

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/228117518>

Kraftgewinne durch Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen

Article in *Zeitschrift für Sportpsychologie* · January 2005

CITATIONS
12

READS
1,861

1 author:



[Mathias Reiser](#)

Justus-Liebig-Universität Gießen

44 PUBLICATIONS 386 CITATIONS

SEE PROFILE

Kraftgewinne durch Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen

Mathias Reiser

Universität Gießen

Zusammenfassung. In der vorliegenden Trainingsstudie wurde der Effekt imaginierter Muskelkontraktionen (IMC-Training) auf die isometrische Maximalkraft (MVC) untersucht. In der Literatur finden sich hierzu teils widersprüchliche Befunde (Herbert, Dean & Gandevia, 1998; Yue & Cole, 1992). Im Rahmen eines vierwöchigen kontrollierten Trainingsprogramms trainierten Versuchspersonen ($N = 34$) die Kraftübung Bankdrücken entweder physisch (Gruppe „MaxKraft“, $n = 12$), d.h. mit maximalen isometrischen Kontraktionen oder indem sie die entsprechenden Kontraktionen so lebhaft als möglich imaginierten (Gruppe „Mental“, $n = 11$). Die Kontrollgruppe ($n = 11$) hatte kein Training. Vor, während (nach 7 bzw. 14 Tagen) und am Ende der Trainingsphase wurde die Relativkraft (MVC relativiert am Körpergewicht) erfasst. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe verzeichnet die mental übende Gruppe einen signifikanten Kraftgewinn (5.7%; $p < .001$). Der stärkste Vorstellungseffekt findet sich dabei zu Beginn der Trainingsphase ($\eta^2 = .58$). Der Kraftanstieg in Folge eines IMC-Trainings wird als Verbesserung der muskulären Aktivierung und somit als Anpassung der zentralen Programmierung interpretiert. Die Kraftgewinne der physisch übenden Gruppe (14.1%) werden allerdings nicht erreicht.
Schlüsselwörter: Bewegungsvorstellung, mentales Training, kinästhetisch, isometrische Maximalkraft, Krafttraining, muskuläre Aktivierung

Strength gains by motor imagery of maximal muscle contractions

Abstract. The purpose of this training study was to determine the effect of imagined muscle contraction training (IMC training) on maximal voluntary contraction force (MVC). Concerning this issue, conflicting findings have been reported (Herbert, Dean & Gandevia, 1998; Yue & Cole, 1992). Within a supervised four-week training program, subjects ($N = 34$) exercised bilateral bench pressing either by performing maximal isometric contractions (*contraction group*, $n = 12$) or by vividly imagining maximal isometric contractions (*mental training group*, $n = 11$). Subjects in the *control group* ($n = 11$) did not practice. Relative strength (MVC relative to body weight) was measured before, during (after 7 and 14 days), and at the end of the training period. In contrast to the control group, the mental training group significantly increased relative strength (5.7%; $p < .001$). The strongest imagery effect ($\eta^2 = .58$) was found after the first week. Strength increases were interpreted as enhancement of the neuromuscular activation and therefore as being caused centrally. Strength gains from IMC training do not lead to the same improvements as physical practice (14.1%).

Key words: motor imagery, mental training, isometric strength, training, voluntary activation, skeletal muscle

Mentales Training und Maximalkraft

Innerhalb der (sport)psychologischen Literatur werden bewegungsbezogene Vorstellungen vor allem im Kontext des mentalen Trainings (MT) thematisiert. Die in großer Anzahl vorliegenden Untersuchungen zu Effekten von MT beziehen sich dabei zumeist auf das Lernen bzw. Optimieren von Bewegungsfertigkeiten. Als ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeiten wird in Übersichtsbeiträgen (Driskell, Copper &

Moran, 1994; Feltz & Landers, 1983; Schlicht, 1992) herausgestellt, dass systematische Bewegungsvorstellungen vor allem dann zu Leistungsverbesserungen führen, wenn mit der untersuchten Aufgabe hohe kognitive Anforderungen verbunden sind. Dagegen sind entsprechende Effekte bei als „motorisch“ charakterisierten Aufgaben (z. B. Balancieren oder Zielwerfen) deutlich geringer oder nicht nachweisbar.

Vor diesem Hintergrund erstaunen Befunde, die starke MT-Effekte bei Maximalkraftaufgaben berichten. Yue und Cole (1992) finden, dass das Vorstellen maximaler Muskelkontraktionen (IMC-Training, imagined maximum contraction) zu einer vergleichbaren Verbesserung der isometrischen Maximalkraft

Der Autor dankt Marc Heimann (Gießen) für die Unterstützung bei der Datenaufnahme und Dirk Büsch (Universität Bremen) sowie zwei anonymen Gutachtern für hilfreiche Anregungen und Kommentare.

führt wie ein tatsächlich durchgeführtes Krafttraining (22.0% bzw. 29.8%). Für die an der Abduktion des kleinen Fingers beteiligte Muskulatur können sie zeigen, dass ein vierwöchiges IMC-Training verglichen mit einer Kontrollgruppe (3.7%) zu einem signifikanten Kraftanstieg führt. Smith, Collins und Holms (2003) berichten ebenfalls, dass durch ein reines Vorstellungstraining die Abduktionskraft des m. abductor digiti signifikant gesteigert wird (23.3%). Ranganathan, Siemionow, Liu, Sahgal und Yue (2004) können diesen Effekt mit einer größeren Muskelgruppe (Ellbogenbeuger) replizieren. Allerdings sind die Zugewinne (13.5%) hier geringer als bei der Fingerabduktion. Zijdewind, Toering, Bessem, van der Laan und Diercks (2003) finden einen signifikanten IMC-Trainingseffekt bei der Plantarflexion des Sprunggelenks. Ihre Vorstellungsguppe erzielt eine Zunahme des maximalen Drehmoments um ca. 20%.

Ranganathan, Kuykendall, Siemionow und Yue (2002) zeigen, dass die Größe des IMC-Effektes von der gewählten Vorstellungsperspektive und der hierbei bevorzugten Modalität beeinflusst wird. Kinästhetisch akzentuierte Vorstellungen von Muskelkontraktionen aus der Ersten-Person-Perspektive führen demnach zu höheren Zugewinnen als visuelle Vorstellungen aus der Dritte-Person-Perspektive. Dass der IMC-Effekt an spezifische Vorstellungsinhalte gebunden ist, zeigt auch eine zweite experimentelle Variation, die sie einführen. So erreichen Vpn die aufgefordert waren, sich zu physischen Ausführungen geringer Intensität zeitgleich maximale Muskelkontraktionen vorzustellen, beträchtliche Kraftzugewinne (> 20%), wohingegen entsprechende physische Ausführungen alleine keinen leistungssteigernden Effekt haben. Zijdewind et al. (2003) können diesen Befund replizieren.

Wie sind diese Kraftsteigerungen zu erklären? Hinsichtlich der Frage, wie ein MT motorischer Fertigkeiten Wirkung entfaltet, wird häufig auf einen Beitrag von Heuer (1985) verwiesen, der mit der kognitiven und der Programmierungshypothese zwei spezifische Annahmen diskutiert. Die Unterscheidung beruht auf dem Konzept multimodaler Bewegungsrepräsentationen. Die kognitive Hypothese erklärt die Wirkung von MT dadurch, dass räumlich-bildhafte bzw. symbolische Repräsentationskomponenten verbessert werden. Diese „kognitiven“ Repräsentationen beinhalten raum-zeitliche Verlaufsmkmale der Bewegung bzw. sprachliche Kodierungen. Wiederholte (visuelle) Bewegungsvorstellungen können allerdings nur dann zu einer Verbesserung der Leistung führen, wenn die zur Ausführung letztlich notwendigen motorischen Kommandos unmittelbar abzuleiten sind, die entsprechenden Transformationsregeln also bereits gelernt wurden. Für serielle Aufgaben beispielsweise, die eine spezifische Abfolge (bereits beherrschter)

Bewegungselemente verlangen, ist diese kognitive Erklärung eingängig.

Die Programmierungshypothese bezieht sich dagegen auf die Verbesserung ausführungsnaher Repräsentationen, welche die raum-zeitlichen Muster der efferenten Kommandos (motorische Komponente) bzw. die mit einer Bewegung verbundenen sensorischen Konsequenzen (kinästhetische Komponente) beinhalten. Sie geht davon aus, dass Bewegungsvorstellungen tatsächlich ausgeführten Bewegungen äquivalent sind (vgl. auch Jeannerod, 2001). Mit jeder Vorstellung einer Bewegung soll entsprechend deren zentrale Programmierung verbunden sein, wobei – genau wie bei physischen Ausführungen – auch mentale Ausführungen bis auf die Ebene der Spezifizierung einzelner Parameter vorbereitet werden. Der Unterschied besteht allein darin, dass die entsprechenden Efferenzen beim mentalen Ausführen mehr oder weniger vollständig gehemmt werden.

Bei den hier betrachteten Maximalkraftaufgaben sollten über bildhaft-räumliche bzw. symbolische Repräsentationen kaum Verbesserungen möglich sein, da die erforderlichen Bewegungsmuster bzw. Körperhaltungen einfach sind und zumeist auf Antrieb ausgeführt bzw. eingenommen werden können. Zieht man in Betracht, dass die Maximalkraft – neben muskulären Faktoren – wesentlich von der Höhe der willkürlichen neuromuskulären Aktivierung und somit von zentralnervösen Prozessen bestimmt ist (Güllich & Schmidtbleicher, 1999), ist es dagegen plausibel anzunehmen, dass über die Verbesserung der motorischen Repräsentation – die direkt auf die Muskelaktivierung bezogenen ist – Kraftgewinne erzielt werden können. IMC-Effekte auf die Maximalkraft wären somit als Optimierung der zentralen motorischen Programmierung zu verstehen.

Belege dafür, dass die Imagination einer Bewegung motorische Prozesse aufruft, sind seit langem bekannt. Bereits Jacobson (1931) beobachtete im Elektromyogramm eine (abgeschwächte) Aktivierung der entsprechenden Muskulatur. Allerdings ist diese periphere Begleiterscheinung nicht als ursächlich für Leistungsverbesserungen durch ein mentales Training zu betrachten. Vorstellungseffekte finden sich auch dann, wenn mit der mentalen Ausführung keinerlei EMG-Aktivität verbunden ist (Yue & Cole, 1992). Die verschiedentlich vorgebrachte Erklärung, demnach durch die (schwache) Muskelaktivierung kinästhetische Rückmeldungen induziert werden, die zur Anpassung der motorischen Programmierung genutzt werden können, erscheint daher wenig überzeugend.

Eine neuere Untersuchung liefert Evidenz für die Annahme, dass mit dem IMC-Training tatsächlich die für ein verbessertes Innervationsverhalten spezifischen zentralen Prozesse angestoßen werden. Ranga-

nathan et al. (2002) finden nach einem IMC-Training Anstiege des EEG-Signals über dem supplementär motorischen Areal und dem kontralateralen somatosensorischen Areal. Die erhöhte zentralnervöse Aktivierung wird von ihnen als ursächlich für die beobachteten Kraftgewinne verstanden.

Den Befunden von Yue und Kollegen stehen allerdings Ergebnisse einer Untersuchung von Herbert, Dean und Gandevia (1998) entgegen, die keinen IMC-Effekt auf die Maximalkraft finden. Ihre mental trainierende Gruppe hat bei einem achtwöchigen isometrischen Training der Ellbogenbeuger einen vergleichsweise geringen Kraftzuwachs (6.8%), der sich nicht bedeutsam von dem der nicht trainierenden Kontrollgruppe (6.5%) unterscheidet und signifikant kleiner ist als der Zuwachs der aktiv übenden Gruppe (17.8%). Insbesondere finden sie aber keine Hinweise für die Erwartung, dass nach einem IMC-Training, die willentliche neuromuskuläre Aktivierung zunimmt. Allerdings war bei ihren Versuchspersonen diese Fähigkeit bereits vor Beginn des Trainings sehr gut ausgeprägt.

Die Untersuchungen von Yue und Cole (1992) und Herbert, Dean und Gandevia (1998) haben die methodische Gemeinsamkeit, dass Maximalkraftveränderungen lediglich über zwei Messzeitpunkte erfasst wurden. Da der Zeitraum zwischen den Messzeitpunkten relativ groß ist, sind Aussagen über kurzfristige Leistungsentwicklungen nicht möglich. Kraftzugewinne beruhen in aller Regel aber auf mehreren, sich in ihrer Wirkung überlagernden Mechanismen, die teils unterschiedliche zeitliche Dynamiken aufweisen.

Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den zeitlichen Verlauf von Kraftzuwachsen durch ein IMC-Training genauer zu analysieren und somit eine bessere Interpretation „früher“ Trainingseffekte zu ermöglichen. Im Hinblick auf die mit einem (Maximal) Krafttraining verbundenen Adaptationen wird davon ausgegangen, dass Kraftzugewinne in frühen Trainingsstadien primär aus neuronalen Anpassungen resultieren (Sale, 1992), wodurch das aktuell vorhandene Muskelpotenzial besser ausgeschöpft wird. Wenn auch die Wirkebene nicht exakt lokalisiert werden kann, sollte das ausschließliche Üben der zentralen Prozesse (IMC-Training) vor allem zu Beginn eines Krafttrainings wirken. Bei einer physisch trainierenden Gruppe sollten frühe Kraftzuwächse zumindest teilweise auf ähnlichen zentralen Anpassungsprozessen beruhen, da Adaptationen auf muskulärer Ebene erst verzögert erfolgen.

Da das IMC-Training auf die Modifikation einer bestehenden (motorischen) Repräsentation und weniger auf das Erlernen eines neuen Bewegungsmusters abzielt, wurde eine Übung gewählt, zu der bei den

Versuchspersonen (allesamt Sportstudierende) bereits Bewegungserfahrungen vorlagen. Mit der Übung „Bankdrücken“ wurde dabei eine für sportliche Belange insofern praxisrelevante Übung untersucht, als an der Kraftentfaltung vergleichsweise große Muskelgruppen beteiligt sind.

Methode

Der zweifaktorielle Versuchsplan beinhaltet den dreifach gestuften Faktor „Trainingsform“ und einen vierfach gestuften Messwiederholungsfaktor. Die maximale willentliche Kontraktionskraft (MVC, maximum isometric voluntary contraction force) wurde in einem Vortest, nach 8 Tagen, nach 14 Tagen und am Ende des insgesamt vierwöchigen Trainingsprogramms überprüft. Das Training beinhaltete entweder maximale isometrische Muskelkontraktionen (Gruppe „MaxKraft“, $n = 12$) oder vorgestellte maximale isometrische Muskelkontraktionen (Gruppe „Mental“, $n = 11$). Um Testwiederholungseffekte zu kontrollieren, wurde darüber hinaus die Leistungsveränderung einer nicht trainierenden Kontrollgruppe ($n = 11$) erfasst. Die Versuchspersonen wurden den Gruppen randomisiert zugewiesen.

Als abhängige Variable wurde die Relativkraft, d. h. die am Körpergewicht relativierte Maximalkraft herangezogen. Das Maß empfiehlt sich, wenn die Kraftwerte unterschiedlich schwerer Vpn verglichen werden sollen (Zatsiorsky, 2000). Insbesondere bei großmotorischen Übungen (wie dem hier untersuchten Bankdrücken) können schwerere Vpn absolut betrachtet größere Maximalkraftgewinne erreichen als leichtere. Andererseits erreichen leichte Vpn bei vergleichbarem Trainingsstand höhere Relativkraftwerte als schwere (Zatsiorsky, 2000). Da aufgrund der randomisierten Zuordnung die Gruppen hinsichtlich des Körpergewichts leicht differieren, werden ergänzend auch die absoluten Maximalkraftwerte betrachtet.

Versuchspersonen

An der Untersuchung nahmen 34 Sportstudierende (8 weiblich, 26 männlich) im Alter von 20 bis 27 Jahren ($M = 23.9$, $SD = 1.8$ Jahre) teil. Daten zur Charakterisierung der Versuchsgruppen werden in Tabelle 1 aufgeführt. Es wurde sichergestellt, dass innerhalb der letzten drei Monate vor der Untersuchung kein Maximalkrafttraining der oberen Extremitäten absolviert wurde. Für den Zeitraum der Studie waren die Versuchspersonen aufgefordert, kein (zusätzliches) Krafttraining durchzuführen.

Bei keiner der Vpn wurden im Untersuchungszeitraum relevante Körpergewichtsänderungen festge-

stellt. Die beobachteten Zugewinne der Relativkraft spiegeln daher ausschließlich Maximalkraftänderungen wieder. Das MVC-Ausgangsniveau der Kontrollgruppe ist im Vergleich zu den beiden Trainingsgruppen etwas geringer, der Unterschied wird statistisch jedoch nicht bedeutsam ($F(2, 33) = .67, p = .52$).

Alle Versuchspersonen waren in der Lage, (kinästhetische) Vorstellungen von Bewegungshandlungen lebhaft und zuverlässig hervorzurufen. Diese Fähigkeit wurde mit dem Movement Imagery Questionnaire (Hall & Martin, 1997) überprüft. Als Einschlusskriterium wurde ein Mittelwert kleiner 3.0 festgelegt (1: Vorstellung fällt sehr leicht; 7: Vorstellung fällt sehr schwer).

Versuchsaufbau und Erfassung der Maximalkraft

Die Maximalkraft beim Bankdrücken wurde an einer Multipresse mit vertikaler Führung der Hantelstange erfasst, bei der über ein Zugsystem isometrische Arbeitsbedingungen realisiert wurden. Hierzu wurden zwei Stahlketten, die an den Enden der Hantelstange befestigt waren, über einen Karabiner zusammengeführt und mit einem Dehnmessstreifensystem (DMS; System DigiMax; Firma mechaTronic GmbH, Hamm) verbunden. Mit einem zweiten Karabiner war das DMS am Fuß des Rahmens der Multipresse fixiert, der als Widerlager diente. Zur Messung lagen die Probanden auf einer Langbank und umfassten die Hantel mit pronierten Unterarmen an markierten Stellen. Die Länge der Ketten konnte gliederweise verändert werden und wurde individuell so eingestellt, dass nach Aufnahme der Hantel Arm- und Ellbogenwinkel in der Arbeitsposition annähernd 90° betrug. Die Vpn waren bei allen Test- und Trainingsausführungen exakt gleich positioniert.

Vor jedem Test absolvierten die Vpn ein standardisiertes Aufwärmprogramm, das vier Serien Bankdrücken (dynamische Ausführungen) mit geringer

(2 × 8 Wiederholungen mit ca. 50 % MVC) bzw. hoher (2 × 3 Wiederholungen mit ca. 80 % MVC) Intensität beinhaltete. An jedem Testtermin waren drei jeweils fünfsekündige maximale Kontraktionen zu leisten. Zwischen den Versuchen hatten die Vpn drei Minuten Pause. Die Vpn waren instruiert, nach einem Startsignal die Kraft gleichmäßig und zügig zu steigern. Das Kraftmaximum sollte nach etwa zwei Sekunden erreicht sein und der Kraftabfall dann möglichst gering gehalten werden (siehe Abbildung 1). Diese Vorgabe konnte von allen Vpn bereits nach wenigen Übungsdurchgängen (4 bis 8 Kontraktionen) gut umgesetzt werden.

Die erfassten Kraftkurven wurden zunächst hinsichtlich der Verlaufscharakteristik durchgesehen. Kontraktionen, bei denen der geforderte Kraftverlauf nicht gegeben war, wurden ausgeschlossen (< 2%). Für die einbezogenen Kraftkurven wurde dann der Maximalwert innerhalb des Zeitintervalls 1.5 s bis 4.5 s bestimmt (vgl. Kroemer & Marras, 1980).

Bei dem verwendeten Messaufbau wird die Kraft, die notwendig ist, um allein die Gewichtskraft der Hantel (205 N) zu überwinden, nicht erfasst. Diese muss als Konstante zu den gemessenen Kraftwerten hinzu addiert werden. Als MVC-Wert eines Testzeitpunktes wird schließlich der höchste erreichte Kraftwert innerhalb von drei Messwiederholungen bestimmt. Dieser wird in den meisten Tests bereits beim ersten Versuch erzielt. Die drei Maximalkraftmessungen innerhalb eines Testzeitpunktes korrelieren sehr hoch miteinander (alle Cronbach's Alpha $\geq .997, n = 34$), was die hohe Reliabilität der Krafttestung belegt.

Physisches und IMC-Training

In zwei Vortrainingsseinheiten wurden die Vpn mit den Trainings- und Testabläufen vertraut gemacht. Beide Experimentalgruppen absolvierten pro Woche vier Einheiten. Die *MaxKraft*-Gruppe führte in jeder Einheit vier Serien mit zwei maximalen isometri-

Tabelle 1. Beschreibung der Versuchsgruppen. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern)

	Körpergewicht (kg)	Maximalkraft (N)	Relativkraft (N/kg)	Krafttrainingserfahrung (ja/nein)
MaxKraft (n = 12)	76.4 (12.2)	625.8 (200.5)	8.15 (2.03)	6/5
Mental (n = 11)	74.1 (10.3)	609.5 (137.8)	8.19 (1.87)	4/7
Kontroll (n = 11)	69.4 (11.2)	518.0 (169.2)	7.41 (1.45)	5/6

Anmerkung: Zur Charakterisierung der Kraftniveaus der Gruppen sind die Maximalkraft (MVC-Werte) und die Relativkraft des Vortests angegeben. Krafttrainingserfahrung: Vpn wurden der Kategorie „ja“ zugeordnet, wenn sie mindestens einmal über einen längeren Zeitraum (> 6 Wochen) ein Krafttraining mit hohen Lasten (> 70 % des Ein-Wiederholungs-Maximums) absolviert hatten; sie wurden der Kategorie „nein“ zugeordnet, wenn dies noch nicht der Fall war.

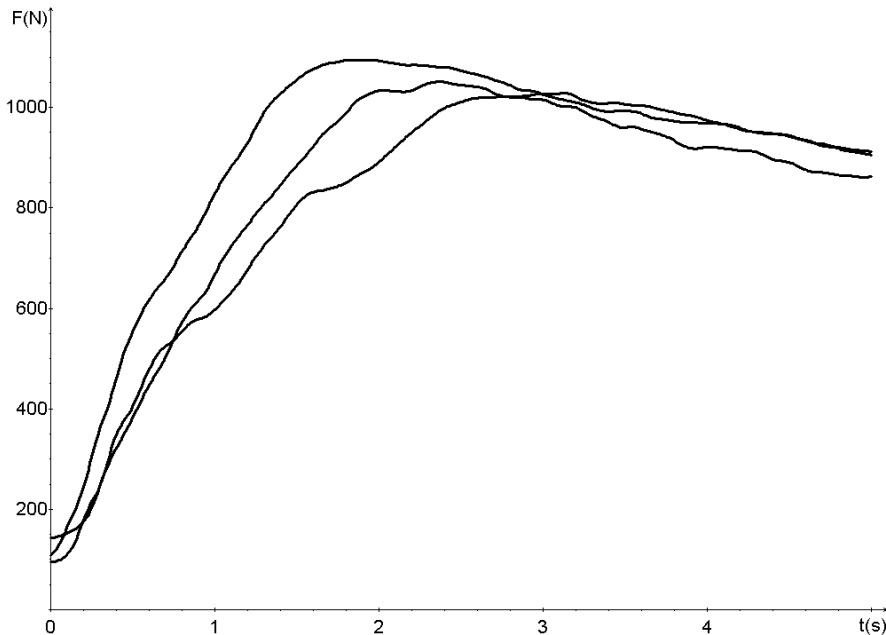


Abbildung 1. Kraft-Zeitverläufe von drei isometrischen Maximalkraftmessungen eines Testtermins

schen Kontraktionen von je fünf Sekunden Dauer aus. Die Pause zwischen den einzelnen Kontraktionen betrug zehn Sekunden und zwischen den Serien drei Minuten. Die Belastungsnormative orientierten sich an trainingsmethodischen Vorgaben zur Verbesserung der intra- und intermuskulären Koordination (Zatsiorsky, 2000). Zur Auslösung entsprechender neuronaler Anpassungen werden maximale Krafteinsätze gefordert.

Die *Mental*-Gruppe übte, indem sie die gleiche Anzahl von Muskelkontraktionen imaginierte. Die Versuchspersonen waren instruiert, sich diese aus der Innensicht (Erste-Person-Perspektive) so intensiv als möglich vorzustellen, ohne die Muskulatur tatsächlich anzuspannen und wurden auf das mit einer Muskelkontraktion verbundene Bewegungsgefühl fokussiert.

Die Bevorzugung kinästhetischer gegenüber visuellen Vorstellungen findet sich in nahezu allen Instruktionen zu IMC-Prozeduren. Dies lässt sich mit der engen Verbindung motorischer und kinästhetischer Repräsentation begründen, die erwarten lässt, dass kinästhetische Vorstellungen die angezielte zentrale Programmierung leichter und effizienter hervorrufen als etwa visuelle Vorstellungen, die weniger stark auf die Ausführungsebene bezogen sind. Befunde von Féry und Morizot (2000) und Féry (2003), die kinästhetische und visuelle Bewegungsvorstellungen bei verschiedenen Aufgabenanforderungen vergleichen, untermauern diese Annahme. Sie finden,

dass die kinästhetische Variante bei „motorischen“ Aufgaben effektiver ist.

Um den Aufbau der kinästhetischen Vorstellungen zu unterstützen, wurden Knotenpunkte verbalisiert und das IMC-Training ritualisiert. Zur Vorbereitung einer imaginierten Kontraktion sollten sich die Vpn auf die Anweisung „Position“ hin vorstellen, die Hantel anzuheben und die Ketten auf Zug zu bringen. „Go“ markierte dann den Beginn der Kontraktion. Mit „fünf, vier, drei, zwei, eins“ wurde die „Kontraktionszeit“ laut vom Versuchsleiter herunter gezählt. Während der Vorstellung konnten die Augen geschlossen werden.

Vor einer mentalen Ausführung nahmen die Vpn ebenfalls die Ausgangsposition ein und umfassten die (arretierte) Hantel. Vom Versuchsleiter wurde visuell kontrolliert, ob die Brust- bzw. die Armstreckmuskulatur während einer mentalen Ausführung entspannt blieb. Beim *m. pectoralis* wie auch beim *m. triceps brachii* sind bereits vergleichsweise geringe Anspannungen gut zu erkennen. In den wenigen Fällen, in denen eine Kontraktion sichtbar war, gab der Versuchsleiter einen Korrekturhinweis. Auf die genauere, aber sehr viel aufwendigere Kontrolle möglicher muskulärer Aktivierungen mittels EMG wurde verzichtet. Geringe Muskelaktivierungen während der Vorstellung können daher nicht vollständig ausgeschlossen werden. Zweierlei ist allerdings zu bedenken. Zum einen legt die Untersuchung von Yue und Cole (1992) nahe, dass Vpn entsprechende Vorstellungsinstruktionen gut umsetzen können. Trotz intensiver mentaler Anstrengung zeigte ihre vergleichbar instruierte Gruppe während der Vorstellung im EMG keine erhöhte Aktivität. Zum anderen ist für die hier interessierende Fragestellung nicht zwingend, auch geringste Muskelaktivierungen (background EMG) auszuschließen. Entscheidend und hinreichend ist, dass sich beim IMC-Training möglicherweise hervorgerufene Muskelaktivität in ihrem Ausmaß grundsätzlich von der beim physischen Training unterscheidet. Dies kann mit dem gewählten Vorgehen sichergestellt werden. Im Anschluss an jede Vorstellungsserie bewerteten die Probanden die Lebhaftigkeit ihrer Vorstellung auf einer fünfstufigen Skala.

Statistik

Zur Bestimmung des IMC-Effektes in Relation zur MaxKraft- bzw. zur Kontrollgruppe wurden zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung auf dem Übungsfaktor gerechnet. Für den Fall, dass die Homogenität der Varianz-Kovarianzmatrix nicht gegeben war, wurden die Freiheitsgrade entsprechend Greenhouse-Geisser korrigiert. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit $\alpha = .05$ festgelegt. Zur Prüfung von Kraftgewinnen wurden einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung gerechnet. Für eine genauere zeitliche Lokalisation von Treatmenteffekten innerhalb der Gruppen wurden die Messzeitpunkte kontrastiert (jeweils der vorangegangene gegen den nachfolgenden). Da hier Mehrfachtestungen vorlagen, wurde das Signifikanz-Niveau entsprechend der Anzahl der Tests adjustiert ($\alpha = .05/3 = .017$).

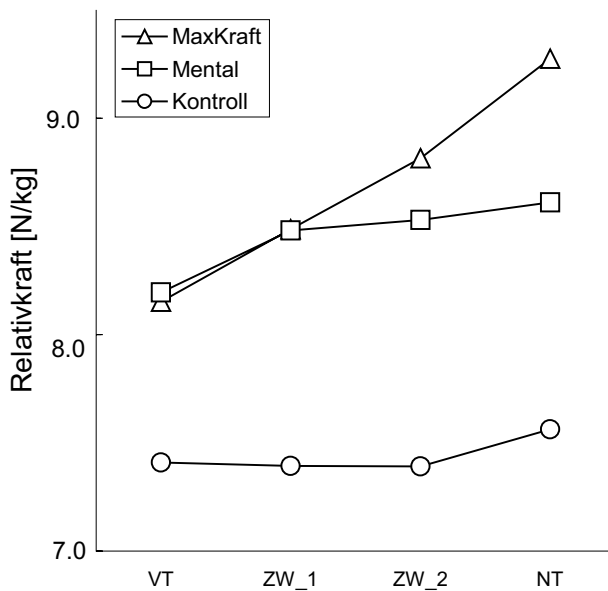


Abbildung 2a. Veränderungen der Relativkraft über die 4 Messzeitpunkte.

Ergebnisse

Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die MaxKraft-Gruppe den insgesamt größten Kraftgewinn erreicht (siehe auch Tabelle 2). Vom Vor- zum Nachtest steigert sie die Relativkraft um 14.1% ($\Delta F_R = 1.12$ N/kg). Dieser Zugewinn ist statistisch bedeutsam ($F(1.9, 20.7) = 18.36$, $p < .001$, $\eta^2 = .63$), wobei die Prüfung der Innersubjektkontraste zeigt, dass die Relativkraft von Testzeitpunkt zu Testzeitpunkt signifikant zunimmt (siehe Tabelle 3). Dagegen bleibt der mit $\Delta F_R = .15$ N/kg geringe Kraftgewinn der Kontrollgruppe (entspricht 2.3%) unbedeutend ($F(3, 30) = 1.67$, $p = .195$). Für die Maximalkraft (MVC-Werte) zeigt sich das gleiche Ergebnismuster.

Betrachtet man den gesamten Untersuchungszeitraum, so beträgt der Anstieg der Relativkraft der mental übenden Gruppe $\Delta F_R = .42$ N/kg. Dies entspricht

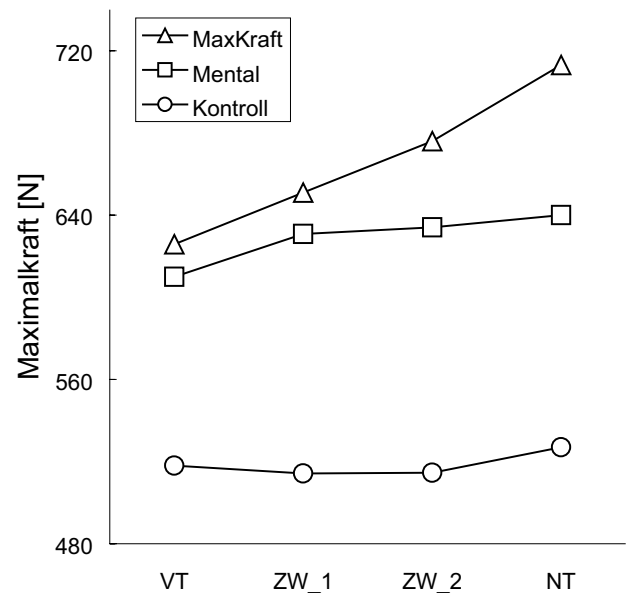


Abbildung 2b. Veränderungen der Maximalkraft über die 4 Messzeitpunkte.

Tabelle 2. Relativkraft (F_R) und Maximalkraftwerte (MVC) für alle Gruppen und Messzeitpunkte. Angegeben sind Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern)

		VT	ZW_1	ZW_2	NT
MaxKraft (n = 12)	MVC [N]	625.83 (200.56)	650.97 (209.66)	676.03 (219.37)	713.06 (239.41)
	F_R [N/kg]	8.15 (2.03)	8.49 (2.19)	8.82 (2.24)	9.28 (2.36)
Mental (n = 11)	MVC [N]	609.52 (137.76)	630.82 (133.21)	633.97 (127.28)	639.98 (125.89)
	F_R [N/kg]	8.19 (1.87)	8.48 (1.82)	8.53 (1.78)	8.61 (1.77)
Kontroll (n = 11)	MVC [N]	517.97 (169.25)	514.25 (155.97)	514.64 (158.32)	526.98 (164.21)
	F_R [N/kg]	7.41 (1.45)	7.39 (1.34)	7.39 (1.37)	7.56 (1.42)

einer Zunahme von 5.7%, die statistisch bedeutsam wird ($F(3, 30) = 10.36, p < .001$). Den größten Anteil der Kraftgewinne erreicht die *Mental*-Gruppe bereits zum ersten Zwischentest. Wie die entsprechenden Kontraste zeigen (Tabelle 3), wird nur der Vergleich von Vortest und erstem Zwischentest signifikant. Der für diesen frühen Trainingsabschnitt beobachtete Zugewinn ist dabei annähernd so groß wie derjenige der *MaxKraft*-Gruppe. Legt man die Klassifikation von Bortz und Döring (1995) zugrunde, ist dieser IMC-Effekt mit $\eta^2 = .58$ als stark einzustufen. Der IMC-Effekt bleibt auch unter Berücksichtigung möglicher Testwiederholungseffekte erhalten. Bezieht man die Leistungsveränderungen der *Kontrollgruppe* in die statistische Analyse ein, erhält man eine signifikante Interaktion Gruppe \times Zeit ($F(3, 60) = 3.36, p = .025$), mit der die spezifische Wirkung des mentalen Trainings belegt wird. Bei Kontrastierung der Messzeitpunkte der Interaktion wird wiederum nur der Ver-

gleich von Vortest und erstem Zwischentest signifikant (Tabelle 4).

Für die Maximalkraft (MVC-Werte) zeigt sich das Ergebnismuster noch etwas deutlicher. Bezieht man in die entsprechende 2×4 -Varianzanalyse zur Eliminierung körperrgewichtbedingter Effekte das Körpergewicht als Kovariate ein, erhält man eine signifikante Interaktion Gruppe \times Messzeitpunkt ($F(3, 57) = 5.99, p = .001, \eta^2 = .24$), wobei wiederum nur der Kontrast Vortest gegen ersten Zwischentest signifikant wird (Tabelle 4).

Mit zunehmender Trainingsdauer bleiben die Zugewinne der *Mental*-Gruppe aber deutlich hinter denen der *MaxKraft*-Gruppe zurück. Dies drückt sich in einer signifikanten Interaktion Gruppe \times Messzeitpunkt sowohl für die Relativkraft ($F(3, 63) = 6.36, p = .004$) als auch für die Maximalkraft ($F(3, 60) = 6.73, p = .001$) aus. Die Kontrastierung der Messzeit-

Tabelle 3. Innersubjekt Kontraste der einfaktoriellen Varianzanalysen für die beiden Experimentalgruppen und die Kontrollgruppe mit der abhängigen Variable Relativkraft

	Kontrast	ΔF_R [N/kg]	F	$p_{(eins.)}$	η^2	power
MaxKraft	VT < ZW_1	.335	6.28	.015	.363	.627
	ZW_1 < ZW_2	.329	7.90	.009	.418	.726
	ZW_2 < NT	.460	16.20	.001	.596	.955
Mental	VT < ZW_1	.284	13.64	.002	.577	.913
	ZW_1 < ZW_2	.050	.38	.276	.037	.087
	ZW_2 < NT	.082	1.27	.143	.113	.175
Kontroll	VT < ZW_1	-.016	.02	.443	.002	.052
	ZW_1 < ZW_2	.002	.00	.491	.000	.050
	ZW_2 < NT	.173	4.99	.025	.333	.524

Anmerkung: Angegeben sind die Veränderungen der Relativkraft von Testzeitpunkt zu Testzeitpunkt (ΔF_R), F -Werte, berechnete Irrtumswahrscheinlichkeit (p), Effektstärke (η^2) und Teststärke (power). Die Alternativhypothesen wurden gerichtet formuliert (trainingsbedingte Zunahme der Relativkraft), weshalb jeweils einseitig geprüft wurde. Da Mehrfachtestungen vorliegen, wurde das Signifikanzniveau entsprechend der Anzahl der Tests adjustiert ($\alpha = .05/3 = .017$).

Tabelle 4. Innersubjekt Kontraste der zweifaktoriellen Kovarianzanalysen mit der abhängigen Variable Maximalkraft

Interaktion	Kontrast	ΔMVC [N]	F	p	η^2	power
Mental vs. Kontroll x MZP	VT < ZW_1	24.6	10.23	.005	.350	.858
	ZW_1 < ZW_2	2.8	.18	.678	.009	.069
	ZW_2 < NT	-6.3	1.12	.304	.055	.171
MaxKraft vs. Mental x MZP	VT < ZW_1	4.2	.11	.744	.005	.061
	ZW_1 < ZW_2	21.9	3.86	.064	.162	.464
	ZW_2 < NT	31.0	7.69	.012	.278	.751

Anmerkung: Angegeben sind die Kenngrößen für die Interaktion Gruppe \times Messzeitpunkt (MZP). Unterschiede im Maximalkraftzugewinn der beiden Gruppen von Testzeitpunkt zu Testzeitpunkt (ΔMVC), F -Werte, berechnete Irrtumswahrscheinlichkeit (p), Effektstärke (η^2) und Teststärke (power). Das Signifikanzniveau wurde entsprechend der Anzahl der Tests adjustiert ($\alpha = .05/3 = .017$).

punkte belegt diesen „späten“ Effekt, denn nur der Vergleich der beiden letzten Messzeitpunkte wird signifikant (Tabelle 4).

Diskussion und Schlussfolgerung

Ziel der vierwöchigen Trainingsstudie war es, zu überprüfen, ob durch das Vorstellen maximaler Muskelkontraktionen die isometrische Maximalkraft bei der Übung Bankdrücken gesteigert werden kann. Es zeigt sich ein signifikanter und starker IMC-Effekt nach der ersten Trainingswoche, der in der Größenordnung dem der physisch trainierenden Gruppe entspricht. Während die physisch trainierende Gruppe die Maximalkraft von Testzeitpunkt zu Testzeitpunkt weiter steigert, werden mittels IMC-Training in der Folge nur noch geringfügige Leistungsverbesserungen erzielt. Verglichen mit den Vorstellunggruppen von Yue und Cole (1992), Zijdewind et al. (2003) bzw. Ranganathan et al. (2004), sind die Zugewinne der *Mental*-Gruppe mit insgesamt 5.7% geringer. Wie anhand der Kontrollgruppe deutlich wird, führt das wiederholte Testen allein nicht zu relevanten Kraftzuwachsen. Dies belegt, dass die Vpn bereits beim Vortest gut mit der Testsituation vertraut waren und der beobachtete IMC-Effekt auf das spezifische Treatment zurück zu führen ist.

Im Hinblick auf die zeitliche Charakteristik der Kraftgewinne der *Mental*-Gruppe zeigt sich der für neuronale Anpassungen typische Verlauf. In diesem Zusammenhang ist der Befund von Zijdewind et al. (2003) etwas überraschend, die einen signifikanten Kraftzuwachs erst nach fünfwöchigem IMC-Training, nach der ersten bzw. dritten Woche jedoch keine Zugewinne finden.

Herbert et al. (1998) finden nach einem achtwöchigen mentalen Trainingsprogramm keinen signifikanten Kraftzuwachs gegenüber einer Kontrollgruppe. Dies ist möglicherweise darin begründet, dass in ihrer über ein Tonband eingespielten Instruktion unklar bleibt, was genau die Versuchspersonen imaginieren sollten („Get ready to imagine producing a maximal contraction“). Anders als in den Studien, die IMC-Effekte finden, wurden ihre Versuchspersonen nicht explizit auf die Erste-Person-Perspektive und kinästhetische Vorstellungsinhalte fokussiert. Wie Ranganathan et al. (2002) zeigen, bleibt ein IMC-Training aus der Dritte-Person-Perspektive jedoch wirkungslos. Der vergleichsweise hohe Kraftgewinn der Kontrollgruppe (immerhin 6.5%) in der Untersuchung von Herbert et al. (1998) deutet darauf hin, dass die Vpn zum Vortest noch nicht vollständig mit den Testmodalitäten vertraut waren und ein entsprechender Anteil der Kraftgewinne unspezifischer Art ist.

Trainingsinduzierte Anpassungen der neuronalen Ansteuerung der Muskulatur können auf unterschiedlichen Kontrollebenen zu einer größeren Kraftentfaltung führen. Verbesserungen der intramuskulären Koordination sind über die vermehrte Rekrutierung von alpha-Motoneuronen, deren verbesserte Synchronisation sowie die Erhöhung der Impulsfolge (Frequenzierung) zu erzielen. Die Reduktion der Aktivität antagonistisch arbeitender Muskeln (Enoka, 1997; Sale, 1992) und die Verringerung bilateraler Kraftdefizite (bei bilateralen Hebungen) sind Folge des verbesserten Zusammenspiels zwischen Muskeln bzw. Muskelgruppen und führen ebenfalls zu Kraftgewinnen (Sale, 1992). Auf welcher dieser Ebenen die für den IMC-Effekt wesentlichen Anpassungen stattfinden, kann mit der vorliegenden Studie nicht geklärt werden.

Evidenz für im engeren Sinne motorische Wirkmechanismen liefern neurophysiologische Studien, die die Hirnaktivität bei Bewegungsvorstellungen abbilden (im Überblick etwa Crammond, 1997; Jeanerod, 1994, 2001). Mittels funktioneller Kernspintomographie kann gezeigt werden, dass die während der Vorstellung aktivierten Areale in weiten Bereichen mit denen beim tatsächlichen Ausführen überlappen (Lotze et al., 1999; Porro et al., 1996). Das dabei aktivierte neuronale Netzwerk beinhaltet mit dem primären motorischen Cortex (M1) auch ausführungsnahere Areale (vgl. Schnitzler, Salenius, Salmelin, Jousmäki & Hari, 1997). Li, Latash und Zatsiorsky (2004) zeigen mittels transkranieller Magnetstimulation (TMS), dass die kortikospinale Erregbarkeit während der Vorstellung maximaler Muskelkontraktionen zunimmt. Bei Stimulation über der kontralateralen M1 Handregion finden sie im Vergleich zu einer Ruhebedingung eine Zunahme der TMS-induzierten Fingerkraft während der Imagination.

Die funktionelle Bedeutung entsprechender Hirnaktivitäten im Hinblick auf ein Krafttraining kommt darin zum Ausdruck, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Größe der erzeugten Kraft und der Höhe der Aktivität in den motorischen Arealen besteht (Dai, Liu, Sahgal, Brown & Yue, 2001). Entsprechende Korrelationen werden auch mittels EEG abgeleiteter Hirnpotentiale nachgewiesen (Romero, Lacourse, Lawrence, Schandler & Cohen, 2000; Siemionow, Yue, Ranganathan, Liu & Sahgal, 2000). Diese neurophysiologischen Signale werden als neuronales Korrelat motorischer Kommandos verstanden, welche die Höhe der muskulären Aktivierung festlegen.

Die Steigerung der Maximalkraft ohne physisches Training ist kein unbekanntes Phänomen: Beim unilateralen Krafttraining werden entsprechende Verbesserungen als kontralateraler Transfer bzw. Crossing-

Effekt beschrieben. In diesem Fall „profitiert“ die nicht trainierte Extremitätenseite vom Training der anderen Seite. Die Kraftgewinne (der nicht trainierten Seite) werden ebenfalls als zentrale Anpassung verstanden und zwar dahingehend, dass die (für beide Extremitäten) zugrunde liegende motorische Programmierung modifiziert und damit die neuromuskuläre Aktivierung verbessert wird (Shima, Ishida, Morotome, Sato & Miyamura, 2002).

Wie aber ist das Ausbleiben weiterer Kraftgewinne der *Mental*-Gruppe vor dem Hintergrund der Zugewinne der *MaxKraft*-Gruppe zu verstehen? Oder anders gefragt: Auf welchen Anpassungen basieren die (zusätzlichen) Kraftgewinne der physisch trainierenden Gruppe? Geht man davon aus, dass frühe Kraftgewinne, d.h. Verbesserungen innerhalb der ersten drei bis vier Wochen im Wesentlichen auf neuronalen Anpassungen beruhen (Akima et al., 1999; Chilibeck, Calder, Sale & Webber, 1998; Enoka, 1997; Sale, 1992), dann ist zu schließen, dass durch IMC-Training solche Anpassungen nur teilweise ausgelöst werden. Eine Ursache hierfür könnte der fehlende propriozeptive Zustrom sein. Gestützt wird diese Annahme durch eine Untersuchung von Gandevia, Wilson, Inglis und Burke (1997), die zeigt, dass bei der Imagination motorischer Aufgaben das fusimotorische System nicht selektiv aktiviert wird. Möglicherweise trägt die Verarbeitung sensorischer Rückinformation zusätzlich zur Verbesserung der als intramuskuläre Koordination (vermehrte Rekrutierung, Frequenzierung, Synchronisation von Motoneuronen) bezeichneten Anpassungen bei.

Eine andere Ursache für geringere neuronale Anpassungen durch ein IMC-Training könnte darin liegen, dass Anpassungen im Sinne von Bahnungen an den synaptischen Übergängen den wiederholten konkreten Krafteinsatz voraussetzen. Es ist daher nicht auszuschließen, dass durch ein tatsächlich ausgeführtes Krafttraining mit entsprechend hohen Lasten tiefgreifendere Anpassungen der neuromuskulären Aktivierung erreicht werden.

Die durch systematisches Krafttraining an den Muskelfasern zu erzielenden morphologischen und metabolischen Veränderungen sind vielfältiger Natur (Saltin & Gollnick, 1983). Ziel der in der Praxis angewandten Krafttrainingsmethoden ist es, durch Vorgabe bestimmter Belastungskonfigurationen die Ausbildung gewünschter Anpassungen (z.B. Hypertrophie, gesteigerte Enzymaktivität, vermehrte Kapillarisierung) akzentuiert herbei zu führen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999). Überwiegend wird dabei die Auffassung vertreten, dass Adaptationen auf muskulärer Ebene erst in späteren Trainingsphasen (nach sechs bis sieben Wochen) zur Kraftsteigerung beitragen. Diese Angabe bezieht sich in aller Regel auf den

Zeitraum, der notwendig ist, bis ein messbarer Zuwachs an Muskelfaserhypertrophie nachgewiesen werden kann. Neuere Studien implizieren jedoch, dass muskuläre Adaptationen schon deutlich früher Wirkung entfalten können (Phillips, 2000). So wird bereits nach einer einzelnen Krafttrainingseinheit eine gesteigerte Muskelproteinsynthese in der Nachbelastungsphase beobachtet, aus der (zumindest theoretisch) Kraftgewinne resultieren können. Wenn auch noch nicht genau geklärt ist, wie lange es dauert, bis neu gebildete myofibrillare Proteine zur Kraftentfaltung beitragen können, so verdichten sich die Hinweise darauf, dass frühe Kraftgewinne nicht ausschließlich neuronaler Natur sind. Vor diesem Hintergrund ist es durchaus plausibel, dass zumindest ein kleiner Teil der Kraftgewinne der physisch übenden Gruppe auf muskulären Anpassungen beruht.

Der beschriebene Vorstellungseffekt belegt, dass auch ohne die mit einem entsprechenden physischen Training verbundenen Muskelkontraktionen signifikante und praktisch bedeutsame Kraftsteigerungen erzielt werden können. Allerdings ist das Kraftpotenzial, das mit einem IMC-Training erschlossen werden kann, verglichen mit einem entsprechenden physischen Training geringer und bereits nach relativ wenigen Trainingseinheiten erschöpft. Diese (frühen) Zugewinne an Maximalkraft werden als Optimierung der muskulären Aktivierung und somit als Anpassung der zentralen motorischen Programmierung verstanden.

Die Entwicklung und Implementierung von IMC-Trainingsprozeduren erscheint aus (leistungs-)sportlicher, aber auch aus sporttherapeutischer Perspektive sinnvoll und vielversprechend. Zur Steigerung der maximalen willkürlichen Muskelaktivierung wird im Krafttraining mit hohen bis maximalen Lasten gearbeitet. Unter dem Präventionsaspekt ist es vorteilhaft, wenn entsprechende Kraftgewinne auch ohne die damit verbundene hohe Beanspruchung des Bewegungsapparates erzielt werden können. In der Rehabilitation orthopädischer (z.B. Gelenkimmobilisation) wie auch neurologischer (z.B. Schlaganfall) Problematiken ist es eine häufige Zielstellung, den Verlust von Muskelkraft gering zu halten bzw. diese wieder zu erlangen. Da mit Patienten ein physisches Krafttraining in aller Regel nur eingeschränkt durchgeführt werden kann, stellt das IMC-Training hier eine interessante Methode dar, diese Einschränkung zumindest teilweise zu kompensieren. Dabei ist zu bedenken, dass Kraftverluste als Folge muskulärer Inaktivität in den ersten zwei Wochen nach einer Ruhigstellung hauptsächlich aus der verringerten Fähigkeit des neuronalen Systems resultieren, die betroffenen Muskelfasern entsprechend zu aktivieren und weniger durch die Atrophie der Muskulatur verursacht werden (Deschenes, Giles, McCoy, Volek, Gomez & Krae-

mer, 2002). Ergebnisse eines Kontrollexperiments von Newsom, Knight und Balnave (2003) machen deutlich, dass der mit einer kurz andauernden (10 Tage) Immobilisation des Unterarms verbundene Kraftverlust durch ein entsprechendes Vorstellungstraining (IMC-Training) verringert werden kann.

Literatur

- Akima, H., Takahashi, H., Kuno, S. Y., Masuda, K., Masuda, T., Shimojo, H., Anno, I., Itai, Y. & Katsuta, S. (1999). Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 588–594.
- Bortz, J. & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer.
- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G. & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77, 170–175.
- Crammond, D. J. (1997). Motor imagery: never in your wildest dream. *Trends in Neuroscience*, 20, 54–57.
- Dai, T. H., Liu, J. Z., Sahgal, V., Brown, R. W. & Yue, G. H. (2001). Relationship between muscle output and functional MRI-measured brain activation. *Experimental Brain Research*, 140, 290–300.
- Deschenes, M. R., Giles, J. A., McCoy, R. W., Volek, J. S., Gomez, A. L. & Kraemer, W. J. (2002). Neural factors account for strength decrements observed after short-term muscle unloading. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 282, R578–R583.
- Driskell, J. E., Copper, C. & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*, 79, 481–492.
- Enoka, R. M. (1997). Neural adaptations with chronic physical activity. *Journal of Biomechanics*, 30, 447–455.
- Feltz, D. L. & Landers, D. M. (1983). The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *Journal of Sportpsychology*, 5, 25–57.
- Féry, Y.-A. (2003). Differentiating visual and kinesthetic imagery in mental practice. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 57, 1–10.
- Féry, Y.-A. & Morizot, P. (2000). Kinesthetic and visual image in modeling closed motor skills: the example of the tennis serve. *Perceptual and Motor Skills*, 90, 707–722.
- Gandevia, S., Wilson, L. R., Inglis, J. T. & Burke, D. (1997). Mental rehearsal of motor tasks recruits alpha-motoneurons but fails to recruit human fusimotor neurons selectively. *Journal of Physiology*, 505, 259–266.
- Güllich, A. & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Kraftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50, 223–234.
- Hall, C. R. & Martin, K. E. (1997). Measuring movement imagery abilities: a revision of the Movement Imagery Questionnaire. *Journal of Mental Imagery*, 21, 143–154.
- Herbert, D., Dean, C. & Gandevia, S. C. (1998). Effects of real and imagined training on voluntary muscle activation during maximal isometric contractions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163, 361–369.
- Heuer, H. (1985). Wie wirkt mentale Übung? *Psychologische Rundschau*, 36, 191–200.
- Jacobson, E. (1931). Electrical measurement of neuromuscular states during mental activities. *American Journal of Physiology*, 96, 115–121.
- Jeannerod, M. (1994). The representing brain: neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Science*, 17, 187–245.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14, 103–109.
- Kroemer, K. H. E. & Marras, W. S. (1980). Towards an objective assessment of the „maximal voluntary contraction“ component in routine muscle strength measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 45, 1–9.
- Li, S., Latash, M. L. & Zatsiorsky, V. M. (2004). Effects of motor imagery on finger force responses to transcranial magnetic stimulation. *Cognitive Brain Research*, 20, 273–280.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U., Birbaumer, N. & Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 491–501.
- Newsom, J., Knight, P. & Balnave, R. (2003). Use of mental imagery to limit strength loss after immobilization. *Journal of Sport Rehabilitation*, 12, 249–258.
- Phillips, S. M. (2000). When do repeated bouts of resistance exercise become training? *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25, 185–193.
- Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., Bazzocchi, M. & Prampero, P. E. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 16, 7688–7698.
- Ranganathan, V. K., Kuykendall, T., Siemionow, V. & Yue, G. H. (2002). Level of mental effort determines training-induced strength increases. *Society for Neuroscience, Abstracts*, 32, 768.3.
- Ranganathan, V. K., Siemionow, V., Liu, J. Z., Sahgal, V. & Yue, G. H. (2004). From mental power to muscle power – gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia*, 42, 944–956.
- Romero, D. H., Lacourse, M. G., Lawrence, K. R., Schandler, S. & Cohen, M. J. (2000). Event-related potentials as a function of movement parameter variations during motor imagery and isometric action. *Behavioural Brain Research*, 117, 83–96.
- Sale, D. G. (1992). Neural adaptations to strength training. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 248–265). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Saltin, B. & Gollnick, P. D. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In S. R. Geiger (Ed.), *Skeletal muscle. Handbook of physiology* (pp. 555–631). Bethesda, MD: American Physiological Society.
- Schlicht, W. (1992). Mentales Training: Lern- und Leistungsgewinne durch Imagination? *Sportpsychologie*, 6 (2), 24–29.
- Schnitzler, A., Salenius, S., Salmelin, R., Jousmäki, V. & Hari, R. (1997). Involvement of primary motor cortex in motor imagery: A neuromagnetic study. *NeuroImage*, 6, 201–208.

- Shima, N., Ishida, K., Morotome, K., Sato, Y. & Miyamura, M. (2002). Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 86, 287–294.
- Siemionow, V., Yue, G. H., Ranganathan, V. K., Liu, J. Z. & Sahgal, V. (2000). Relationship between motor activity-related cortical potential and voluntary muscle activation. *Experimental Brain Research*, 133, 303–311.
- Smith, D., Collins, D. & Holmes, P. (2003). Impact and mechanism of mental practice effects on strength. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1, 293–306.
- Yue, G. & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67, 1114–1123.
- Zatsiorsky, V. M. (2000). *Krafttraining – Praxis und Wissenschaft*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Zijdewind, I., Toering, S. T., Bessem, B., Laan, O. van der & Diercks, R. L. (2003). Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve*, 28, 168–173.

Mathias Reiser

Universität Gießen
Institut für Sportwissenschaft
Arbeitsbereich Sportpsychologie/
Bewegungswissenschaft
Kugelberg 62
35394 Gießen
E-Mail: mathias.reiser@sport.uni-giessen.de