäten besteht, alternativ zur aktiven Trainingstherapie, bei welchen ein geringerer kardiopulmonaler Stress besteht und die daher für schwer betroffene COPD-Patienten effektiver und mit Profit durchführbar sind (Seymour et al., 2010; Sillen et al., 2008).

2.2 NMES – Neuromuscular Electrical Stimulation

2.2.1 Definition

NMES umfasst die Applikation einer Serie von intermittierenden elektrischen Reizen an oberflächlichen Skelettmuskeln mit dem Hauptziel, sichtbare unwillkürliche Muskelkontraktionen durch die spezifische Aktivierung von intramuskulären Nervenästen auszulösen (Hultman, Sjöholm, Jäderholm-Ek, Krynicki, 1983). Die entsprechenden elektrischen Impulse werden appliziert, indem eine oder mehrere aktive Elektroden in der Nähe des Muskelreizpunktes positioniert und adäquat hohe Intensitäten verwendet werden, so dass eine sichtbare Muskelkontraktion evoziert werden kann

(Maffiuletti, 2010; Kitchen, 2002). Innerhalb einer NMES-Session wird zwischen aktiver (Kontraktions-) Phase und Ruhephase alterniert. NMES kann generell während oder ohne simultane funktionelle Bewegung am Zielmuskel angewendet werden. Ein intakter motorischer Nerv ist jedoch die grundlegende Voraussetzung, um mit NMES Muskelkontraktionen zu evozieren (Maffiuletti, 2010).

2.2.2 Anwendungsgebiet und Indikationen

NMES wird zum einen als valides Forschungsinstrument für in vivo Beurteilungen der neuromuskulären Funktion von gesunder und beeinträchtigter Muskulatur verwendet (Horstman et al., 2008; Martin, Millet, Martin, Deley, Lattier, 2004; Wust, Morse, de Haan, Jones, Degens, 2008). Von viel grösserer Bedeutung ist jedoch die Anwendung von NMES als Rehabilitations- oder Trainingsmethode im Rahmen von Forschung und Klinik (Maffiuletti, 2010). Abhängig vom Status des stimulierten Muskels kann NMES einerseits eingesetzt werden für die Erhaltung von Muskelmasse und -funktion während längeren Perioden der Inaktivität oder für deren Wiederaufbau nach ausgedehnten Immobilisationsphasen (Gibson, Smith, Rennie, 1988; Snyder-Mackler, Delitto, Bailey, Stralka, 1995). Andererseits jedoch wird NMES auch für die Verbesserung der Muskelfunktion in unterschiedlichen gesunden Populationen verwendet, wie beispielsweise bei betagten Menschen (Caggiano, Emrey, Shirley, Craik, 1994), Freizeit- oder Spitzensportlern sowie auch als präoperative Kräftigungsmodalität (Maffiuletti, 2010).

In der Klinik werden NMES-Trainingsprogramme in den folgenden Gebieten eingesetzt: kardiovaskuläre Medizin (u.a. bei COPD), orthopädische Medizin, neurologische Medizin, Allgemeinmedizin, geriatrische Medizin, Weltraummedizin und Sportmedizin (Maffiuletti, 2010). Überraschend bei diesem extensiven Einsatz von NMES ist die Tatsache, dass sich die Anwendung aber jeweils vorwiegend auf den M. quadriceps femoris beschränkt (Bax, Staes, Verhagen, 2005; Hortobagyi, Lambert, Tracy, Shinebarger, 1992).

Beim Einsatz von NMES im physiotherapeutischen Management von COPD-Patienten besteht das Ziel darin, eine Verbesserung der peripheren

Muskelkraft zu erreichen und damit die physische Belastbarkeit und Funktionsfähigkeit der Patienten in den ADL zu erhöhen oder wiederherzustellen.

2.2.3 Wirkungsweise und Methodik

Die Anwendung von NMES als Trainingsmodalität bewirkt im Allgemeinen Erhalt und Wiederaufbau von Muskelmasse und -funktion bei Patienten und verbessert die Muskelkraft bei gesunden Personen (Maffiuletti, 2010). Jedoch nur bei partiell oder total immobilisierten Personen, welche beispielsweise aufgrund von Kurzatmigkeit oder kritischem Krankheitszustand nicht fähig sind, aktives Training durchzuführen oder eine adäquate Trainingsintensität oder -dauer aufrechtzuerhalten, vermag NMES bessere Resultate zu erbringen als willkürliches Training (Vivodtzev et al., 2008).

Der durch NMES resultierende Kraftzuwachs ist primär auf neurale Adaptation zurückzuführen, welche relativ schnell in Form von Veränderungen des Musters und des Ausmasses an neuraler Aktivierung stattfindet. Veränderungen in der strukturellen Zusammensetzung der Muskelfasern werden nur bei extensiven Anwendungsperioden von elektrischer Stimulation verzeichnet (Robertson, Ward, Low, Reed, 2006).

Bezüglich optimaler Stimulierungsparameter existieren gemäss Maffiuletti (2010) aktuell noch keine klaren Daten und es liegt in dieser Beziehung eine beachtliche Heterogenität zwischen den verschiedenen, zu dieser Thematik bisher durchgeführten Studien vor. Über einige wichtige Charakteristiken der Anwendung besteht jedoch ein Konsens (Vanderthommen & Duchateau, 2007). Der Schlüsselfaktor für eine optimale Effektivität von NMES scheint die evozierte Muskelspannung zu sein, genauer definiert als das Niveau der im Verhältnis zur maximalen willkürlichen Muskelkraft produzierten Kraft (Lieber & Kelly, 1991). Diese sollte durch eine Manipulation der elektrischen Hauptparameter Frequenz und Intensität in Anbetracht der individuellen Toleranzgrenze maximiert werden. Die empfohlene Pulsdauer und -breite variiert gemäss der Grösse des stimulierten Muskels (Vivodtzev et al., 2008). Um von Beginn an mit einer optimalen und effektiven Trainingsintensität arbeiten zu können ist es ratsam, die zu behandelnde Person vorweg mit

NMES vertraut zu machen mit dem Ziel, schon im Vorfeld eine gewisse Toleranz herzustellen (Maffiuletti, 2010). Gemäss Parker, Bennet, Hieb, Hollar & Roe (2003) wird ein Minimum von 12 Trainingssessionen empfohlen, um eine Verbesserung der Muskelkraft zu induzieren.

Maffiuletti et al. (2009) empfiehlt zudem generell, bezüglich der hauptsächlichsten NMES-Trainingsparameter wie Stromintensität, evozierter Kraft und Trainingsvolumen, eine lineare Progression gemäss den grundsätzlichen Prinzipien des Krafttrainings zu verfolgen.

3 Ergebnisse aus der Forschungsliteratur

3.1 Anwendung und Wirkung von NMES bei COPD-Patienten

Die grobe Vorgehensweise und relevanten Ergebnisse aus den dieser Arbeit zugrunde liegenden fünf Hauptstudien werden im Folgenden nach Behandlungsziel geordnet beschrieben und im Anschluss in der Tabelle II zusammengefasst dargestellt. Im Anhang vermittelt Tabelle III einen Eindruck der funktionellen Zustände der Patienten in der Ausgangslage und Tabelle IV verschafft einen Überblick über die verwendeten Assessmentmethoden.

3.1.1 Periphere Muskelkraft

Zur Beurteilung des Effekts von Elektrostimulation auf die periphere Muskelkraft wurde in jeder der fünf betrachteten Studien primär die Kraft des M. quadriceps femoris prä- und postinterventionell gemessen. Im Rahmen aller dieser Studien wurden nach der Durchführung eines NMES-Trainingsprogramms Verbesserungen der peripheren Muskelkraft festgestellt, wobei die Kraftzunahme bei vier Studien statistisch signifikant war.

Im RCT von Neder et al. (2002) absolvierten alle 15 Patienten ein sechswöchiges NMES-Training im Heimprogramm, wobei die Patienten der Kontrollgruppe das Training erst nach Ablauf einer Kontrollperiode durchführten. Im Gruppenvergleich wurden in der Experimentalgruppe nach sechs Wochen signifikante Verbesserungen in der maximalen isokinetischen Muskelkraft (+42.5%) und in der Muskelermüdung (-34.1%) festgestellt. In der isometrischen Durchschnittskraft waren Trends in Richtung Verbesserung ersichtlich, die entsprechenden Werte erreichten jedoch keine statistische Signifikanz.

Auch im RCT von Bourjeily-Habr et al. (2002), in welchem 9 der 18 Patienten ebenfalls eine sechs Wochen dauernde ambulante Behandlung mit transkutaner elektrischer Stimulation erhielten, konnte eine signifikante Verbesserung der peripheren Muskelkraft erreicht werden. Im Unterschied zur Studie von Neder et al. (2002) wurde neben dem M. quadriceps femoris

zusätzlich auch die maximale isokinetische Kraft der Knieflexoren (Mm. ischiocrurales & M. triceps surae) beurteilt und in die Intervention integriert. Bei der Kontrollgruppe wurde hier ausserdem eine Schein-Stimulation (Anlegen der Elektroden ohne aktive elektrische Stimulation) durchgeführt.

Die maximale Muskelkraft des M. quadriceps femoris steigerte sich in der Experimentalgruppe signifikant um 39.0%, diejenige der Knieflexoren um signifikante 33.9%.

Vivodtzev et al. (2006) wendeten im Rahmen ihres RCT's mit 17 hospitalisierten Patienten zusätzlich zur Elektrostimulationsbehandlung des M. quadriceps femoris ein konventionelles Rehabilitationsprogramm mit aktiver Mobilisation der Extremitäten an. Die Kontrollgruppe absolvierte lediglich das konventionelle Rehabilitationsprogramm. Neben Tests der Muskelkraft des M. quadriceps femoris wurden hier bei 11 Patienten (6 aus der Experimentalgruppe) zusätzlich auch die Muskelkomposition und die totale Muskelmasse dieses Muskels bestimmt.

Die Behandlungsdauer betrug in dieser Studie vier Wochen und auch hier zeigte sich in der Evaluation der Ergebnisse eine signifikante Steigerung der maximalen willkürlichen Muskelkraft. Dies war in beiden Gruppen der Fall, jedoch wurde in der Experimentalgruppe mit dem kombinierten Behandlungsprogramm eine doppelt so grosse Steigerung verzeichnet, nämlich um 35% ($p=0.01$). Auch die Muskelmasse vergrösserte sich bei jener Gruppe signifikant um durchschnittlich 6% ($p=0.035$). Diese Veränderungen in Muskelkraft und Muskelmasse zeigten zudem eine deutliche Korrelation ($p=0.03$).

Zanotti et al. (2003) arbeiteten in ihrem RCT gleichermassen während vier Wochen mit einer Kombination von Elektrostimulation der unteren Extremität und aktiver Mobilisation der oberen und unteren Extremität in der Experimentalgruppe. In der Kontrollgruppe wurde ebenfalls nur aktive Mobilisation der Extremitäten betrieben. Die 24 Patienten befanden sich jedoch im schwersten Stadium der Krankheit; sie waren bettlägerig und auf mechanische Beatmung angewiesen.

Einerseits war das Ziel herauszufinden, ob Elektrostimulation effektiv die massiv atrophierte periphere Muskulatur kräftigen konnte. Andererseits wurde daraus folgend ermittelt, ob die Anzahl Tage verringert werden konnte, welche die Patienten zur Erlangung der Fähigkeit benötigten, den Transfer vom Bett zum Stuhl ohne Hilfe zu bewältigen.

Die Kraft des M. quadriceps femoris verbesserte sich auch in dieser Studie in beiden Gruppen signifikant. Wie in der Studie von Vivodtzev et al. (2006) war jedoch die Zunahme in der Experimentalgruppe mit der kombinierten Behandlung mit einem Wert von 2.16 Punkten auf der Muskelfunktionsskala (M0-M5) ebenfalls deutlich grösser im Gegensatz zur Verbesserung um 1.25 Punkte in der Kontrollgruppe ($p=0.02$). Zwischen den beiden Gruppen bestand zudem zugunsten der Experimentalgruppe ein signifikanter Unterschied in der Anzahl Tage, welche zur Erreichung des Ziels, selbständig vom Bett zum Stuhl zu transferieren, benötigt wurde ($p=0.001$).

Im Allgemeinen hatten die Patienten zu Beginn der Studie eine periphere muskuläre Beeinträchtigung von 50-99%, wobei zum Teil maximal nur hubfreie Bewegungen der unteren Extremität möglich waren. Dieser Grad der Einschränkung war am Ende der Behandlungsphase auf 25-50% gesunken und es konnten wieder Bewegungen gegen die Schwerkraft produziert werden.

Im Unterschied zu den vier oben beschriebenen Studien konzentrierten sich Dal Corso et al. (2007) in ihren Untersuchungen neben den funktionellen Effekten von NMES vorwiegend auf die strukturellen Konsequenzen. Es wurde dazu ein RCT mit Crossover-Design mit 17 ambulanten Patienten durchgeführt, welche an einer moderaten bis schweren COPD litten. Im Gegensatz zu den Patienten in den anderen vier Studien verfügten diese jedoch gemäss den Ergebnissen der präinterventionellen Assessments über eine noch gut erhaltene funktionelle Belastungskapazität und Muskelkraft. Während auch schon Vivodtzev et al. (2006) eine Aussage über die Muskelkomposition machten, bestimmten Dal Corso et al. (2007) anhand einer Muskelbiopsie des rechten M. vastus lateralis neben der reinen Muskelmasse das Verhältnis von Typ I zu Typ II Fasern, den Faserquerschnitt sowie die

Menge an Blutkapillaren um die Muskelfasern (auf die entsprechenden Resultate wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch nicht eingegangen). Die eine Patientengruppe absolvierte zuerst ein sechswöchiges NMES Training im Heimprogramm, während bei der anderen Gruppe die Stimulationsparameter in dieser Zeit so niedrig gesetzt wurden, dass nachweislich kein Effekt stattfinden konnte (Schein-Stimulation). Auch in dieser Studie gab es einen Zuwachs an Muskelkraft (+10%), jedoch konnte hier keine statistische Signifikanz erreicht werden. Gleichermassen war auch der Effekt auf die Muskelmasse nicht signifikant.

3.1.2 Ausdauerkapazität

In 4(5) Studien wurde eine Aussage gemacht über die Ausdauer- oder Belastungskapazität der Patienten vor und nach der Anwendungsperiode mit Elektrostimulation. In drei Studien konnte ein statistisch signifikanter Wert für die Ausdauerkapazität verzeichnet werden.

Bei der Beurteilung der Trainingskapazität wurde in der Studie von Neder et al. (2002) neben der Bestimmung von kardiopulmonalen Faktoren das Mass der Dyspnoe und des Anstrengungsempfindens in der unteren Extremität anhand der Borg-Skala bewertet. In beiden Gruppen stellte die Dyspnoe im kardiopulmonalen Ausdauerstest den hauptsächlich limitierenden Faktor dar und das Anstrengungsempfinden in der unteren Extremität galt als wichtiger beitragender Faktor.

Am Ende des sechswöchigen NMES-Heimtrainingsprogramms konnte eine erhöhte Toleranz im Stufenbelastungstest verzeichnet werden. Die weitaus auffälligsten Effekte wurden in der Experimentalgruppe jedoch mit einer Verbesserung um 84.5% in der Ausdauerkapazität gemessen, was mit einem p-Wert von weniger als 0.01 eine klare Signifikanz belegte.

Bei den Patienten in der Studie von Bourjeily-Habr et al. (2002) waren die limitierenden Faktoren, die zum Abbruch der Tests führten, ebenfalls Dyspnoe oder ein zu grosses Anstrengungsempfinden in der unteren Extremität (gemessen mit der Borg-Skala). Nach Absolvieren des sechswöchigen

Elektrostimulationsprogramms verbesserte sich die Ausdauerkapazität deutlich, was in der Experimentalgruppe mit einer signifikanten durchschnittlichen Steigerung um 36.1% in der Shuttle-Walk-Distanz dokumentiert wurde ($p=0.007$). Mit einem p -Wert von 0.01 resultierte auch die Reduktion im Anstrengungsempfinden auf der Borg-Skala in einem signifikanten Wert in der Experimentalgruppe. Ausserdem zeigte sich hier eine Tendenz zur Verbesserung des Sauerstoffverbrauchs. In ähnlicher Weise verbesserte sich auch die im Wiederbefund erreichte Spitzenbelastung (gemessen in Watt).

Auch bei den generell schwerer betroffenen Patienten in der Studie von Vivodtzev et al. (2006) konnte die zu Beginn deutlich reduzierte Ausdauerkapazität nach vier Wochen signifikant verbessert werden unter Anwendung des aus aktivem Training und Elektrostimulation bestehenden Rehabilitationsprogramms. Anhand des 6MWD (6-Minute Walking Distance) wurde eine Steigerung um 11% in Form einer statistisch signifikanten und klinisch relevanten Verlängerung der Gehdistanz in der Experimentalgruppe gemessen ($p=0.01$). Im Vergleich dazu zeigte die Kontrollgruppe, welche nur das konventionelle Rehabilitationsprogramm ohne additive Elektrostimulation absolvierte, eine geringere und nicht signifikante Verbesserung der Gehdistanz.

Nach dem sechswöchigen Elektrostimulations-Heimprogramm konnte in der Studie von Dal Corso et al. (2007) bezüglich Ausdauerkapazität lediglich eine geringfügige Steigerung von 2.7% verzeichnet werden, was für die Auswirkung von NMES auf die 6-Minuten-Gehdistanz keinen signifikanten Effekt bedeutete.

3.1.3 Lebensqualität

Nur 2(5) Studien integrierten in ihrer Untersuchung und Beurteilung der Effekte von NMES-Training bei COPD-Patienten auch ein Instrument zur Bestimmung und Quantifizierung der Lebensqualität. Es wurden dazu zwei verschiedene krankheitsspezifische Fragebogen verwendet.

Neder et al. (2002) setzten sich in ihrer Studie explizit zum Ziel, unter anderem eine Aussage darüber machen zu können, inwiefern potentielle Verbesserungen der peripheren Muskelfunktion durch NMES einen Einfluss auf die Lebensqualität von Patienten mit fortgeschrittener COPD haben. Um einen objektiven Index über die aktuelle Lebensqualität zu erhalten, füllte jeder der 15 Patienten dazu den CRDQ aus.

Im Rahmen der Studie konnten, assoziiert mit dem NMES-Training, signifikante positive Veränderungen im subjektiven Empfinden von Dyspnoe festgestellt werden. Die durchschnittliche Differenz der entsprechenden Resultate der Experimentalgruppe nach sechs Wochen im Vergleich zu denen der Kontrollgruppe betrug 1.2. In den restlichen drei Domänen des CRDQ ergaben sich insgesamt keine Zwischengruppenunterschiede.

In der Studie von Vivodtzev et al. (2006) wird auf eine Relation zwischen einem niedrigen Körpergewicht und einer Verschlechterung der Dyspnoe und der Lebensqualität hingewiesen. Es wurde daher bei den 17 Patienten mit niedrigem BMI neben den Effekten auf Muskelfunktion und Trainingstoleranz auch die Lebensqualität untersucht, welche anhand des MRF-28 objektiviert wurde.

In der Ausgangslage bestanden keine Zwischengruppenunterschiede. Jedoch ergab sich in der Experimentalgruppe (konventionelle Rehabilitation in Kombination mit Elektrostimulation) nach dem vierwöchigen Training eine signifikante Reduktion des Werts in der Domäne „Dyspnoe bei täglichen Aktivitäten“ verglichen mit der Kontrollgruppe ($p=0.05$).

Tabelle II: Übersicht über die wichtigsten Fakten und Ergebnisse der Hauptstudien

Titel der Studie / (Jahr)	Autoren	Probanden	Design	Intervention	Main outcomes	Signifikant ja/nein
Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with COPD (2002)	Neder et al.	15 Pat. mit fortgeschrittener COPD (6 F)	RCT	EG (n=9): NMES des QC im Heimprogramm (6 Wo) KG: Kontroll-Periode (6 Wo)	- Maximale isokinetische Muskelkraft QC ↑ (+42.5% vs. +9.5%) - QC-Muskelausdauer ↑ (+34.1% vs. +1.7%) - Ausdauerkapazität ↑ (+84.5% vs. +16.3%) - Dyspnoe (CRDQ) ↓	ja ja ja ja
Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with COPD (2002)	Bourjeily-Habr et al.	18 Pat. mit fortgeschrittener COPD und geringer Belastungstoleranz (8 F)	RCT	EG (n=9): NMES des QC, der IC und des M. triceps surae (6 Wo) KG: Schein-Stimulation (6 Wo)	- QC-Muskelkraft ↑ (+39.0% vs. +9%) - IC-Muskelkraft ↑ (+33.9% vs. +2.9%) - Ausdauerkapazität ↑ (+36.1% vs. +1.6%)	ja ja ja
Peripheral Muscle Strength Training in Bed-Bound Patients With COPD Receiving Mechanical Ventilation: Effect of Electrical Stimulation (2003)	Zanotti et al.	24 bettlägerige Pat. mit mechanischer Beatmung (7 F)	RCT	EG (n=12): NMES kombiniert mit aktiver Mobilisation (4 Wo) KG: Aktive Mobilisation (4 Wo)	- QC-Muskelkraft ↑ (+2.16 vs. +1.25)	ja

Fortsetzung Tabelle II: Übersicht über die wichtigsten Fakten und Ergebnisse der Hauptstudien

Titel der Studie / (Jahr)	Autoren	Probanden	Design	Intervention	Main outcomes	Signifikant ja/nein
Improvement in Quadriceps Strength and Dyspnea in Daily Tasks After 1 Month of Electrical Stimulation in Severely Deconditioned and Malnourished COPD (2006)	Vivodtzev et al.	17 hospitalisierte Pat. mit schwerer COPD und niedrigem BMI (6 F)	RCT	EG (n=9): NMES des QC kombiniert mit konventionellem Rehabilitationsprogramm (4 Wo) KG: Konventionelles Rehabilitationsprogramm (4 Wo)	- QC-Muskelkraft ↑ (+35% vs. +14%) - Ausdauerkapazität ↑ (+11% vs. +6%) - Dyspnoe in ADL (MRF-28) ↓ (-1.7 vs. -0.2)	ja ja/nein* ja
Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients (2007)	Dal Corso et al.	17 ambulante Pat. mit moderater bis schwerer COPD und gut erhaltenen funktionellen Kapazitäten (1 F)	RCT	EG (n=9): NMES des QC im Heimprogramm (6 Wo) KG: Schein-Stimulation (6 Wo)	- QC-Muskelkraft ↑ (+10% vs. +1.2%) - Ausdauerkapazität – (+2.7% vs. +0.6%)	nein nein

ADL= Activities of Daily Living; COPD= Chronic Obstructive Pulmonary Disease; CRDQ= Chronic Respiratory Disease Questionnaire; EG= Experimentalgruppe; F= Females / Frauen; IC= Mm. ischiocrurales; KG= Kontrollgruppe; MRF-28= 28-item Mageri Foundation Respiratory questionnaire; n= Anzahl; NMES= Neuromuscular Electrical Stimulation; Pat.= Patienten; QC= M. quadriceps femoris; RCT= Randomised Controlled Study; Wo= Wochen; *= Intragruppendifferenz signifikant, Intergruppendifferenz nicht signifikant.

4 Diskussion

Detailliertes Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war, herauszufinden, ob NMES bei Patienten mit fortgeschrittener COPD zu einer Verbesserung der peripheren Muskelkraft, der Ausdauerkapazität sowie der Lebensqualität führen kann, und ob die Indikation für diese Form der Trainingsintervention auch während einer akuten Exazerbation gegeben ist.

Gemäss den Erkenntnissen aus der aktuellen Forschungsliteratur hat NMES eine statistisch signifikante Wirkung auf die periphere Muskelkraft, welche jedoch nicht direkt auf positive Veränderungen in der Ausdauerkapazität und der Lebensqualität übertragen werden kann. In Präsenz einer akuten Exazerbation hat NMES das Potential, eine effiziente ergänzende Massnahme zu sein.

Im Folgenden werden nun die aus der Forschung aktuell bekannten, im Hauptteil näher beschriebenen, Ergebnisse sowie der potentielle Einsatz von NMES bei COPD-Patienten diskutiert, und eine Aussage über die Prognose für diese Behandlungsmethode in der pulmonalen Rehabilitation erstellt.

4.1 Effekt von NMES auf die periphere Muskelkraft

Die periphere Muskelkraft war Gegenstand der Untersuchung in allen fünf ausgewählten Studien und wurde anhand von isometrischen und isokinetischen Krafttests sowie dem Muskelfunktionstest (M0-M5) evaluiert.

Nach Ablauf der 4–6 Wochen dauernden NMES-Anwendungsperioden konnten beim Wiederbefund der peripheren Muskelkraftwerte in vier dieser Studien eine signifikante Verbesserung der peripheren Muskelkraft verzeichnet werden.

Bei Neder et al. (2002) war NMES die einzige Intervention und Bourjeily-Habr et al. (2002) erwähnen explizit, dass keiner ihrer Patienten während der Studienphase in ein konventionelles pulmonales Rehabilitationsprogramm integriert war. Somit sind die erhaltenen Werte praktisch rein durch den Trainingseffekt von NMES zu erklären. Zanotti et al. (2003) und Vivodtzev et al. (2006) verwendeten NMES in Kombination mit aktiver Mobilisation beziehungsweise einem konventionellen Rehabilitationsprogramm. Folglich setzen sich die Werte der verbesserten Muskelkraft in der Experimentalgruppe jeweils aus den Teileffekten der

Komponenten NMES und pulmonaler Rehabilitation zusammen. Interessant ist hier jedoch, dass sowohl in der Studie von Zanotti et al. (2003) als auch in der von Vivodtzev et al. (2006) neben den Intragruppendifferenzen auch die Intergruppendifferenzen statistisch signifikant waren. Dies ist ein besonders starkes Indiz für die positive Wirkung von NMES bezüglich Verbesserung der peripheren Muskelkraft.

Über die Art der Kraftzunahme ist generell noch zu wenig bekannt und in den für diese Arbeit verwendeten Studien ungenügend betrachtet worden. Vivodtzev et al. (2006) registrierten in ihrem RCT zwar eine signifikante Korrelation zwischen der Zunahme der Muskelkraft und -masse, stellten jedoch die Hypothese auf, dass ein Teil der beobachteten Kraftzunahme auch auf Adaptationen der zentralneuralen Aktivierungsebenen zurückgeführt werden könnte. In Verbindung willkürlicher Kontraktion des Muskels und elektrischer Stimulation könnte sich die Fähigkeit, motorische Einheiten zu rekrutieren, gesteigert haben. Auch angesichts der eher kurzen Dauer der Interventionen (4-6 Wochen) sind die Verbesserungen der Kraftwerte mit grösserer Wahrscheinlichkeit einer neuralen Adaptation zuzuschreiben. Die Effektivität von Elektrostimulation zum Aufbau von Muskelmasse ist generell noch unklar (Roig & Reid, 2009). Grundsätzlich ist jedoch festzuhalten, dass rein die Verbesserung der Muskelfunktion bei Patienten mit fortgeschrittener COPD klar im Vordergrund steht und daher das Wissen um periphere oder zentrale Verbesserungsmechanismen eher sekundär ist.

Einzig in der Studie von Dal Corso et al. (2007) konnte mit einem nur geringfügigen Verbesserungswert keine signifikante positive Veränderung der peripheren Muskelkraft gemessen werden. Diese Patienten verfügten jedoch in der Ausgangslage über eine noch gut erhaltene Muskelkraft, weshalb anzunehmen ist, dass sie im Vergleich zu den vier anderen Studienpopulationen eine verhältnismässig grössere allgemeine physische Aktivität aufwiesen. Dieses Resultat könnte auch ein Hinweis dafür sein, dass NMES vorzugsweise und mit grösserer Effektivität bei schwerer beeinträchtigten Patienten anzuwenden ist. Da Muskelschwäche in Relation zur Mortalität steht (Marquis et al., 2002; Swallow et al., 2007) ist die Verbesserung der Muskelkraft grundsätzlich vor allem bei den sehr schwer betroffenen COPD-Patienten von ungemeiner Wichtigkeit.

Anhand der signifikanten Resultate in vier RCTs kann bestätigt werden, dass NMES bei COPD-Patienten eine Verbesserung der peripheren Muskelkraft bewirkt.

Wie nun jedoch die klinische Relevanz der oben genannten Ergebnisse einzustufen ist, bleibt vorerst noch fraglich, da bisher nicht bekannt ist, was genau eine klinisch relevante Steigerung der Muskelkraft bei COPD-Patienten repräsentiert (Roig & Reid, 2009). Führt eine Verbesserung der peripheren Muskelkraft jedoch zu einer Steigerung der funktionellen Leistungsfähigkeit, würde dies die klinische Relevanz bestätigen.

4.2 Effekt von NMES auf die Ausdauerkapazität

Ob NMES-Training nicht nur einen lokalen muskulären Effekt, sondern auch globaler auf die kardiopulmonale Ausdauerkapazität von COPD-Patienten eine relevante positive Auswirkung haben kann, wurde in 4(5) Studien anhand von Fahrradergometertests, dem SWT (Shuttle Walk Test) und dem 6MWD untersucht.

Die Werte der Ausdauerkapazität nahmen in der Experimentalgruppe in drei Studien signifikant zu. Dabei stellten Neder et al. (2002) die eindrucklichste Steigerung von 84.5% anhand des Zeitfaktors im Ausdauererprobung fest. Dal Corso et al. (2007) bewerteten den Unterschied der prä- und postinterventionell erreichten Gehdistanz im 6MWD, erhielten jedoch kein signifikantes Resultat. Die explizit noch gut erhaltene Belastungskapazität in der Ausgangslage hatte jedoch wahrscheinlich auch hier einen Einfluss auf die nur geringe Verbesserung.

Trotz erreichtem Signifikanzniveau muss das Resultat von Vivodtzev et al. (2006) kritisch betrachtet werden. Das additiv zur konventionellen Rehabilitation absolvierte NMES-Training wurde hier dem konventionellen Rehabilitationsprogramm als isolierte Behandlungsmethode gegenübergestellt. Dabei wurde jedoch keine signifikante Intergruppendifferenz im Wiederbefund des Gehtests ermittelt. Mit dieser Tatsache als Begründung kann hier die durch NMES erreichte Kraftzunahme des M. quadriceps femoris nicht auf eine relevante Verbesserung der Ausdauer- oder allgemeinen Belastungskapazität übertragen werden; es existiert lediglich eine Tendenz der Korrelation zwischen Muskelkraft und verbesserten Werten der Gehdistanz im 6MWD ($p=0.08$) (Vivodtzev et al., 2006).

Somit kann festgehalten werden, dass im Bereich Ausdauerkapazität nur in zwei Studien relevante signifikante Resultate erzielt werden konnten und dies in jenen, in

denen die Kontrollgruppe keine alternative Intervention bekam und NMES als einzige Trainingsmethode eingesetzt wurde. Mangels weiterer relevanter Forschungsergebnisse kann hier keine eindeutige Aussage über den Nutzen von NMES bezüglich der Ausdauerkapazität von Patienten mit COPD gemacht werden. Es scheint zwar diesbezüglich ein tendenzieller Effekt vorhanden zu sein, welcher sich jedoch vorerst nur hypothetisch erklären lässt.

Die beobachtete positive Auswirkung auf die Ausdauerkapazität scheint primär auf reduziertem Anstrengungsempfinden in der unteren Extremität zu beruhen (Neder et al., 2002; Vivodtzev et al., 2006). Bourjeily-Habr et al. (2002) stellten in ihrer Experimentalgruppe ausserdem eine geringe, jedoch signifikante, Reduktion der Totraumventilation sowie tendenziell eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme fest.

Des Weiteren spekulieren Vivodtzev et al. (2006), dass die Steigerung der Muskelkraft des M. quadriceps femoris möglicherweise einen positiven Einfluss auf die Gehleistung und somit auf die Ausdauerkapazität hat, obwohl ihre Studie in dieser Beziehung keine signifikanten Resultate hervorbringen konnte. Es hat sich jedoch anderweitig schon gezeigt, dass die Kraft des M. quadriceps femoris bei COPD-Patienten signifikant mit der Gehdistanz im 6MWD und der maximalen Sauerstoffaufnahme korreliert (Gosselink, Troosters, Decramer, 1996) oder allgemein mit der Belastungskapazität (Troosters et al., 1996) sowie mit der Symptomintensität (Killian et al., 1992). Limitierend auf das Ausmass der Verbesserung der Resultate im Gehstest könnte jedoch die Schwäche der untrainierten Muskeln der unteren Extremität gewirkt haben, da ausschliesslich der M. quadriceps femoris trainiert wurde (Vivodtzev et al., 2006).

Eine weitere Hypothese über den Zusammenhang der verbesserten Ausdauerkapazität mit dem NMES-Training ist eine potentielle Verbesserung der peripheren Muskelausdauer und der oxidativen Kapazität des M. quadriceps femoris. Beeinträchtigte periphere Muskelausdauer wird laut Saey et al. (2003) mit einer reduzierten Belastungstoleranz assoziiert und ist daher von klinischer Relevanz. Neder et al. (2002) stellten dazu fest, dass die positiven Effekte von Steigerungen in Muskelkraft und Muskelausdauer unter anderem auf eine verbesserte Fähigkeit zur Ausführung von Ganzkörpertraining übertragen werden können.

Ausserdem ist sicherlich auch die beobachtete Reduktion der Dyspnoe in den ADL (Neder et al., 2002; Vivodtzev et al., 2006) ein wichtiger beitragender Faktor zur Verbesserung der Ausdauerkapazität.

Diese Auswahl an möglichen Hypothesen sowie der Mangel an wissenschaftlich fundierten Beweisen verdeutlichen, dass die Mechanismen, welche den durch NMES-Training produzierten Verbesserungen von sowohl Muskelkraft als auch Ausdauerkapazität zugrunde liegen, noch unsicher sind (Bourjeily-Habr et al., 2002) und weitere Forschung auf diesem Gebiet nötig ist.

4.3 Effekt von NMES auf die Lebensqualität

In 2(5) Studien wurde anhand von zwei verschiedenen krankheitsspezifischen Fragebogen eine prä- und postinterventionelle Beurteilung der Lebensqualität gemacht (Neder et al., 2002; Vivodtzev et al., 2006). Es wurden dabei verschiedene Aspekte evaluiert, darunter Dyspnoe in den ADL, Fatigue, Krankheitsbewältigung, emotionale und kognitive Funktionen sowie Invalidität. In beiden Studien konnte im Vergleich zur Kontrollgruppe nach dem NMES-Training eine signifikante Reduktion der Dyspnoe in den ADL festgestellt werden, während in den restlichen Domänen keine Intergruppenunterschiede resultierten. In der Studie von Neder et al. (2002) wird dabei von einer erhöhten funktionellen Kapazität (verbesserte Muskelkraft und -ausdauer) aufgrund des NMES-Trainings gesprochen, welche sich in einer subjektiv verringerten täglichen Dyspnoe widerspiegelte.

In Anbetracht der positiven und deutlichen Resultate im Bereich peripherer Muskelkraft ist erstaunlich, dass sich keine weiteren signifikanten Effekte in den anderen Komponenten der gesundheitsbezogenen Lebensqualität ergaben. Es wäre anzunehmen, dass eine Verbesserung der peripheren Muskelkraft und damit eine Verringerung der muskulären Dysfunktion sich stärker auf die Autonomie und demzufolge auf die Lebensqualität von Patienten mit COPD auswirken müsste. Dies würde zudem eine weitere Komponente der klinischen Relevanz darstellen.

Eine Hypothese zur Erklärung dieses Sachverhalts ist möglicherweise ein insuffizienter oder gar komplett fehlender Transfer der durch NMES verbesserten Muskelfunktion auf die Aktivitäten des Alltags.

Auffällig ist auch, dass der Aspekt der Lebensqualität lediglich in zwei der fünf Hauptstudien näher beleuchtet wurde. Dies obwohl ein wichtiges Ziel in der

Rehabilitation von COPD-Patienten die Verbesserung der Lebensqualität darstellt und somit jegliche Interventionen, welche auf eine Verbesserung der physischen Funktionalität abzielen, sinnvollerweise auch die Auswirkung auf die Lebensqualität betrachten sollten. Diesem Aspekt wurde somit zu wenig Gewichtung zugeteilt.

Mangels weiterer Studienresultate kann im Rahmen dieser Arbeit leider keine klare Aussage über die Auswirkung einer NMES-Behandlung auf die Lebensqualität bei Patienten mit COPD erstellt werden.

4.4 Indikation für NMES während akuten Exazerbationen

Während die Anwendung von NMES bei COPD-Patienten im Allgemeinen relativ begrenzt erforscht ist, existieren zum Einsatz von Elektrostimulation explizit während akuten Exazerbationen aktuell noch keine Studien. In der Forschungsliteratur sind jedoch Hinweise und Tendenzen betreffend der Applikation von NMES in Präsenz einer akuten Exazerbation von COPD vorhanden. Diese Informationen werden im Folgenden erläutert und damit Hypothesen zur Beantwortung der Frage über die Indikation von NMES während akuten Exazerbationen generiert.

Der Verlauf einer COPD-Erkrankung ist geprägt durch akute Exazerbationen (Anzueto et al., 2007) welche als mild, moderat oder schwer klassifiziert werden, und in ernsten Fällen eine Einweisung ins Krankenhaus erfordern (Pauwels et al., 2001). Wie im Theorieteil dieser Arbeit erwähnt, verstärken akute Exazerbationen die Symptomatik der COPD und gehen mit Beeinträchtigungen sowohl der Muskelfunktion, also rasch auftretender Muskelschwäche, als auch der Lebensqualität einher. Trotz optimaler medizinischer Behandlung während des Krankenhausaufenthaltes, erfordert die Erholung nach der Entlassung eine beträchtliche Zeitdauer, bis die Patienten wieder ihr vorhergehendes Niveau der physischen Funktionalität und des Gesundheitsstatus erreicht haben (Man, Polkey, Donaldson, Gray, Moxham, 2004). Interventionen, welche die Erholung beschleunigen und die Symptome nach einer Krankenhauseinweisung reduzieren, führen bei schwachen und dyspnoischen COPD-Patienten einerseits zu geringeren Gesundheitskosten und andererseits zur Verbesserung der Lebensqualität sowie der funktionellen Leistungsfähigkeit (Man et al., 2004).

Frühes Erkennen und Behandeln von akuten Exazerbationen kann den Verlauf der Erkrankung entscheidend verändern (Decramer et al., 2008). Gezielte Therapie

schon während der Exazerbation könnte das Outcome also positiv beeinflussen (Anzueto et al., 2007). Und da skelettale Muskelschwäche durch die während der Exazerbation erzwungene Inaktivität rasch auftritt, sollte mit der Stimulation der peripheren Muskulatur durch Training nicht lange gewartet werden (Decramer et al., 2008). Spezifisches Krafttraining beispielsweise soll gemäss Probst et al. (2005) bereits ab dem zweiten Tag nach Krankenhauseinweisung machbar sein und dem Verlust an Muskelkraft vorbeugen. Im Review von Puhan, Scharplatz, Trooster & Steurer (2005) wurden die Effekte von pulmonaler Rehabilitation, welche 3–8 Tage nach Beginn der Exazerbation initiiert wurde, verglichen mit herkömmlicher Pflege ohne Trainingsprogramm. Es zeigte sich auch hier, dass frühzeitige pulmonale Rehabilitation erneute Einweisungen ins Krankenhaus sowie Mortalität reduziert und die Lebensqualität und Belastungskapazität verbessert. Couillard & Prefaut (2010) schliessen daraus, dass es für COPD-Patienten sogar lebenswichtig ist, möglichst früh während der Exazerbation ein Muskelaufbauprogramm durchzuführen.

Da COPD-Patienten, welche an akuter Exazerbation leiden, Komorbiditäten (z.B. kongestive Herzinsuffizienz, tiefe Venenthrombose oder pulmonale Hypertonie) aufweisen können, welche konventionelles physisches Training erschweren, sollte im Rehabilitationsprogramm vorsichtig vorgegangen werden (Decramer et al., 2008). Solche Faktoren limitieren zusätzlich zur Dyspnoe die Fähigkeit der Patienten, reguläres Training mit genügend hoher Intensität oder ausreichender Dauer durchzuführen, um einen positiven Effekt erzielen zu können (Decramer et al., 2008). Decramer et al. (2008) weisen daher auf alternative Trainingsformen hin, wie z.B. NMES, welche insbesondere in der frühen Phase der Exazerbation Strategien mit grossem Nutzen darstellen könnten. NMES als Methode ist primär bei schwer dekonditionierten und bettlägerigen Patienten indiziert (Vivodtzev et al., 2008), da sie gegenüber aktivem, willkürlichem Training keine speziellen Vorteile bietet (Roig & Reid, 2009).

Eine gute Tolerierbarkeit der Anwendung von NMES ist, wie weiter unten beschrieben, erwiesen. Im RCT von Neder et al. (2002) wird beschrieben, dass 4 der 15 Patienten während der NMES-Trainingsperiode akute Exazerbationen erlitten. Alle vier waren jedoch trotzdem auch während dieser Phasen der akuten Zustandsverschlechterung noch in der Lage, ihr NMES-Training sicher weiterzuführen. Neder et al. (2002) stellten daraus schliessend die Hypothese auf,

dass NMES eine wertvolle Behandlungsstrategie sein könnte, um den, nach akuten Exazerbationen häufig beobachteten, deutlichen Verlust an Muskelkraft positiv zu beeinflussen. Decramer et al. (2008) weisen jedoch darauf hin, dass eine zu frühe Aktivierung der Muskulatur aufgrund von erhöhten Entzündungswerten sowie verstärktem systemischem oxidativem Stress potentiell gefährlich sein könnte.

Unter Berücksichtigung dieser möglichen Kontraindikationen und aufgrund der oben beschriebenen Erkenntnisse aus der Forschungsliteratur kann die Hypothese somit bestärkt werden, dass NMES durchaus indiziert ist während akuten Exazerbationen.

4.5 NMES versus aktives Training

Das Hauptziel der Anwendung von neuen, zum aktiven Training alternativen, Trainingsoptionen ist die Optimierung der Belastungstoleranz bei Patienten mit COPD, also die Verbesserung der Toleranz für höhere, adäquate Trainingsintensitäten (Ambrosino & Strambi, 2004). Die in den letzten 10–15 Jahren entwickelten neuen Strategien sollen im Sinne einer Ergänzung die Effekte des konventionellen, aktiven Trainings verbessern (Ambrosino et al., 2008). NMES als eine dieser neuen Trainingsoptionen bietet diverse Vorteile und hat das Potential, ein hilfreiches Instrument in der pulmonalen Rehabilitation zu sein.

Der wohl stärkste positive Aspekt aus Sicht der pulmonalen Rehabilitation stellt, im Gegensatz zum konventionellen Training, die Abwesenheit von kardiopulmonalem Stress dar; dies da es sich um passive muskuläre Aktivität handelt und ein geringerer Anteil an Muskelmasse involviert ist (Ambrosino & Strambi, 2004; Neder et al., 2002). Das Durchführen einer NMES-Trainingssession ist also ohne Zunahme der subjektiv wahrgenommenen Dyspnoe möglich (Vivodtzev et al., 2006) und dadurch, dass es sich dabei um einen lokalen Trainingsstimulus handelt, für Patienten mit fortgeschrittener COPD besser tolerierbar (Vivodtzev et al., 2008).

Sillen et al. (2008) verglichen in einer Studie die metabolische Reaktion, definiert als die maximale Sauerstoffaufnahme und Minutenventilation, während aktivem Krafttraining und während NMES. Sie gelangten zum Resultat, dass die metabolische Reaktion während NMES-Training signifikant tiefer war als während aktivem Krafttraining, was zusätzlich mit signifikant tieferen Werten auf der Borg-Skala für Dyspnoe und Ermüdung der Beine assoziiert wurde. COPD-Patienten benötigen generell einen eindeutig tieferen Anteil ihrer maximalen aeroben Kapazität

während einer NMES-Session als während einer Session von Hochintensitätskrafttraining der unteren Extremität (Sillen et al., 2010).

Gemäss Zanotti et al. (2003) hat sich gezeigt, dass für das Erreichen eines äquivalenten Ausmasses an Muskelkräftigung beim aktiven Training eine höhere Intensität der Muskelkontraktion benötigt wird als beim Elektrostimulationstraining, welches effizient funktioniert ohne die kardiovaskuläre Arbeit zu erhöhen.

Neder et al. (2002) berichten zudem, dass alle ihre Patienten problemlos in der Lage waren, mit einem Behandlungsschema zurechtzukommen, welches mit willkürlichen dynamischen Muskelkontraktionen zu anspruchsvoll und wahrscheinlich nicht tolerierbar gewesen wäre. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch das subjektive Empfinden der Patienten. In allen fünf dieser Arbeit zugrunde liegenden Studien wurde NMES gut toleriert. Die Patienten zeigten insgesamt eine äusserst gute Compliance und konnten das Training alle komplett durchführen, dies sogar in Anwesenheit einer akuten Exazerbation (Neder et al., 2002). NMES wurde weder mit Schmerz noch mit anderen unangenehmen Wahrnehmungen (Neder et al., 2002) oder nachteiligen Effekten (Roig & Reid, 2009) verbunden.

Als weiterer positiver Aspekt ist die sichere, zuverlässige Applikation von NMES zu nennen, wobei die Elektrogeräte auch problemlos im Heimgebrauch einsetzbar sind, von den Patienten selber bedient werden können (Dal Corso et al., 2007; Neder et al., 2002) und mit einem tragbaren Kostenaufwand verbunden sind (Neder et al., 2002; Zanotti et al., 2003).

Laut Maffiuletti (2010) besteht der hauptsächlichste Nachteil von durch NMES induzierten Kontraktionen darin, dass das Volumen an stimuliertem muskulärem Gewebe inkomplett ist. Dies bedeutet, dass nur ein limitierter Anteil des Zielmuskels mit NMES trainiert werden kann. Zur Maximierung der Anzahl an rekrutierten motorischen Einheiten wird daher einerseits empfohlen, während der Trainingseinheit die Stromintensität progressiv zu steigern, um auch eine Depolarisation von tiefer gelegenen motorischen Nervenfasern zu erreichen. Andererseits sollten die aktiven Elektroden innerhalb einer Session neu platziert und die Muskellänge verändert werden.

Ein weiterer Nachteil könnte ein möglicherweise reduzierter Transfer der verbesserten Muskelfunktion auf funktionelle Aufgaben darstellen (Roig & Reid, 2009); dies als weiteres Indiz dafür, dass NMES isoliert nur in schweren

Krankheitsphasen oder ganz zu Beginn nach einer Immobilisationsphase zum Einsatz kommen sollte, wo aktives Training nicht möglich ist. Gemäss den verfügbaren Evidenzen des Reviews von Bax et al. (2005) ist willkürliches Training grundsätzlich effektiver und Elektrostimulation nur vorzuziehen, wenn die Compliance der Patienten insuffizient ist (z.B. im Falle einer akuten Exazerbation). Couillard & Prefaut (2010) warnen zudem vor der Möglichkeit der Wahl zwischen Elektrostimulation und klassischem Training, da grundsätzlich autonome Patienten versucht sein könnten, die passive und nicht symptomprovozierende Methode zu bevorzugen.

Bezüglich optimalem Einsatz von NMES scheint eine frühest mögliche Kombination von Elektrostimulation mit aktivem Training anzustreben zu sein. Es hat sich gezeigt, dass die Kombination von Elektrostimulation und konventioneller Rehabilitation Verbesserungen der Kraft des M. quadriceps femoris (Vivodtzev et al., 2006; Zanotti et al., 2003) und der Dyspnoe (Vivodtzev et al., 2006) in der Ausführung von ADL in grösserem Ausmass möglich macht als aktives Training als Einzelmassnahme. Die unterschiedlichen Trainingseffekte von Elektrostimulation und aktivem Training können so kumuliert werden, weshalb die kombinierte Anwendung grössere muskuläre Adaptationen bewirkt (Paillard, 2008). Paillard (2008) fügt hinzu, dass das kombinierte Training auch eine effektivere Wiederherstellung von funktionellen Fähigkeiten erzeugt und eine grössere Verbesserung der Ausführung von komplexen dynamischen Bewegungen erbringt. Dies, weil Elektrostimulation alleine die intermuskuläre Koordination nicht beeinflusst und zur Erlangung von neuromuskulären Adaptationen und somit motorischer Kontrolle während willkürlicher Bewegungen zusätzlich spezifisches aktives Training unabdingbar ist.

4.6 Qualität der verwendeten Studien

Die methodologische Qualität der ausgewählten Hauptstudien wurde anhand der PEDro-Kriterien bewertet und im Anhang in der Tabelle V zusammengefasst dargestellt. Bei den fünf Hauptstudien handelt es sich um RCTs, womit sie grundsätzlich ein qualitativ hochwertiges Forschungsdesign aufweisen. Gemäss der durchgeführten PEDro-Bewertung erhielten diese Studien auf der entsprechenden Skala zwischen 4 und 8 Punkten, womit die methodologische Qualität als eher mittelmässig bis gut eingestuft wird. Hauptsächliche Abzüge und mögliche Bias

entstanden durch mangelnde Verblindung der Probanden, Therapeuten und Untersucher sowie durch häufig nicht verborgene Zuordnung der Patienten in die Experimental- oder Kontrollgruppe.

Ein weiterer Kritikpunkt sind die generell sehr kleinen Stichproben (15 bis 24 Patienten, davon jeweils 9 bis 12 in der Experimentalgruppe), weshalb die statistische Aussagekraft der Studien als eher gering zu bewerten ist.

Des Weiteren gestaltet sich die Vergleichbarkeit und Interpretation der Outcomes dieser Forschungsarbeiten als sehr schwierig. Die fünf ausgewählten Studien befassen sich zwar ausnahmslos mit der Anwendung und Wirkungsweise von NMES bei COPD-Patienten und haben ähnliche Ziele verfolgt, es liegen jedoch grundsätzliche Differenzen vor.

Zum einen bestehen in den diversen verwendeten Testverfahren zur Evaluation der peripheren Muskelkraft, der Ausdauerkapazität und der Lebensqualität Heterogenitäten hinsichtlich der Art des Assessments, der Ausgangsstellung und der festgelegten Durchführungsparameter. Zum anderen unterscheiden sich die einzelnen Trainingsprotokolle (Anhang, Tabelle VI) in den diversen Stimulationsparametern und im Umfang. Es bestehen auch Gegensätze in den verschiedenen Studienpopulationen hinsichtlich des Gesundheitsstatus und der physischen Leistungsfähigkeit in der Ausgangslage. Die Stadien der COPD-Erkrankung variieren in den verschiedenen Studien zwischen moderat, mit gut erhaltenen funktionellen Kapazitäten (Dal Corso et al., 2007) und sehr schwer, mit Bettlägerigkeit, mechanischer Beatmung und massiver peripherer Muskelatrophie (Zanotti et al., 2003).

In zwei Studien wurde die Anwendung von NMES zudem nicht isoliert, sondern additiv mit aktiver Mobilisation beziehungsweise konventioneller Rehabilitation ergänzt und in Kombination durchgeführt.

Abschliessend soll hier noch erwähnt sein, dass trotz einigen statistisch signifikanten Resultaten die Frage offen bleibt, ob auch die klinische Relevanz gegeben ist.

5 Schlussfolgerung und Prognose

Die mit fortgeschrittener COPD und akuten Exazerbationen assoziiert auftretende Belastungsintoleranz limitiert den physiotherapeutischen Einsatz von aktiven Interventionen in der pulmonalen Rehabilitation. Der nötige Trainingsreiz, welcher in einer Verbesserung der physischen Leistungsfähigkeit resultieren würde, kann nicht erzeugt werden, da im Ausdauer- und Krafttraining keine adäquaten Intensitäten aufrechterhalten werden können. Die Hypothese, dass NMES das Potential hat, hier als alternative oder additive Trainingsoption zur effizienten Unterstützung eingesetzt werden zu können, kann anhand der Ergebnisse dieses systematischen Reviews stark untermauert werden.

In der pulmonalen Rehabilitation wird empfohlen, die Effizienz einer Behandlungsmassnahme gemäss ihrer Wirkung in den folgenden drei Domänen zu evaluieren: muskuläre Funktion, Belastungstoleranz und Dyspnoe (Donner & Decramer, 2000). Im Rahmen dieser Arbeit konnte zum einen bestätigt werden, dass NMES eine Verbesserung der peripheren Muskelkraft bewirkt. Zum anderen existieren mehrere starke Indizien und Tendenzen, dass mit NMES nicht nur lokal begrenzte, sondern mit Steigerung der Belastungstoleranz und Reduktion der Dyspnoe auch globale Wirkungen erzielt werden können.

In der für diese Arbeit verwendeten Literatur wird mehrfach darauf hingewiesen oder suggeriert, dass das optimale Anwendungsgebiet für NMES bei Patienten in sehr schweren oder kritischen Stadien der Erkrankung mit partiellem oder totalem Verlust der Autonomie liegt, wenn konventionelles Training nicht oder in inadäquatem Ausmass möglich ist und Atrophie schnell voranschreiten kann (Bourjeily-Habr et al., 2002; Couillard & Prefaut, 2010; Gerovasili et al, 2009; Vivodtzev et al., 2008). Die vorliegende Arbeit unterstützt diese These und ergänzt, dass hier insbesondere auch der Bereich akute Exazerbation explizit erwähnt werden soll.

Die Elektrostimulation findet ihre Indikation also im absoluten Beginn der Behandlung (Couillard & Prefaut, 2010) und der Erfolg dieser Technik variiert gemäss spezifischen Charakteristiken der Patienten und des Schweregrads der Krankheit (Vivodtzev et al., 2008). Ein stark dekonditionierter Muskelstatus (markante Atrophie) gilt als wichtiger prognostischer Faktor für die Effektivität von Elektrostimulation (Roig & Reid, 2009).

Wenn möglich sollte jedoch stets angestrebt werden, die konventionelle Rehabilitation im Sinne von aktivem Training so früh wie möglich miteinzubeziehen und in Kombination zur Elektrostimulation anzuwenden, bis eine für körperliches Training suffiziente Belastungstoleranz wiederhergestellt ist. Die Integration von komplexeren Trainingseinheiten ist unerlässlich für einen erfolgreichen Transfer auf funktionelle Aufgaben.

Die aktuell noch geringe Anzahl an vorhandenen Studien zu dieser Thematik und der noch fehlende Konsens bezüglich dem Nutzen von Elektrostimulation für COPD-Patienten (Roig & Reid, 2009) verdeutlichen, dass auf diesem Gebiet noch weitere Forschung notwendig ist. Die exakte Wirkungsweise von NMES und die Mechanismen, durch welche elektrische Stimulation die funktionellen Kapazitäten von Patienten mit COPD verbessern kann sowie auch die Stimulationsparameter für ein optimales Outcome eines NMES-Trainingsprogramms und die ideale Patientenpopulation für diese Technik, sind noch unklare Faktoren und müssten intensiver untersucht werden (Bax et al., 2005; Bourjeily-Habr et al., 2002; Vivodtzev et al., 2008). Wünschenswert wären zusätzliche Studien mit grösseren Studienpopulationen, für welche Patienten mit ähnlichen Voraussetzungen rekrutiert sowie auch vergleichbare oder standardisierte Trainingsprotokolle verwendet werden.

In den dieser Arbeit hauptsächlich zugrunde liegenden fünf Studien wurden ausschliesslich medizinisch stabile Patienten involviert. Interessant wäre zu analysieren, wie NMES bei medizinisch instabilen Patienten (z.B. während einer akuten Exazerbation) wirkt und anzuwenden ist.

Neder et al. (2002) weisen zusätzlich auf die Notwendigkeit einer Kosten-Effektivitäts-Analyse hin, bevor NMES bei COPD-Patienten zu einem weitverbreiteten Einsatz kommt.

Diese therapeutische Trainingsintervention scheint jedoch effizient und vielversprechend zu sein und könnte möglicherweise auch zu einer Verkürzung der Dauer von Hospitalisationen und somit zu einer Kostenreduktion beitragen. Da sie zudem problemlos bei COPD-Patienten anwendbar ist, könnte NMES bei erwiesener klinischer Relevanz und gegebener Indikation künftig als attraktive und wertvolle, ergänzende physiotherapeutische Behandlungsmethode integriert in die pulmonale Rehabilitation betrachtet werden.

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

Ambrosino, N., Casaburi, R., Ford, G., Goldstein, R., Morgan, M.D.L., Rudolf, M., Singh, S., Wijkstra, P.J. (2008). Developing concepts in the pulmonary rehabilitation of COPD. *Journal of Respiratory Medicine*, 102, 517-526.

Ambrosino, N., Strambi, S. (2004). New strategies to improve exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *European Respiratory Journal*, 24, 313-322.

American College of Chest Physicians (1997). Pulmonary rehabilitation: joint ACCP/AACVPR evidence-based guidelines. *Chest*, 112, 1363-1396.

American Thoracic Society (1999). Pulmonary rehabilitation-1999. *Am J Respir Crit Care Med.*, 159, 1666-1682.

Anzueto, A., Sethi, S., Martinez, F.J. (2007). Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 4, 554-564.

Bax, L., Staes, F., Verhagen, A. (2005). Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med.*, 35, 191-212.

Belfer, M.H., Reardon, J.Z. (2009). Improving Exercise Tolerance and Quality of Life in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Am Osteopath Assoc.*, 109, 268-278.

Bourjeily-Habr, G., Rochester, C.L., Palermo, F., Snyder, P., Mohsenin, V. (2002). Randomised controlled trial of transcutaneous electrical muscle stimulation of the lower extremities in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, 57, 1045-1049.

- Caggiano, E., Emrey, T., Shirley, S., Craik, R.L. (1994). Effects of electrical stimulation or voluntary contraction for strengthening the quadriceps femoris muscles in an aged male population. *J Orthop Sports Phys Ther*, 20, 22–28.
- Casaburi R. Exercise training in chronic obstructive lung disease. In: Casaburi R, Petty TL, eds. Principles and practice of pulmonary rehabilitation. Philadelphia, PA: Saunders, 1993; 204–224.
- COPD-swiss. *COPD - die CHRONISCHE OBSTRUKTIVE LUNGENKRANKHEIT - ein gewaltiges, gesundheitliches Problem* [On-Line]. Available: <http://www.copd-swiss.ch/test/section1.asp?ref=1> (19.04.2011).
- Couillard, A., Prefaut, C. (2010). L'électrostimulation dans la réhabilitation des patients BPCO sévères : pertinence ou facétie ? *Revue des Maladies Respiratoires*, 27, 113-124.
- Dal Corso, S., Nápolis, L., Malaguti, C., Gimenes, A.C., Albuquerque, A., Nogueira, C.R., De Fuccio, M.B., Pereira, R.D.B., Bulle, A., McFarlane, N., Nery, L.E., Neder, A. (2007). Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients. *Respiratory Medicine*, 101, 1236-1243.
- Decramer, M., Gosselink, R., Troosters, T., Verschueren, M., Evers, G. (1997). Muscle weakness is related to utilization of health care resources in COPD patients. *Eur Respir J*, 10, 417-423.
- Decramer, M., Nici, L., Nardini, S., Reardon, J., Rochester, C.L., Sanguinetti, C.M., Troosters, T. (2008). Targeting the COPD Exacerbation. *Journal of Respiratory Medicine*, 102, 3-15.
- Donner, C.F., Decramer, M. (2000). *Pulmonary rehabilitation*. Sheffield: European Respiratory Society.

- Fischer, J., Schnabel, M., Sitter, H. (2007). Rehabilitation von Patienten mit chronisch obstruktiver Lungenerkrankung (COPD). S2-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) und der Deutschen Gesellschaft für Rehabilitationswissenschaften (DGRW). *Pneumologie*, 61, 233–248.
- Gerovasili, V., Stefanidis, K., Vitzilaios, K., Karatzanos, E., Politis, P., Koroneos, A., Chatzimichail, A., Routsis, C., Roussos, C. & Nanas, S. (2009). *Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study* [On-Line]. Available: <http://ccforum.com/content/13/5/R161> (07.10.2010).
- Gibson, J.N., Smith, K., Rennie, M.J. (1988). Prevention of disuse muscle atrophy by means of electrical stimulation: maintenance of protein synthesis. *Lancet*, 2, 767–770.
- Gosselink, R., Troosters, T., Decramer, M. (1996). Peripheral muscle weakness contributes to exercise limitation in COPD. *Am J Respir Crit Care Med*, 153, 976-980.
- Horstman, A.M., Beltman, M.J., Gerrits, K.H., Koppe, P., Janssen, T.W., Elich, P., de Haan, A. (2008). Intrinsic muscle strength and voluntary activation of both lower limbs and functional performance after stroke. *Clin Physiol Funct Imaging*, 28, 251–261.
- Hortobagyi, T., Lambert, N.J., Tracy, C., Shinebarger, M. (1992). Voluntary and electromyostimulation forces in trained and untrained men. *Med Sci Sports Exerc*, 24, 702–707.
- Hultman, E., Sjöholm, H., Jäderholm-Ek, I., Krynicki, J. (1983). Evaluation of methods for electrical stimulation of human skeletal muscle in situ. *Pflugers Arch*, 398, 139–141.

- Killian, K.J., Leblanc, P., Martin, D.H., et al. (1992). Exercise capacity and ventilatory, circulatory, and symptom limitation in patients with chronic airflow limitation. *Am Rev Respir Dis*, 146, 935-940.
- Kim, H.C., Mofarrahi, M., Hussain, S.N.A. (2008). Skeletal muscle dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of COPD*, 3(4), 637-658.
- Kitchen, S. (2002). *Electrotherapy, Evidence Based Practice*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Lacasse, Y., Wong, E., Guyatt, G.H., et al. (1996). Meta-analysis of respiratory rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet*, 348, 1115-1119.
- Lieber, R.L., Kelly, M.J. (1991). Factors influencing quadriceps femoris muscle torque using transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Phys Ther*, 71, 715–723.
- Lungenliga Schweiz. *COPD: chronisch obstruktive Lungenerkrankung* [On-Line]. Available: <http://www.lung.ch/de/krankheiten/copd.html> (19.04.2011).
- Maffiuletti, N.A. (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol*, 110, 223-234.
- 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. *J Strength Cond Res*, 23, 677–682.
- Man, W.D.C., Polkey, M.I., Donaldson, N., Gray, B.J., Moxham, J. (2004). Community pulmonary rehabilitation after hospitalisation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: randomised controlled study. *BMJ*, doi:10.1136/bmj.38258.662720.3A

- Martin, V., Millet, G.Y., Martin, A., Deley, G., Lattier, G. (2004). Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *J Appl Physiol*, 97, 1923–1929.
- Marquis, K., Debigare, R., Lacasse, Y., et al. (2002). Midthigh muscle cross-sectional area is a better predictor of mortality than body mass index in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*, 166, 809–813.
- Montes de Oca, M., Rassulo, J., Celli, B.R. (1996). Respiratory muscle and cardiopulmonary function during exercise in very severe COPD. *Am J Respir Crit Care Med*, 154, 1284-1289.
- Neder, J.A., Sword, D., Ward, S.A., Mackay, E., Cochrane, L.M., Clark, C.J. (2002). Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Thorax*, 57, 333-337.
- Nici, L., Donner, C., Wouters, E., ZuWallack, R., Ambrosino, N., Bourbeau, J., et al. (2006). American thoracic society/European respiratory society statement on pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*, 173, 1390–1413.
- Paillard, T. (2008). Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Medicine*, 38, 161-177.
- Parker, M.G., Bennet, M.J., Hieb, M.A., Hollar, A.C., Roe, A.A. (2003). Strength response in human femoris muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs. *J Orhop Sports Phys Ther.*, 33, 719-723.
- Pauwels, R.A., Buist, A.S., Calverley, P.M.A., et al. (2001). Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: NHLBI/WHO Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD); workshop summary. *Am J Respir Crit Care Med*, 163, 1256–1276.

- Probst, V., Troosters, T., Celis, G., Pitta, F., Decramer, M., Gosselink, R. (2005). Effect of resistance training during hospitalisation due to acute exacerbations of COPD - preliminary results. *Eur Respir J Suppl*, 49, 432s.
- Puhan, M., Scharplatz, M., Trooster, T., Steurer, J. (2005). Respiratory rehabilitation after acute exacerbation of COPD may reduce risk for readmission and mortality — a systemic review. *Respir Res*, 6, 54.
- Rabinovich, R.A., Vilaró, J. (2010). Structural and Functional Changes of Peripheral Muscles in Copd Patients. *Curr Opin Pulm Med.*, 16, 123-133.
- Robertson, V., Ward, A., Low, J. & Reed, A. (2006). *Electrotherapy Explained, Principles and Practice*. Edinburgh: Elsevier.
- Rodriguez-Roisin, R. (2000). Toward a Consensus Definition for COPD Exacerbations. *Chest*, 117, 398-401.
- Roig, M., Reid, W. D. (2009). Electrical stimulation and peripheral muscle function in COPD: A systematic review. *Respiratory Medicine*, 103, 485-495.
- Saey, D., Debigaré, R., LeBlanc, P., et al. (2003). Contractile leg fatigue after cycle exercise: a factor limiting exercise in patients with COPD. *Am J Respir Crit Care Med*, 168, 425-430.
- Seymour, J.M., Moore, L., Jolley, C.J., Ward, K., Creasey, J., Steier, J.S., Yung, B., Man, W.D., Hart, N., Polkey, M.I., Moxham, J. (2010). Outpatient pulmonary rehabilitation following acute exacerbations of COPD. *Thorax*, 65, 423-428.
- Sillen, M.J.H., Janssen, P.P., Akkermans, M.A., Wouters, E.F., Spruit, M.A. (2008). The metabolic response during resistance training and neuromuscular electrical stimulation (NMES) in patients with COPD, a pilot study. *Respir Med*, 102, 786–789.

- Sillen, M.J.H., Wouters, E.F.M., Franssen, F.M.E., Meijer, K., Stakenborg, K.H.P., Spruit, M.A. (2010). Oxygen Uptake, Ventilation, and Symptoms During Low-Frequency Versus High-Frequency NMES in COPD: A Pilot Study. *Lung*, doi: 10.1007/s00408-010-9265-0
- Simpson, K., Killian, K., McCartney, N., Stubbing D.G., Jones, N.L. (1992). Randomized controlled trial of weightlifting exercise in patients with chronic airflow limitation. *Thorax*, 47, 70-75.
- Snyder-Mackler, L., Delitto, A., Bailey, S.L., Stralka, S.W. (1995). Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Jt Surg Am*, 77, 1166–1173.
- Steffers, G., Credner, S. (2006). Allgemeine Krankheitslehre und Innere Medizin für Physiotherapeuten. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Swallow, E.B., Reyes, D., Hopkinson N.S., et al. (2007). Quadriceps strength predicts mortality in patients with moderate to severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, 62, 115–120.
- Troosters, T., Gosselink, R., Decramer, M. (2001). Exercise training in COPD: how to distinguish responders from nonresponders. *J Cardiopulm. Rehabil.*, 21, 10-17.
- Troosters, T., Gosselink, R., Langer, D., Decramer, M. (2007). Pulmonary rehabilitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Medicine*, 3, 57-64.
- Troosters, T., Gosselink, R., Rollier, H., et al. (1996). Change in lower limb muscle strength contributes to altered six minute walking distance in COPD. *Eur Respir J*, 9, 144s.

Troosters, T., Probst, V.S., Crul, T., Pitta, F., Gayan-Ramirez, G., Decramer, M., Gosselink, R. (2010). Resistance training prevents deterioration in quadriceps muscle function during acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.*, 181, 1072-7.

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

van Gestel, A.J.R., Teschler, H. (2010). *Physiotherapie bei chronischen Atemwegs- und Lungenerkrankungen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Vivodtzev, I., Lacasse, Y., Maltais, F. (2008). Neuromuscular Electrical Stimulation of the Lower Limbs in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 28, 79-91.

Vivodtzev, I., Pépin, J.-L., Vottero, G., Mayer, B.P., Lévy, P., Wuyam, B. (2006). Improvement in Quadriceps Strength and Dyspnea in Daily Tasks After 1 Month of Electrical Stimulation in Severely Deconditioned and Malnourished COPD. *Chest*, 129, 1540-1548.

Vogelmeier, C., Buhl, R., Criege, C.P., et al. (2007). Leitlinien der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem (COPD). *Pneumologie*, 61, 1–40.

World Health Organization (WHO). (2011). *Chronic obstructive pulmonary disease: Burden* [On-Line]. Available: <http://www.who.int/respiratory/copd/burden/en/index.html> (19.04.2011).

Wust, R.C., Morse, C.I., de Haan, A., Jones, D.A., Degens, H. (2008). Sex differences in contractile properties and fatigue resistance of human skeletal muscle. *Exp Physiol*, 93, 843–850.

Zalpour, C. (Hrsg.). (2010). *Springer Lexikon Physiotherapie*. Berlin: Springer-Verlag.

Zanotti, E., Felicetti, G., Maini, M., Fracchia, C. (2003). Peripheral Muscle Strength Training in Bed-Bound Patients With COPD Receiving Mechanical Ventilation : Effect of Electrical Stimulation. *Chest*, 124, 292-296.

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle I:	Übersicht über die 5 Hauptstudien	8
Tabelle II:	Übersicht über die wichtigsten Fakten und Ergebnisse der Hauptstudien	23
Tabelle III:	Funktionelle Ausgangslagen der Patienten	50
Tabelle IV:	Überblick über die Assessmentmethoden	51
Tabelle V:	PEDro-Bewertung der 5 Hauptstudien	52
Tabelle VI:	NMES-Trainingsprotokolle	53

6.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung I:	Dyspnoespirale	12
--------------	----------------------	----

6.4 Abkürzungsverzeichnis & Glossar

6MWD	6-Minute Walking Distance / 6-Minuten-Gehtest: Der Patient soll 6 Minuten auf ebener Strecke mit einem Tempo gemäss der individuellen Leistungsfähigkeit gehen (Zalpour, 2010).
A	Ausdauerkapazität
ADL	Activities of Daily Living
AE	Akute Exazerbation
ASTE	Ausgangsstellung
BMI	Body Mass Index
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CRDQ	Chronic Respiratory Disease Questionnaire: Folgende vier Kategorien werden mit jeweils 4-7 Fragen auf einer Skala von 1 bis 7 bewertet: Dyspnoe, Fatigue, Krankheitsbewältigung und emotionale Funktionen. Ergibt sich im Wiederbefund eine Veränderung von 0.5 im arithmetischen Durchschnittsscore pro Kategorie, deutet dies auf einen minimal klinisch wichtigen Unterschied im allgemeinen Gesundheitsstatus hin (Neder et al., 2002).
EG	Experimentalgruppe
F	Females / Frauen
IC	Mm. ischiocrurales
IPS	Intensivpflegestation
K	periphere Muskelkraft
KG	Kontrollgruppe
L	Lebensqualität
M0 – M5	Bewertungsskala der Muskelfunktionsprüfung: Assessmentmethode zur Evaluation der Muskelkraft
MRF-28	28-item Mageri Foundation Respiratory Failure questionnaire: Krankheitsspezifischer Fragebogen, welcher gezielt auf den Lebensstil von COPD-Patienten ausgerichtet ist. Die folgenden drei Bereiche werden dabei anhand von 28 Fragen untersucht, welche jeweils mit ‚wahr‘ oder ‚falsch‘ beantwortet werden können: Dyspnoe

während den ADL, kognitive Funktionen und Invalidität. Ein hoher Wert im MRF-28 weist auf einen hohen Grad an Beeinträchtigung hin (Vivodtzev et al., 2006).

n	Anzahl
NMES	Neuromuscular Electrical Stimulation
Pat.	Patient(en)
PEdro	Physiotherapy Evidence Database
QC	M. quadriceps femoris
RCT	Randomised Controlled Trial
St. n.	Status nach
SWT	Shuttle-Walk-Test: Gemessen wird die maximale Gehdistanz, die der Patient bis zur subjektiven Erschöpfung zurücklegen kann. Das Gehtempo wird dabei durch ein Tonsignal vorgegeben und jede Minute erhöht. (Bourjeily-Habr et al., 2002).
WHO	World Health Organization
Wo	Woche(n)

7 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Claudia Kurz, die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst zu haben.

Datum

Unterschrift

8 Anhang

Tabelle III: Funktionelle Ausgangslagen der Patienten

Studie	Präinterventioneller Zustand	Besonderes
Neder	<ul style="list-style-type: none"> - deutlich verminderte Muskelkraft und -ausdauer* - schwer reduzierte Toleranz im Stufenbelastungstest* 	
Bourjeily-Habr	allgemeine, subjektive Belastungslimitierung trotz pharmakologischer Behandlung	
Zanotti	schwere periphere Muskelhypotonie und -atrophie	seit mind. 30 Tagen bettlägerig, chronisch hyperkapnisches Lungenversagen, invasiv mechanisch beatmet
Vivodtzev	<ul style="list-style-type: none"> - ausgeprägtes Kraftdefizit* - isometrische Maximalkraft <50%* - Atrophie des M. quadriceps femoris* - deutlich reduzierte Ausdauerkapazität* 	hospitalisiert mit St. n. Aufenthalt in der IPS oder St. n. AE mit erforderlicher Hospitalisation, niedriger BMI (<22kg/m ²), Intoleranz für Fahrradergometertraining oder extrem tiefe Belastungstoleranz
Dal Corso	gut erhaltene funktionelle Belastungskapazität und Muskelkraft	

AE= Akute Exazerbation; IPS= Intensivpflegestation; St. n.= Status nach; *= im Vergleich zur Norm.

Tabelle IV: Überblick über die Assessmentmethoden

Studie	Muskelfunktion	Ausdauerkapazität	Lebensqualität
Neder	<p>2 Muskelkrafttests, 1 Muskelausdauerterest (QC):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ isometrischer Krafttest: Evaluation der max. Anspannung während 5s bei einer Kniegelenksflexion von 40° ▪ isokinetischer Krafttest: Winkelgeschwindigkeit von 70°/s ▪ Muskelausdauerterest: max. Anzahl an Kontraktionen mit einer Winkelgeschwindigkeit von 70°/s während 1min 	<p>2 kardiopulmonale Tests auf dem Fahrradergometer:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Symptomlimitierter Stufenbelastungstest: konstante Tretfrequenz von 50 U/min ▪ Dauerbelastungstest bis zur Toleranzgrenze: konstante Belastung von 80-90% der erreichten Spitzenbelastung im Stufenbelastungstest 	CRDQ
Bourjeily-Habr	isokinetischer Krafttest (QC und IC): Winkelgeschwindigkeit von 60°/s	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Symptomlimitierter Stufenbelastungstest auf dem Fahrradergometer: konstante Tretfrequenz von 40 U/min ▪ SWT 	–
Zanotti	M0-M5 (QC)	–	–
Vivodtzev	isometrischer Krafttest (QC): Evaluation der max. Anspannung während 3" bei einer Kniegelenksflexion von 90°	6MWD	MRF-28
Dal Corso	isokinetischer Krafttest (QC): Winkelgeschwindigkeit von 60°/s	6MWD	–

6MWD= 6-Minute Walking Distance; CRDQ= Chronic Respiratory Disease Questionnaire; IC= Mm. ischiocrurales; M0-M5= Muskelfunktionsskala; MRF-28= 28-item Maugeri Foundation Respiratory questionnaire; QC= M. quadriceps femoris; SWT= Shuttle-Walk-Test.

Tabelle V: PEDro-Bewertung der 5 Hauptstudien

Studie	Randomisierung	verborgene Gruppenzuordnung	ähnliche Ausgangslagen	geblindete Probanden	geblindete Therapeuten	geblindete Untersucher	Follow-up	intention-to-treat Analyse	statistische Gruppenvergleiche	Punkt-/Streuungs-masse	Total
Neder	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	7/10
Bourjeily-Habr	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	8/10
Zanotti	✓		✓						✓	✓	4/10
Vivodtzev	✓		✓				✓		✓	✓	5/10
Dal Corso	✓		✓	✓			✓		✓	✓	6/10

Tabelle VI: NMES-Trainingsprotokolle

Studie	Gerät	Stromform	Stimulationsparameter
Neder	tragbarer Zweikanal-NME-Stimulator (Respond Select, Empi Inc, South Dakota, USA)	symmetrischer, biphasischer Rechteck-Strompuls	<p><i>Frequenz:</i> 50 Hz <i>Pulsbreite:</i> 300 - 400µs <i>Stromstärke:</i> → höchste tolerierbare Amplitude Beginn: 10 - 20mA Steigerung: bis 100mA <i>Tastverhältnis (on-off Zeit):</i> Wo 1: 2s on, 18s off (10%) Wo 2: 5s on, 25s off (17%) Wo 3-6: 10s on, 30s off (25%) <i>Behandlungsumfang:</i> 5x/Wo für 6 Wo (total: 30 Sessionen) Wo 1: 15min Wo 2-6: 30min ASTE: Applikation am M. quadriceps femoris; Der Rücken des Patienten war vollständig unterstützt; das zu behandelnde Bein war freihängend.</p>
Bourjeily-Habr	Omnistim FX-2 (Accelerated Care Plus, Sparks, NV) mit 2 Oberflächenelektroden (8x6cm)	asymmetrischer Rechteck-Strompuls	<p><i>Frequenz:</i> 50Hz <i>Pulsbreite:</i> ? <i>Stromstärke:</i> → sichtbare Muskelkontraktion (55 - 120mA) Beginn: 56.7mA* Steigerung: ~5mA/Wo Ende: 95.0mA* <i>Tastverhältnis (on-off Zeit):</i> 200ms on, 1.5s off <i>Behandlungsumfang:</i> 3x/Wo für 6 Wo (total: 18 Sessionen) Wo 1-6: 20min ASTE: Applikation am M. quadriceps femoris, den Mm. ischiocrurales und dem M. triceps surae; simultane Muskelstimulation zur Konstanthaltung des Kniegelenkwinkels von 90°.</p>

Fortsetzung Tabelle VI: NMES-Trainingsprotokolle

Studie	Gerät	Stromform	Stimulationsparameter
Zanotti	handelsübliches Zweikanal-Modell (SportTrainer; Actionfit; Forlì, Italy)	bipolarer, biphasischer, asymmetrischer Rechteck-Strompuls	<p><i>Frequenz:</i> 8 - 35Hz <i>Pulsbreite:</i> 250 - 350µs <i>Stromstärke:</i> ? <i>Tastverhältnis (on-off Zeit):</i> ? <i>Behandlungsumfang:</i> 5x/Wo für 4 Wo (total: 20 Sessionen) Beginn: maximal tolerierte Zeit Steigerung: stufenweise bis zu 30min → 5min à 8Hz und 250µs, dann 25min à 35Hz und 350µs <i>ASTE:</i> Behandlung auf dem Patientenbett; Positionierung der Elektroden bilateral auf dem M. quadriceps femoris; aktive Mobilisation fand simultan zur Elektrostimulation statt.</p>
Vivodtzev	Elektrostimulator (Sport 400; Compex Medical SA; Ecublens, Switzerland) mit 3 Oberflächenelektroden (1 à 8x4cm, 2 à 4x4cm)	symmetrischer, biphasischer Rechteck-Strompuls	<p><i>Frequenz:</i> 5 - 35Hz <i>Pulsbreite:</i> 400µs <i>Stromstärke:</i> → max. tolerierbare Intensität Beginn: 21 ± 6 mA* Steigerung: täglich um 5mA Ende: 46 ± 24 mA* <i>Tastverhältnis (on-off Zeit):</i> ? <i>Behandlungsumfang:</i> 4x/Wo für 4 Wo (total: 16 Sessionen) → jeweils: > 30min 5min warm-up à 5Hz und 400µs (Gleichstrom mit kont. Stromstärke), dann 25min elektrische Impulse à 35Hz und 400µs für 7s mit einer Ruhespannung von 5Hz und 400µs für 8s. <i>ASTE:</i> Auf dem Bett extendierte Beine; Keine spezifische Instruktion zur Vermeidung von simultaner, aktiver Muskelkontraktion.</p>

Fortsetzung Tabelle VI: NMES-Trainingsprotokolle

Studie	Gerät	Stromform	Stimulationsparameter
Dal Corso	tragbarer, Vierkanal-NME Stimulator (Dualpex 961™, Quark, Brazil) mit 2 selbstklebenden Oberflächenelektroden	?	<p><i>Frequenz:</i> 50Hz (konstant) <i>Pulsbreite:</i> 400µs (konstant) <i>Stromstärke:</i> 10 - 25 mA → individuell bis zur sichtbaren Kontraktion Steigerung: ~5mA wöchentlich (gemäss Toleranz) <i>Tastverhältnis (on-off Zeit):</i> Wo 1: 2s on, 10s off (16%) für 15min/Bein Wo 2: 5s on, 25s off (16%) für 30min/Bein Wo 3-4: 10s on, 30s off (25%) für 1h/Bein <i>Behandlungsumfang:</i> 5x/Wo für 6 Wo (total: 30 Sessionen) <i>ASTE:</i> Applikation am M. quadriceps femoris; Patient in sitzender Position mit einer Knieflexion zwischen 150° und 160°; Explizite Instruktion keine aktiven, willkürlichen Kontraktionen während der Stimulation zu unternehmen.</p>

ASTE= Ausgangsstellung; Wo= Wochen; *= durchschnittlicher Wert; ?= keine Angabe im Text der Studie.